



EEMKON 2015

**ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ**

ELEKTRONİK SANAYİ UYGULAMALARI SEMPOZYUMU

BİLDİRİLER KİTABI



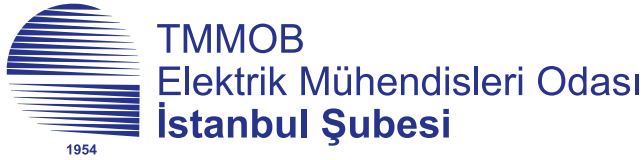
1954

TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi

EEMKON 2015

Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi

Elektronik Sanayi Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı



Adres: Ergenekon Mah. Cumhuriyet Cad. Adlı Han No:173/3
Harbiye - İstanbul
Tel: 0212 259 11 50
Faks: 0212 258 36 55
Web: <http://istanbul.emo.org.tr>
E-Posta: istanbul@emo.org.tr

EMO Yayın No: GY/2017/579

ISBN: 978-605-01-0988-7

Yayın Tarihi: Şubat 2017 (1000 Adet)

Baskı

Golden Medya Matbaacılık ve Tic. A.Ş.

Adres: 100. Yıl Mah. Mas-Sit 1. Cad. No:88 Bağcılar - İstanbul

Tel: 0212 629 00 24

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

Hakkı Kaya Ocakaçan (Başkan)

A. Hamit Serbest

Adnan Kaypmaz

Ahmet Tarık Uzunkaya

B. Levent Akcasu

Belgin Emre Türkay

Berker Özağaç

Beyza Metin

Cemil Kocatepe

Cemil Ünal

Dağıstan Bekiroğlu

Erdal Apaçık

Erdener Ildız

Erhan Denizeri

Erhan Karaçay

Erol Celepsoy

Ersin Kaya

F. Kemal Özoğuz

Fatih Mehmet Nuroğlu

Galip Cansever

Gazi İpek

Hakan Ali Çırpan

Hasan Ece

Hayri Kartopu

Huriye Alacakaptan

Hüseyin Ergun Doğru

M. Galip Demircan

M. Timur Aydemir

Mehmet Bozkırılıoğlu

Mustafa Bulut

Nihal Türüt

Nur Güleç

Özcan Kalenderli

Özcan Özay

Sabri Günaydın

Seda Biçer

Selçuk Esen

Selçuk Paker

Serdar Özoğuz

Suat Kaş

Tanju Akleman

Tarık Öden

Tayfun İşbilen

SEMPOZYUM DÜZENLEME KURULU

Hakkı Kaya Ocakaçan
(Başkan)

A. Hamit Serbest

A. Levent Ceylan

A. Turan Aydemir

Abdullah Büyükişıklar

Abdullah Çakmak

Adnan Kaypmaz

Ahmet Altuncu

Ahmet Can Kutlu

Ahmet Çelebi

Ahmet Dervişoğlu

Ahmet Nuri Karaoğlu

Ahmet Tarık Uzunkaya

Ali Akgün

Arif Nacaroglu

Avni Can Okur

Aydoğan Özdemir

Ayşe Şenay

Ayten Kuntman

Aziz Yücetürk

B. Koray Tunçalp

B. Levent Akçasu

Bahadır Acar

Barış Çoruh

Behice Gül Torun Öztürk

Belgin Emre Türkay

Berker Özağaç

Beyza Metin

Bilgehan Kandil

Birol Arifoğlu

Bora Erserin

Bülent Pala

Bülent Yılmaz

Cem H. Bektaş

Cem Kükey

Cemal Zafer Ergin

Cemil Kocatepe

Cemil Ünal

Cengiz Göldaş

Cüneyt Güzeliş

Çiğdem Işıkyürek

Dağıstan Bekiroğlu

Deniz Ülker

Derya Olpak Kadeş

Devrim Sarı

Dilek Tükel

Duran Leblebici

Emine Ayaz
Emre Ertok
Emre Metin
Ercüment Yıldızlerler
Erdal Apaçık
Erdem Çavuşoğlu
Erdem Taylanlı
Erdener Ildız
Ergül Akçakaya
Erhan Denizeri
Erhan Karaçay
Erkan Solmaz
Erol Celepsoy
Ersin Kaya
Ertan Öztürk
Ertuğrul Eriş
F. Mehmet Nuroğlu
Faik Kemal Özoğuz
Faruk Telemcioğlu
Fatih Kaymakçioğlu
Fatma Zerrin Aşkan
Ferhat Çıra
Fevzi Yıldırım
Figen Özen
Filiz Sarı
Fuat Küçük
Galip Cansever
Gazi İpek
Giyasi Güngör
Gökhan Aydın
Gökhan Serdar Özcanlar
Gökhan Sezer
H. Ali Yiğit
H.İbrahim Okumuş
H.Zeynep Sözmen
Hacer Uğurlu
Hakan Aktay
Hakan Ali Çırpan
Hakan Hocaoglu
Hakan Kuntman
Halit Pastacı
Hamza Koç
Hasan Dinçer
Hasan Ece
Hasan Zorlu
Hasbi İsmailoğlu
Hasret Genç
Haşim Aydınca
Hayrettin Köymen
Hilmi Akdoğan

Huriye Alacakaptan
Hüseyin Ergun Doğru
Hüseyin Orman
İbrahim Aksöz
İbrahim Güner
İbrahim Saral
İhsaner Alkım
İlhan Kocaarslan
İlker Ceylan
İlyas Dolaş
İpek Erdoğan
İrfan Dinçay
İrfan Karagöz
İrfan Şenlik
İrfan Tufan
İsa Güngör
İsa İlisu
İsmail Hakkı Altaş
Kemal Leblebicioğlu
Kubilay Çelik
Kubilay Çetiner
Kubilay Eker
Kurthan Gençel
Lütfü Sarıbulut
M. Tahir Güneşer
M. Timur Aydemir
M. Nail Türker
Mahir Ulutaş
Mahmut Galip Demircan
Mehmet Bayrak
Mehmet Bozkırlıoğlu
Mehmet Mak
Mehmet Mazmanoğlu
Mehmet Tahir Özden
Mehmet Turgut
Mehmet Üstündağ
Melis Saltier Değerli
Mesut Dargut
Metin Gökaşan
Mithat İdemen
Murat Görmemiş
Musa Aydın
Mustafa Akçakaya
Mustafa Bulut
Mustafa Demirören
Mustafa Özyazar
Mustafa Şekkeli
Mustafa Tokhan
Mutlu Güner
Münir Büyükyazıcı

N. Sedat Gülşen
Namık Cibaroğlu
Nazife İlhan
Nejat Tuncay
Nevin Dargut
Nevzat Çeltekin
Nihal Türüt
Nur Güleç
Nusret Gerçek
Nüvit Demircan
Ogün Gökpınar
Okan Hakverdi
Onur Koçak
Orhan Örucü
Oruç Bilgiç
Osman Bahadır
Osman Eroğul
Ömer Usta
Özcan Kalenderli
Özcan Özay
Özgür Erçetin
Özgür Gürbüz
Özkan Mucuk
Pınar Hocaogulları
Remzi Çınar
Rengin Ünver
S. Abdullah Aytekin
Sabri Günaydın
Salman Kurtulan
Seda Biçer
Seda Deniz Acar
Selçuk Esen
Selçuk Parker
Selim Baktir
Selim Şeker
Selim Yetkin
Selma Erat
Semahat Demir
Serap Kırılmaz
Serdar Özoğuz
Serdar Parker
Serhat Erküçük
Serhat Şeker
Serkan Kılıç
Sermin Onaygil
Seyit Çankaya
Seyit Gazi Bal
Sezer Erkli
Sıddık Yarman
Sıdıka Ödel

Sinan Karamahmut
Sırdaş Karaboğa
Suat Kaş
Sultan Tepe
Şanver Ünsal
Şule Emre
Şükrü Özen
Tanay Sıdkı Uyar
Tanju Akleman
Tarık Öden
Tarık Reyhan

Tayfun Akgül
Tayfun İşbilen
Temel Kayıkçioğlu
Tuğçe Kartalkanat
Tuğçe Özcan
Tuncay Atman
Uğur Çini
Uğur Töreyn
Uran Tiryakioğlu
Ülker Dağcı
Ümit Berkup

V. Tuncer Özekli
Vasfi Seber
Veysel Baysal
Yağmur Hacıaliefendioğlu
Yakup Yıldız
Yalçın İşler
Yıldırım Söylemez
Yılmaz Gündoğan
Zafer Arabul
Zeliha Aziret

SEMPOZYUMU ÇALIŞMA GRUBU

H. Ergun Doğru
A. Tarık Uzunkaya
Özcan Özay
Suat Kaş

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	1
TÜRKİYE'DE ELEKTRONİK SANAYİNİN DURUMU	
Sunum: Prof. Dr. Duran Leblebici (İTÜ).....	3
MİKRO ELEKTRONİĞİN TÜRKİYE'DEKİ GELİŞİMİ	
Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Günhan Dünder (Boğaziçi Üniversitesi).....	11
<i>Dr. Barbaros Şekerkıran (MİKROELEKTRONİK).....</i>	15
<i>Dr. Aziz Ulvi Çalışkan (TÜBİTAK).....</i>	19
<i>Nizam Muzafferoğlu (ERMAKSAN).....</i>	23
NANOTEKNOLOJİ	
Oturum Yöneticisi: Dr. Volkan Özgüz (Sabancı Üniv.).....	29
İki ve Üç Boyutlu Nano-Yapıların FBB İle Üretilmesi Ve Uygulamaları	
Prof. Dr. Levent Trabzon (İTÜ).....	29
Atomik Katman Biriktirme Tekniği ile Nano-ölçekli Fonksiyonel Yarı-İletken	
İnce Filmlerin Sentezi	
Doç. Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Üniversitesi).....	36
Metal Nanoteller ve Uygulamaları	
Yrd. Doç. Dr. Emrah Ünal (ODTÜ).....	39
Hassas Algılayıcı Teknolojisi: Nano-Elektromekanik Sistemler (NEMS)	
Yrd. Doç. Dr. Selim Hanay (Bilkent Üniversitesi).....	43
Tek Hücrede Çoklu Veri Depolama Amaçlı Faz Değişim Belleği	
Doç. Dr. Özhan Özatay (Boğaziçi Üniversitesi).....	51
TÜRKİYE'DE NANOTEKNOLOJİ: ELEKTRONİK VE OPTOELEKTRONİK UYGULAMALARI:	
GELECEK ADIMLAR VE BEKLENTİLER	
Oturum Yöneticisi: Dr. Volkan Özgüz (Sabancı Üniv.).....	57
Prof. Dr. Ekmel Özbay (Bilkent Üniversitesi).....	57
Prof. Dr. İsmet Kaya (Sabancı Üniversitesi).....	61
Prof. Dr. Atilla Aydın (Bilkent Üniversitesi).....	64
Dr. Selçuk Özer (ASELSAN).....	67
ELEKTRONİK SANAYİ OTURUMU-I	
Oturum Yöneticisi: Mahir Ulutaş (EMO).....	79
Siber Güvenlik	
Davut Yılmaz (STM).....	79
Holografik Video Gösterim Teknikleri	
Prof. Dr. Levent Onural (Bilkent Üniversitesi).....	83
Türkiye'deki MEMS Teknolojilerinin Dünü, Bugünü, Yarını	
Prof. Dr. Tayfun Akın (ODTÜ).....	93
Nanotellerin Fotovoltaik Uygulama Alanları	
Gözde Tütüncüoğlu (Lozan Federal Politeknik Okulu).....	98

ELEKTRONİK SANAYİ UYGULAMA BİLDİRİLERİ-I

Oturum Yöneticisi: Necdet Oğuz (EMO).....	107
Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı Kullanarak Konuşmacı Tanıma Sisteminde	
Ayrık Dalgacık Dönüşümü Temelli Gürültü Arındırmanın Etkisi	
Arş. Gör. Kübra Tancı, Doç. Dr. Mahmut Hekim (Gaziosmanpaşa Üniversitesi).....	107
Genetik Algoritma Kullanarak Video Damgalama İçin Yeni Bir Yaklaşım	
Alisher Abdulkhaev, Yrd. Doç. Dr. Sema Koç Kayhan (Gaziantep Üniversitesi).....	112
Varış Zamanları Farkı Tabanlı Verici Konumu Tespitinde	
Parçacık Sürüşü Optimizasyonunu Parametrelerinin Konumlandırma	
Başarımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	
Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan Çakır, Yrd. Doç. Dr. Ayhan Yazgan, Öğr. Gör. Ömer Çakır (KTÜ).....	116
6- Giriş Lut Tabanlı Kapı Dizileri İçin	
Çift Elde Saklayıcı Çarpma Toplama Ünitesi Tasarımı	
Olca Kurt, Yrd. Doç. Dr. Uğur Çini (Trakya Üniversitesi).....	121
3D Yazıcı	
Sultan Kalyoncuoğlu, Özgür Acar, Yrd. Doç. Dr. Dilek Tükel (Doğuş Üniversitesi).....	126

ELEKTRONİK SANAYİ UYGULAMA BİLDİRİLERİ-II

Oturum Yöneticisi: Doç. Dr. Hasan Karal (EMO).....	131
İnce Filmle Kaplanmış Pır Algılayıcıları İle Uçucu	
Organik Bileşik Sınıflandırması	
Yrd. Doç. Dr. Behçet Uğur Töreyin (İTÜ) Orçun Yıldırım (İPA Elektronik).....	131
Temposu Değiştirilen MIDI Müzik Sinyalleri İle Zaman Ölçeği Değiştirilen	
Müzik Sinyallerinin Karşılaştırılması	
Prof. Dr. Osman Eroğul, Hüseyin Nasıfoğlu, Arş. Gör. Galip Özdemir (TOBB Üniversitesi)....	135
PWM Sayısal Analog Çeviriciler İçin Optimum Çözünürlük Hesabı	
Yrd. Doç. Dr. Uğur Çini (Trakya Üniversitesi).....	139
Farklı Tip Yapı Malzemeleri Elektromanyetik Ekran Özelliklerinin İncelenmesi	
Mehmet Çakır, Doç. Dr. N. Uğur Koçkal,	
Doç. Dr. Şükrü Özen, Doç. Dr. Selçuk Helhel (Akdeniz Üniv.).....	143
Optik Sensörlerin Analizi ve Uygulamaları	
U. Umur Kazancı, Yrd. Doç. Dr. N. Özlem Ünverdi (YTÜ).....	148
Optik Filtrelerin Analizi ve Uygulamaları	
Meriç Bacak, Yrd. Doç. Dr. N. Özlem Ünverdi (YTÜ).....	157

SUNUŞ

Şubemizin, 19-20-21 Kasım 2015 tarihlerinde İstanbul Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi'nde düzenlediği “Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi” yoğun bir katılımı ile gerçekleşti. EEMKON 2015 Kongresi, sadece elektrik mühendislerine değil, elektronik, kontrol ve biyomedikal mühendislerine de yönelik bir dizi etkinliğin gerçekleştiği, üniversitelerin ve meslek alanımızdaki diğer kurum ve kuruluşların desteğini alan başarılı bir çalışma oldu.

Yedi ayrı sempozyumdan oluşan kongreye; TESİD, ENOSAD, İPYD, EMSAD, ETMD, ATMK gibi pek çok sektörel dernek ve kuruluş ile birlikte TSE, BTK, EÜAŞ gibi kamu kuruluşu ve aralarında İTÜ, İstanbul Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Işık Üniversitesi, Galatasaray Üniversitesi, Bingöl Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi ve Bilkent Üniversitesi olan 38 üniversite destek verdi. Üç günde 525 delege, 770 öğrenci ve 820 kayıtlı izleyici ve ayrıca sergi ziyaretçileri ve kayıtsız izleyicilerle birlikte 3.000'i aşkın katılımcının izlediği kongrede; 12 panel, 45 oturum düzenlendi ve dokuzu yurtdışından olmak üzere 245 konuşmacı sunum yaptı.

Kongrenin yedi sempozyumundan biri olan İletişim Teknolojileri Sempozyumu, kongrenin yoğun ilgi gören sempozyumlarından biri oldu. Son yıllarda iletişim teknolojilerinin muazzam gelişmelere sahne olması; cep telefonlarında klasik ses iletiminin yerinin, veri iletimine doğru kayması, veri iletimindeki hızların çok büyük oranlarda artması ve bunlara ilaveten bu teknolojilerin getirdiği olanakların çok çeşitli uygulamalarla desteklenerek hayatımıza olan etkilerinin yaygınlaşması şüphesiz bu ilginin ana nedenleriydi. Sempozyum boyunca; yedi akademisyen, 35 meslek odası ve sektör temsilcisi, gerek bildiri oturumlarında gerekse panelde, çalışmalarını ve deneyimlerini hem teknik, hem piyasa hem de hukuksal ve sosyal boyutlarını içerecek şekilde izleyicilerle paylaştı.

Dünyada hızla gelişen elektronik sanayi, şimdiden geleceğin sektörlerinden en önemlilerinden biri haline gelmiştir. Amerika, Japonya, Almanya gibi ülkelerde elektronik sanayi ürünleri ihracatı, ihraç ürünleri sıralamasında ilk üçe girerken Türkiye'de elektronik ürün ihracatı, bu sıralamada çok geride kalmaktadır. 2010'da 20 milyon adet TV seti üretilen ülkemizde bu sayı 2014 yılında 10 milyona düşmüştür. 2000-2010 yılları arasında 12 üretici firma varken bugün sadece 2 üretici kalmıştır.

Elektronikte ithalat artmakta, ihracat ise azalmaktadır. Bu durumu tersine çevirmek için gerekli olan ve ayrıca çok büyük stratejik öneme de sahip olan, tümleşik devre üretimine geçen on yıllara rağmen başlanamamıştır. Sempozyumumuzda bu yaklaşımla, sektörel buluşmaların sağlanarak mesleki gelişim ve ihtiyaçlara katkı sunulması önem taşımaktaydı. Bu sempozyum, geleceği anlamak için çok hızlı gelişen elektronik sanayi teknolojilerini sadece kullanan veya seyreden değil, bizzat bu teknolojileri üreten ve yön veren bir mühendislik alt yapısına sahip olmanın önemini bize bir kere daha anlattı.

EEMKON 2015 Düzenleme Kurulu

TÜRKİYE'DE ELEKTRONİK SANAYİNİN DURUMU

Sunum: Prof. Dr. Duran Leblebici (İTÜ)

Prof. Dr. Duran Leblebici (İTÜ)- Sayın katılımcılar, mühendis meslektaşlarım, akademisyen meslektaşlarım ve sevgili öğrenciler.

Bu salonda biraz sonra bir panel olacak ve genç arkadaşlarım bundan 20 sene sonrası için öngörülerde, tahminlerde ve belki biraz da temennilerde bulunacaklar. Bu kadar hızlı gelişen bir dünyada, elektroniğin bu kadar hızlı ilerlediği bir dönemde, geleceğe ilişkin projeksiyonlar yapmak hakikaten zor. Benim işim ise kolay; çünkü ben ileriye doğru değil geriye doğru bakacağım ve önceki yıllarda elektronik sanayi alanlarının iki önemli alt sektöründe; haberleşme cihazları ve tüketici elektroniği sanayisinde olmuş ve olamamış bazı önemli noktaları vurgulamaya çalışacağım.

Türkiye’de Cumhuriyet’ten sonraki sanayileşme döneminde elektronik mühendisliği çok uzun süre yöneticilerin gündemine gelmedi. Daha çok o günün güncel ihtiyaçları olan bez, kibrit, şeker gibi konular üzerine odaklanıldı. Gerçekten 1960’lı yıllara kadar elektronik sanayi Türkiye’nin gündeminde yoktu. Bunun için ben de sunumuma 1923’ten 1933’ten 1953’ten değil 1960’lardan itibaren başlayacağım.

Burada size önce haberleşme elektroniğinin altyapısı ile ilgili gelişmeleri sonra da tüketici elektroniğinin gelişmesine ilişkin tarihçeyi anlatacağım.

Bana göre haberleşme elektroniği alanındaki ilk gelişme 1965 yılında PTT -ARLA’nın kurulmasıdır. Şimdi burada ilk olarak şu soruyu sormak gerek. 1923’ten 1960’lara kadar bu alanda hiçbir gelişme olmamışken nasıl oldu da 1965’de PTT -ARLA’nın kuruluşu gündeme geldi? Bunun kökeninde 1930’lardan 1960’lara kadar üniversite öğretiminin -ki o dönemde başat olarak İstanbul Teknik Üniversitesi, daha az etkin kuruluşlar olarak da Robert Kolej ve Yıldız Teknik Okulu vardı- Türkiye’nin geleceği için mühendisleri yetiştirme misyonuyla bir program uygulamış olması ve Türkiye’de elektronik mühendisliği alanında çalışmalar yürütebilecek kadroların yetiştirilmesini hedeflemesi yatmaktadır. Gerçekten o tarihlerde İTÜ, genellikle Orta Avrupa ülkelerindeki mühendislik okulları örnek alınarak, çok iyi derslerin çok iyi hocalar tarafından verildiği ve öğrencilerin çok iyi laboratuvarlarda öğrenim gördüğü bir durumdaydı. Bu kurumda, ülkemizde hiç transformatör fabrikası olmadığı halde kuvvetli akım kanadındaki öğrencilere transformatör projeleri yaptırılıyordu. Hiç motor fabrikası olmadığı halde öğrencilere elektrik motoru projeleri yaptırılıyordu. Zayıf akım kanadında durum daha da iyiydi. Sadece projelendirmeyle yetinilmeyip elektronik cihazların gerçekleştirilmesi de laboratuvar ortamında mümkün oluyordu. Özellikle Yüksek Frekans Tekniği Kürsüsü Başkanı Prof. Dr. Mustafa Santur’un öngörüsüyle, zayıf akım alanındaki öğrencilerin mezun olmadan önce bir elektronik cihazın, bir elektronik sistemin tasarımını yapması, gerçekleştirmesi ve testlerini de yaparak mühendisce bir birikim oluşturmaları sağlanıyordu.

Hocam Mustafa Santur’un bu yaklaşımı ile ilgili olarak, 16 Temmuz 1951’de dekanlığa gönderdiği bir yazıdaki alt cümleye dikkatinizi çekmek istiyorum. Yazıda diyor ki; “İlerde memleketimize de gelmesi mukadder olan televizyon tekniği alanında tecrübeli elemanların yetiştirilmesi amacıyla, Çok Yüksek Frekans Laboratuvarında küçük mikyasta bir tecrübi televizyon laboratuvarının kurulması münasip olacaktır.” Burdaki anahtar sözcükler, “ilerde memleketimize gelmesi mukadder olan”dır.

Bu yaklaşımla, elektronik mühendisliğinin çeşitli alanlarındaki uygulamalı çalışmalarla, bir çeşit mühendislik stajı yaparak mezun olan mühendisler yetişmeye başlamıştı.

1965'te kuruluşu önderlik yapan Dr. Fikret Yücel'in etrafında toplanan, yine o ocaktan yetişmiş çok sayıda genç elektrik mühendisinin elbirliğiyle PTT-ARLA kuruldu. PTT-ARLA'nın önemi nereden geliyor? Birincisi bu alanda ilk olması önem taşıyor. İkincisi de Türkiye'de haberleşme ihtiyacının yükselmeye başladığı dönemde, çok iyi bir zamanlamayla bu ihtiyaca cevap vermek üzere kurulmuş olmasıdır. Neydi o ihtiyaç? İkinci Dünya Harbinin bitmesinden sonra dünyadaki gelişmelere paralel olarak Türkiye'de de haberleşmeye olan ihtiyacın hızla artması. Bu amaçla şehirlerarası haberleşmenin gelişmesi için gerekli olan ve bir hattan çok sayıda iletişimin gerçekleştirilmesine olanak veren kuranportör sistemlerinin tasarlanması, gerçekleştirilmesi ve yurt sathına yayılması PTT-ARLA'nın ilk misyonu olarak tanımlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekten PTT-ARLA ile başlayan ve sonra TELETAS'a dönüşen kurum kısa zamanda Türkiye'nin haberleşme altyapısının önemli bir bölümünün yerli kaynaklarla gerçekleştirilmesine imkân sağlamış ve teknolojisini de zaman içinde geliştirerek başta analog sistemler üzerinde çalışırken daha sonra sayısal PCM sistemleriyle tasarım ve üretim yapmaya başlamıştır.

PTT-ARLA'nın kurulmasından hemen sonra, yine bu haberleşme ihtiyacının hızla yükselmesine cevap vermek üzere 1967'de NETAS kuruldu ve Türkiye'nin ilk elektromekanik krosbar telefon santralleri bu kuruluşta imal edilmeye başlandı. Bu, Türkiye'deki telefon hattı sayısının çok hızlı bir şekilde yükselmeye başlamasına önayak oldu. Bu arada o zaman NETAS'ın Araştırma Geliştirme bölümünün başında olan Tanju Argun şirketin bu temel misyonuna paralel olarak elektronik telefon santralleri ile ilgili geliştirme ve üretim çalışmalarını da başlattı. Gerek TELETAS'ta geliştirilen uzak mesafe haberleşme sistemleri gerek NETAS'da üretilen şehir santralleri ve Ar-Ge bölümünde geliştirilen ilk elektronik santraller Türkiye'de bu alandaki ilerlemeye önemli bir ışık tuttu.

Bu arada, 1979 yılında, temel elektronik devre bileşenlerinin üretilmesi amacı ile TESTAS kuruldu. TESTAS'ın kurulması zamanlama olarak da amaç olarak da çok doğru bir tarihteydi. Fakat benim değerlendirmeme göre, kadrolaşma hataları nedeniyle, bu olumlu girişim başarıyla sonuçlanamadı. Bu konuda biraz sonra bir karşılaştırma yaparak, kadro oluşumu konusundaki eleştirilerimi daha açık olarak ifade etmeye çalışacağım. TESTAS söylediğim gibi 1979 yılında kuruldu, 1980'lerin ortasına kadar ölmedi ama süründü; bir türlü faaliyete geçemedi ve 1989 yılında ise Ankara'daki tesisleri Orta Doğu Teknik Üniversitesine bir laboratuvar altyapısı olarak devredildi. TESTAS'ın bu başarısız girişiminin iki tane olumlu sonucu oldu. Bunlardan bir tanesi ODTÜ'nün gelişmiş bir laboratuvara sahip olması, ikincisi de en başta TESTAS'ın Ar-Ge birimi olarak düşünülmüş olan YİTAL'in yani Yarı İletken Teknolojisi Araştırma Laboratuvarının TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) içinde kurulmuş olmasıdır. YİTAL, TESTAS'ın aldığı know-how'ı kullanarak 1983'te deneme üretimine başladı. Ancak bu Ar-Ge biriminden yararlanacak sanayi henüz ortada yoktu. Dolayısıyla bir süre boşlukta kaldıktan sonra başka bir kulvarda ilerlemeye başladı. CMOS teknolojisine geçerek TÜBİTAK bünyesinde Türkiye'nin ilk küçük ölçekli mikroelettronik üretim tesisi hüviyeti kazandı. Bildiğiniz gibi 2000 yılından itibaren başlayarak da Türkiye'de gerçekleştirilen kriptolu haberleşme cihazları için gerekli olan tümdevreleri seri olarak üreten bir kurum haline geldi.

Tarihçede benim önemsedğim ve altını çizdiğim bir olay da TELETAS'ın 1984 yılında özelleştirilmesidir. TELETAS'ın özelleştirilmesi ve burada yabancı bir firmayla ortaklık kurulması, o tarihte rahmetli Turgut Özal'ın iyimser ama sonuçta hatalı bir öngörüsüyle gerçekleştirilmiş bir olaydır. Düşünüyordu ki, güçlü bir yabancı ortağın Türkiye'deki önemli bir sanayi kuruluşuna ortak olması, Türkiye'deki Ar-Ge çalışmalarının hızlanmasına yardımcı olacaktır. Düşünüyordu ki bu yabancı ortak TELETAS'ın daha verimli çalışarak ekonomik girdiyi artırmasına yardımcı olacaktır. Ama bu iki öngörü de gerçekleşmedi. Yabancı ortağın ilk yaptığı işlerden biri, TELETAS'taki Araştırma- Geliştirme Bölümünü küçültmek ve pratik olarak kapatmak oldu. Çünkü kendi bünyesinde çok iyi gelişmiş Ar-Ge birimleri vardı ve Türkiye'de bir Ar-Ge bölümüne ihtiyaçları bulunmuyordu. Kendi açılarından haklı ama Türkiye açısından çok zararlı bir adım oldu bu. Türkiye'deki üretim kapasitesinin büyümesi beklenirken bu da gerçekleşmedi. Örneğin o tarihlerde TELETAS'ta bir "kalın

film tümdevre” üretim tesisi vardı. 1970’li yıllarda İTÜ Mikroelektronik Laboratuvarında öğrenilen bu teknolojinin endüstriyel boyuta uygulanması ile kurulan bu tesis zaman içinde Avrupa’nın en verimli üretim tesislerinden biri haline gelmişti. Yalnız bu teknoloji zaman içinde gerilemeye başladı ve ekonomikliğini yavaş yavaş yitirdi. Bu gelişme olurken baba firmanın ilk yaptığı işlerden bir tanesi de TELETAS’ın kalın film tesisini kapatmak oldu. Böylece Fransa’da, kendi bünyesindekini bir kaç sene daha devam ettirme şansını kazandı.

Bu arada NETAS elektromekanik telefon santrallerinden DSM sayısal telefon santralleri üretimine geçti. Hemen buna paralel olarak TELETAS Sistem-12 santrallerini üretmeye başladı. Ve hemen ardından Siemens kendi santrallerini üretmeye ve bu üç firma da PTT’ye kendi santrallerini vermeye başladı. Burada TELETAS için bir hatırlatma yapmak istiyorum. Fikret (Yücel) bey, her zamanki ileri görüşlülüğüyle 1989 yılında Sistem-12 santrallerinde kullanılan CMOS devrelerinin Türkiye’de üretilmesi için bir mikroelektronik üretim tesisinin kurulması konusunda o zaman doçent olan Uğur Çilingiroğlu’na bir fizibilite çalışması yaptırdı. Bu fizibilite çalışması sonucunda bunun Türkiye’de o günkü ekonomik ortamda pekâlâ gerçekleştirilebilir bir boyutta olduğu gösteriliyordu. Ve yine o sıralarda güçlü bir politik figür olan rahmetli Turgut Özal da gerekli olan yatırımın yüzde 50’sini TELETAS’a vermeyi taahhüt etmişti. Ancak o sıralarda siyasi hayatta meydana gelen bir takım değişiklikler, Özal’ın bu vaadini yerine getirmesine imkân vermedi. Bunun yanı sıra know-how anlaşmasında olmasına rağmen yabancı ortak (BTM) bu konuda ayak diremeye başladı ve bu nedenlerle olay gerçekleşmedi. Şimdi bu teşebbüsü TESTAS’ın kuruluşundaki kadrolaşma olayı ile birlikte bir kıyaslama yaparak değerlendirmek istiyorum.

TESTAS kurulduğunda, yarı iletken tesisinin “know how”ının alınması, teçhizatının seçilmesi gibi işler için oluşturulan teknik ekibin kompozisyonu şöyleydi: Ekibin başındaki kişi İTÜ’nün kuvvetli akım kanadından yetişmiş bir yüksek mühendisti yani elektronikçi değildi. İkinci bir kilit eleman o tarihlerde Şeker fabrikaları Etimesgut Makina Fabrikasında çalışmakta olan bir makine mühendisiydi. Üçüncüsü de Hacettepe Üniversitesinden yeni mezun olmuş bir fizikçiydi. Yani bütün bu karmaşık ve çok önemli olayın sorumluluğu, konu hakkında derinlemesine değil yüzeysel bile bilgi sahibi olmayan bir ekibe verilmişti. Buna karşılık TELETAS’ın teşebbüsü öncesinde Fikret bey, böyle bir fabrika kurulduğu takdirde bunu çekip çevirecek bir kadro oluşturmayı öncelikli olarak planladı ve şöyle bir ekip oluşturdu. Birincisi, doktorasını Avusturya’da transistörler konusunda yapmış olan ve o tarihlerde Siemens’in transistör ve tümdevre tesislerinde çalışan Dr. Zafer İncecik, ikincisi doktorasını yarı iletken teknolojisinin en belâlı alanı olan epitaksi konusunda Amerika’da yapmış olan Dr.Volkan Özgüz ve üçüncüsü, TESTAS ekibinden Amerika’da ve daha sonra Japonya’da ihtisas görmüş olan Levent Akkan idi. Şimdi bu iki kadroyu karşılaştırın. Bunlardan hangisinin gerçekleştirme şansı ne kadardır? Burada şanssızlık, çok iyi planlanmış, altyapısı ve kadrosu çok iyi hazırlanmış olan ikinci girişimin siyasi dalgalanmalar nedeniyle gerçekleşmesinin mümkün olmamasıdır.

NETAS, Teletas ve Siemens ile gelişen bu sayısal telefon imalatı olayına paralel olarak Türkiye’de bazı küçük şirketler bağımsız olarak, kendi Ar-Ge’lerini de yapıp üretim aşamasına geçecek şekilde bir faaliyet içine girdiler. Telesis 1983’te, Karel 1986’da ve başka firmalar da bu sayısallaşma kervanına küçük ortaklar olarak katılan ama çok iyi planlamalarla hayatını bugüne kadar devam ettiren ve dünyaya da açılan santral üreticisi firmalar olarak Türkiye’ye katkı sağladılar.

Tarihçe içinde diğer bir önemli nokta da 1989’da TESİD’in yani Türk Elektronik Sanayiciler Derneğinin kurulmasıdır. Ve yine bu tarihlerde İTÜ’nün ETA Vakfı kuruldu. ETA Vakfının açık ismi “İTÜ- İleri Elektronik Teknolojileri Araştırma Geliştirme Vakfı”dır.

Şimdi bir vakfın kurulmasının bu tarihçe içinde ne önemi var diyeceksiniz. O da şudur: O tarihler yani 1980’li yılların sonu ve 1990’lı yılların başı, Türkiye’de elektronik sanayinin çok önemli pozitif bir gelişme içinde olduğu yıllardır. Ülkemizdeki sanayi üreticileri Türkiye’nin ileri elektronik teknolojilerine yönelmesi ihtiyacını da hissetmişler, İTÜ’nün öncülüğünde ve etrafında böyle bir vakıf kurarak Türkiye elektronik sanayisinin yeni ileri teknolojilere entegrasyonunu kolaylaştıracak bir yeni kurum oluşturmayı düşünmüşlerdir. O tarihlerde İTÜ ETA Vakfı Yönetim Kurulu şöyleydi: TELETAS Genel Müdürü Fikret Yücel, Vestel Fabrikası Genel Müdürü Tahsin Karan, Beko

Televizyon Fabrikası Genel Müdürü Muvaffak Gözaydın, Siemens Genel Müdürü Arnold Hornfeld ve NETAŞ Araştırma Geliştirme Direktörü Tanju Argun. Böyle bir kadronun o günlerde bir araya gelerek gelecek için bir vizyon oluşturmaları, şayet iyi değerlendirilebilmiş olsaydı, Türkiye'ye çok şey kazandırabilecek bir girişimdi. Zaman içinde biraz sonra değineceğim nedenlerle Türkiye elektronik sanayinin gelişiminin yavaşlaması ve moralinin bozulması, bu konuda beklenen katkıyı sağlayamadı. Ama İTÜ ETA Vakfının bir ilk misyon olarak kurduğu Tümdevre Tasarım Merkezi, daha sonra şirketleşerek ETA Vakfı ile ASELSAN'ın ortak olduğu Mikroelektronik Ltd. Şti. adıyla ulusal bir Tümdevre Tasarım Merkezi olarak faaliyetini devam ettiren bir kurum haline dönüştü.

Bu arada çok önemli bir köşe taşı, GSM'in Türkiye'ye gelmesi ve cep telefonlarının kullanılmaya başlanmasıdır. Şimdi bununla bağlantılı olarak şu bilgiyi dikkatinize sunuyorum. Türkiye'deki sabit hatların yani ev telefonlarının sayıları şöyle: 1960'da 180 bin hat varmış, 1970'de NETAŞ'ın da kurulmuş olmasının katkısıyla 380 bine, 1980'de 1 milyon 150 bine yükselmiş. Sayısal telefon santrallarının devreye girmesiyle 1990'da 7 milyona yaklaşmış, sonra 2000 yılında 18 milyona ulaşmış. Fakat 1995'de başlayan GSM kullanımı, 5 yıl sonra yani 2000 yılında 15 milyona yani sabit hat kullanımını seviyesine yaklaşmış. Sonraki yıllarda durum daha da gelişerek, günümüzde 80 milyona yakın GSM hattı kullanılır hale gelmiştir. Cep telefonlarının yaygınlaşması, sabit telefon hatlarında da bir gerilemeye yol açmış ve 2000 yılında 18 milyon olan sabit hat sayısı günümüzde 10 milyon civarına düşmüş durumda. 2013 rakamlarına göre GSM hat sayısı 72 milyon olarak görünüyor. GSM abone sayısının 72 milyon olması, Türkiye'de kaç tane cep telefonunun satın alındığı sorusuna bir cevap vermiyor. Bu sayı 72 milyondan muhakkak çok fazla. Cep telefonlarının sürekli olarak model değiştirmeleri, teknolojiye çok meraklı halkımızın her yeni ürün çıktığında bu ürünlere rağbet etmesi -bilmiyorum ama tahmin ederek söylüyorum- şimdiye kadar herhalde Türkiye'ye 150-200 milyon tane cep telefonu girmesine yol açmıştır. Bu 150-200 milyon cep telefonunun maliyetini bir düşünün. Ve bu 70-80 milyon cep telefonuna hizmet verecek baz istasyonları altyapısının maliyetini de bunun yanına koyun ve bu GSM olayının Türkiye'nin ekonomisine ne kadar büyük bir yük oluşturduğunu düşünün. Şimdi bunu GSM kullanmasaydık anlamında almayın lütfen. Burada olması gereken bu gelişmenin öngörülüp Türkiye elektronik sanayisinin bundan pay almasını sağlayacak tedbirlerin zamanında alınmış olmasıdır. Evet en başlarda ASELSAN bir cep telefonu geliştirme girişiminde bulundu. Fakat bildiğiniz gibi halka yönelik ürünlerde en önemli unsurlardan bir tanesi bunların pazarlanmasıdır. Zannediyorum ASELSAN'ın geliştirdiği telefonun teknolojik özellikleri nedeniyle değil, bu telefonun pazarlanmasında uygulanan tekniklerin yeterli olmaması nedeniyle bu pazarda gelişmesi imkânı olamadı. Bu durum büyük ölçüde devam ediyor. Günümüzde altyapı için sözü edilen işte 4G, 4.5G, 5G konularında Türkiye'de elektronik sanayinin yerli katkısının sağlanması, geliştirilmesi, bu sefer ziyan edilmemesi gereken çok önemli bir fırsat olarak değerlendirilmesi gerektiğini düşünüyorum.

Şimdi burada bir de 2003 yılında oluşturulan, TÜBİTAK 2023 belgesine değinmek istiyorum. Buna geçmeden önce 2013 yılına ait şu sayısal verilerle elektronik haberleşme ve telekomünikasyon alanındaki duruma işaret etmek istiyorum. Nedir durum? Telekomünikasyon cihazları alanındaki bilinen ithalat –burada “bilinen” sözünün altını çiziyorum- 5.2 milyar dolardır. İhracat ise güç kabloları düşüldükten sonra 1 milyar dolardır. Bunun da yarısı telefon kablolarıdır. Telekomünikasyon alanında yapılan net ihracat sadece yarım milyar dolar civarındadır. Gümrüklerde her türlü elektronik cihaz çeşitli gümrük tarifesi inceliklerinin değerlendirilmesiyle çok çeşitli adlar altında ithal edilebiliyor. Bir de her türlü elektronik cihaz, başka yapıların bir iç bileşeni olarak ithal edilebiliyor. Günümüzde ithal edilen her otomobilin maliyetinin yarısına yakını o otomobillerin içindeki elektronik sistemler oluşturuyor. Türkiye'ye ithal edilen uçakların ve savunma sistemlerinin maliyetinin çok önemli bir bölümünün elektronik cihazlardan oluştuğunu da akılda tutmak lazım.

Türkiye'de tüketici elektroniği sektöründeki hareketlenme aslında biraz daha erken başlamıştı. 1950'den başlayarak Türkiye'de ilk radyo fabrikaları kurulmaya başlanmıştı. O tarihlerde bu fabrikaların kurulma nedeni, o dönemde yurtdışından ithalat yapılmasının çok zor ve Türkiye'de ithal edilen parçaların montajının yapılmasının daha ekonomik olmasıydı. Bu amaçla kurulan ilk

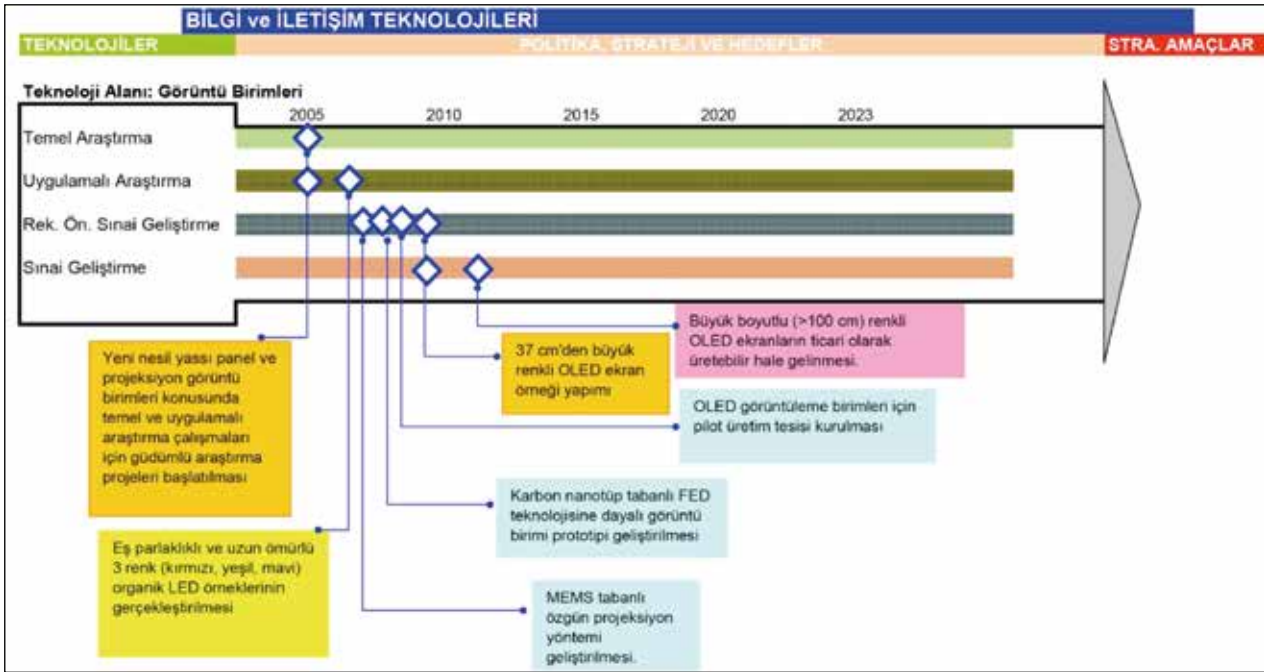
yerli girişim Nevtron 1951’de kurulmuştur. Bunun arkasından Philips, AGA gibi yabancı yatırımcılar geldi. Yine bir yerli girişim olan RATEL, montaj yolu ile radyo üretimine başlamıştı. Bu “montaj sanayisi” dediğimiz dönemde, yurtdışından ithal edilen parçaların ne kadarı bileşendir, ne kadarı yarı mamüldür hatta ne kadarı kutuya konmamış mamüldür, bunlar pek belli değildi. Bu nedenle 1964 yılında “Montaj Sanayii Talimatnamesi” adıyla bir talimatname yayınlandı ve Türkiye’de radyo imalatı ile ilgili ithal edilecek bileşenlerin ne olması, ne olmaması gerektiği bu talimatname ile belirtilerek listelendi. Böylece montaj sanayisi zapturapt altına alınmak istendi.

1964’ten hemen sonra Türkiye’de siyah-beyaz televizyon üretilmeye başladı. Bu siyah-beyaz televizyon üretimi de radyo montaj sanayinin bir devamı olarak gelişti. Bunları da ilk kuran Beko’dur, daha sonra Philips, Profilo, Schaub Lorenz vesaire... Daha sonra 1980’lerin ortasında renkli televizyon gündeme geldi ve ilk renkli televizyon fabrikaları kurulmaya başlandı. Yalnız bu renkli televizyon fabrikaları daha evvelki radyo ve siyah beyaz televizyon fabrikalarından önemli ölçüde farklıydı. Çünkü 1980’den başlayarak yurtdışında imal edilmiş, Türkiye’de imal edilenlere göre çok daha nitelikli cihazların ithal edilmesi doğrudan Doğubank İşhanı üzerinden gerçekleştirilmeye başlanmıştı. Bunun etkisi nedir? Bunun etkisi Türkiye’deki kullanıcıların iyi ile kötüyü ayırt edebilecek kıyaslama imkânına sahip olmasıdır. Bu gerçeği değerlendiren yeni renkli televizyon fabrikası kurucuları, kurdukları fabrikaların üretim kalitesinin yurtdışından ithal edilenlerle hemayar olmasını sağlamaya çalıştılar ve bunun yanı sıra, Türkiye’de imal edilen renkli televizyonların ihraç edilebilir olması özelliğini de gözettiler. Nitekim ilk kurulan fabrikalardan olan Manisa Vestel Televizyon Fabrikası, o zamanki patronunun İngiltere bağlantıları sebebiyle, ilk renkli televizyon ihracatını başlattı. Vestel’i izleyerek Beko ve Profilo da başta Avrupa ülkeleri olmak üzere yurtdışına televizyon ihracatına başladılar. Bu altyapı, Türkiye’deki renkli televizyon üretim altyapısı, dünyadaki benzerleriyle kıyaslanabilecek nitelikteydi ve bu altyapıda çalışan mühendisler ve elemanlar da dünya standartında bir üretim teknolojisi bilgi birikimini kazandılar. Bu altyapı ve bilgi birikimi, Türkiye’de üretilen televizyonların niteliklerinin yükselmesine ve 2003 yılında ihraç edilen televizyon sayısının 18 milyona çıkmasına zemin hazırladı. O tarihte Avrupa pazarındaki televizyonların yüzde 50’si Türkiye’de imal edilmiş televizyonlardı. Türkiye içinde çoğunlukla fason olarak büyük yabancı firmaların kendi markalarıyla Türkiye’deki fabrikalara imal ettirdikleri televizyonlardı bunlar. Bu yükseliş uzun süre devam edemedi. Türkiye’de televizyon üretimi bazı önemli teknolojik değişimlerden etkilendi. Bunlardan bir tanesi görüntü birimlerindeki değişimlerdi. Klasik katod tüplü görüntü birimi yerine önce plazma, daha sonra LCD görüntü birimleri gündeme gelmeye başladı. Buna paralel olarak analog televizyonların yanı sıra sayısal televizyon sistemleri de gelişmeye başladı. Türkiye tüketici elektroniği temsilcisi firmaların gerek bu görüntü birimleri konusunda biraraya gelip kesin ithalatçı olma durumundan kurtulmayı başaramamaları, gerekse sayısal teknolojiye geçişteki hızlı dönüşümü yeterince hızlı izlemeyip sadece o sistemlerin, o sistemlere göre tasarlanmış tümdevrelerin ithalatçısı olma tuzağından kurtulamamaları, zaman içinde Türkiye tüketici elektroniği sektörünün gerilemesine yol açtı. Burada yine biraz önce söz ettiğim 2023 Vizyon Belgesine değinmek istiyorum. Evet 2003 yılında televizyon ihracatı 18 milyondur ve belli başlı üç tane üreticisi vardı; Vestel, Beko ve Profilo. 2012 yılında Profilo kapandı. Bu tüketici elektroniği sektöründeki kötü gidişin en önemli işaretlerinden biriydi. Nitekim televizyon ihracatı 2013 yılında, 10 sene önceki 18 milyon seviyesinden 8 milyona düştü. Daha da kötüsü 2013 yılında Türkiye’ye ithal edilen televizyonlar için verilen para 2.8 milyar dolarken Türkiye’nin ihraç ettiği televizyonlardan kazanılan para 1.83 milyar dolardı. Yani telekomünikasyon sektöründe 1990’ların sonlarından itibaren başladığını söylediğim teknolojiyi takip edememe olgusu nedeniyle gündeme gelen gerileme, tüketici elektroniği sektöründe de aynen kendini gösterdi. Son bir gelişme –internette gördüm- Beko’nun Beylikdüzü’ndeki arazisinin satışa çıkarılmış olmasıdır. Bunun ne anlama geldiğini bilmiyorum.

Şimdi biraz evvel birkaç defa altını çizdiğim, 2023 Vizyon Belgesine dönmek istiyorum. Bu çalışma, 2003 yılında başladı ve çok yoğun katılımı ve çok etraflı çalışmalarla teknolojinin çeşitli alanlarında 2023 vizyonu doğrultusunda izlenmesi gereken yol haritaları belirlendi. Bu çalışma alanlarından bir tanesi elektronik ve enformatik sektörüydü. Bu grupta çalışan kişiler, yol haritasını belirlemeye yönelik olarak öncelikli alanları şöyle belirlediler: Görüntü Birimleri Üretim Teknolojileri, Tümdevre

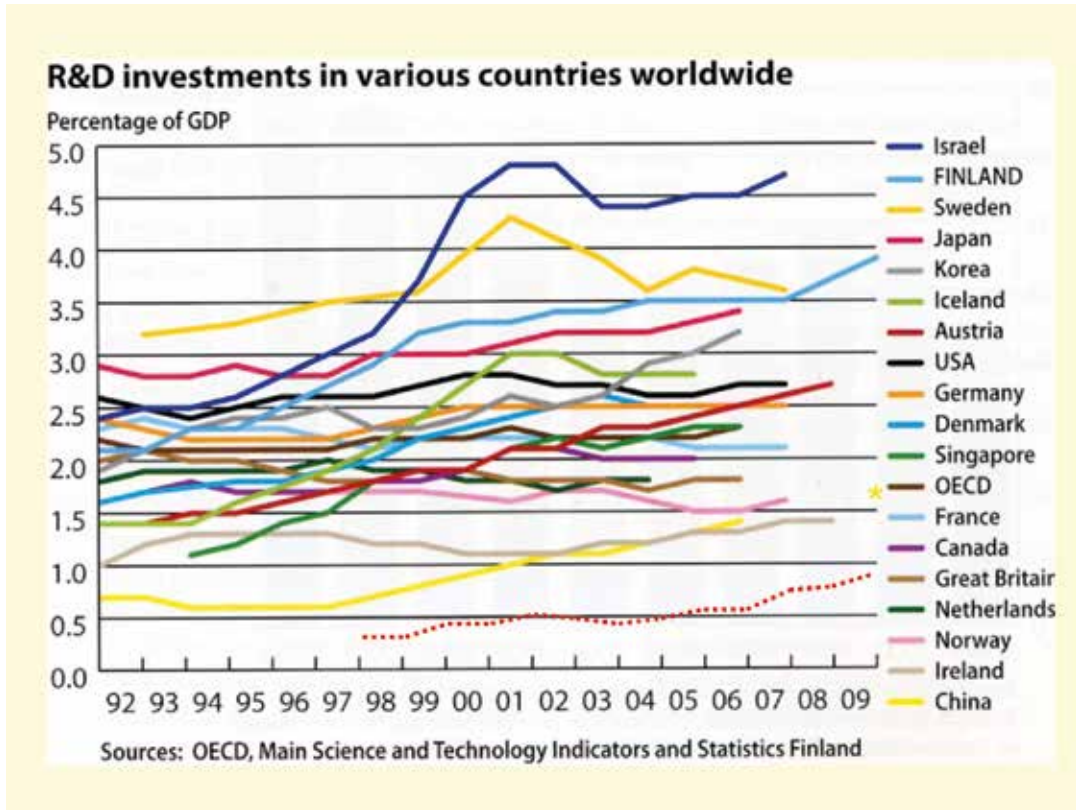
Teknolojileri Tasarım ve Üretimi, Genişbant Teknolojileri ve Görüntü Algılayıcıları Üretim Teknolojileri. Bunlardan sadece bir tanesi üzerinde durmak istiyorum.

Görüntü birimleriyle ilgili olarak yapılmış olan bu yol haritasında deniliyor ki (Şekil-1); 2005 yılında “Yeni nesil yassı panel ve projeksiyon görüntü birimleri konusunda temel ve uygulamalı araştırma çalışmaları için güdümlü araştırma projeleri başlatılması.” Hemen arkasından 2007 yılında “Eş parlaklıklı ve uzun ömürlü 3 renk organik LED örneklerinin gerçekleştirilmesi.” Devam ediyorum; 2012 yılında “büyük boyutlu (çapı 100 mm’den büyük) renkli OLED ekranların ticari olarak üretilebilir hale gelmesi.” Bu rota çizgisi niye önemli? Bakın, bu çalışmanın yayınlandığı tarihte, OLED teknolojisi henüz hayata geçmemişti. Araştırma-geliştirme aşamasındaydı ve bu belgede denmişti ki “araştırma-geliştirme çalışmalarına başlansın” ve şu şu şu aşamalardan geçerek 2013 yılında büyük boyutlu OLED ekranlar Türkiye’de üretilebilir hale gelsin. Şimdi bakın bu yol haritası hiç değerlendirilmedi fakat bir şey oldu. 2013 yılında başka ülkelerde 100 cm’den büyük OLED ekranları gerçekleştirilip, kullanılır hale geldi. Daha önemli bir şey söyleyeyim: Bu senenin başında TÜBİTAK, OLED teknolojileriyle ilgili olarak araştırma-geliştirme yapmak üzere bir çağrıda bulundu. Bu çağrı, 2005 yılındaki bu belgede yer alan öngöründen 10 yıl sonra yapıldı ve bu arada “Atı alan Üsküdar’ı geçti!”



Şekil-1

Şimdi son olarak size benim her vesileyle gösterdiğim grafiği burada bir kere daha göstermek istiyorum (Şekil-2). Bu grafikte, OECD ülkelerinin Ar-Ge harcamalarının Gayri Safi Milli Hasıla’ya oranı yıllara göre yer alıyor. Gördüğünüz gibi en yukarıda İsrail var, yüzde 4.5 civarında, ortalama yüzde 2.5 civarında. 1990’larda Çin’in oranı yüzde 1’in altında iken daha sonraki yıllarda ciddi bir gelişme göstererek 2010 yılında yüzde 1.5’a çıkmış. Türkiye’nin durumu ise 1990’ların başında hemen hiç yokken 2000’lere doğru yüzde 0.5’in aşagısından başlayıp yüzde 1’e doğru yükseliyor.



Şekil-2. (Belgenin orijinalinde olmayan Türkiye ile ilgili veri, kırmızı noktalı bir çizgi olarak ilave edilmiştir.)

Şimdi bunu başka bir vizyon çalışmasının öngörülerıyla değerlendirelim. 1983'te yapılmış olan bu öngörülerde, 2003 yılına kadar nelerin yapılması gerektiği konusunda şunlar söylenmiş (Şekil-3):



Şekil-3

“Belirlenen hedeflere öncelikli olarak erişebilmek için Ar-Ge harcamalarının bugünkü yüzde 0.24 seviyesinden önümüzdeki 10 yıl içinde yani 1993’e kadar yüzde 1’e, 21. yüzyılın başlarında da yüzde 2’ye yükseltilmesi öngörülmektedir.” Biz yüzde 1’e 21. yüzyılın 15. senesinde ancak ulaştık. Ayrıca halen 10 bin çalışan başına 4.2 kişi olan tam zamanlı araştırmacı sayısının 10 yıl içinde 15 kişiye, 2000’li yılların başında 30 kişiye çıkabilmesi planlanmaktadır. Bunun dışında dünya bilim literatürüne katkı bakımından halen 41. sırada olan Türkiye’nin 10 yıl içinde ilk 30 ülke, 20 yıl içinde ise ilk 20 ülke içine girmesi hedeflenmektedir.

Şimdi bakın, 21. yüzyılın başlarındaki yüzde 2 hedefi, -1990’ların başlarında yüzde 0.5’miş- 2013 yılında yüzde 0.92 olmuş. 10.000 kişiye düşen araştırmacı sayısı 30’a yükselmiş. Yayınlar açısından da, ilk 20 ülke arasında olması öngörülen Türkiye, 2008 yılında 18’e yükselmiş. Bunlar güzel görünümlü veriler. Ancak burada bir şeyi vurgulamakta yarar var. Bunlardan bir tanesi Türkiye’deki bilimsel yayınların etkinlik düzeyi dünya ortalamasının üçte biri kadar. Yani sayısal olarak hedefe ulaşmışız ama etkinlik düzeyi olarak hâlâ dünya ortalamasının üçte biri oranında kalmışız.

Araştırma- Geliştirme çalışmalarının sanayi alanındaki durumu nasıl diyecek olursanız, burada bir kişisel tecrübeden yararlanarak bilgi vermek istiyorum. Ben dokuz sene boyunca TÜBİTAK’ın TEYDEB Elektronik ve Enformatik Araştırma Grubunda üye olarak görev yaptım. Bu süre boyunca sanayiden gelen Ar-Ge projelerini inceleme-değerlendirme sorumluluğunu taşıdım ve bu sayede de epey bilgilendim. Gördüm ki sanayiden gelen Ar-Ge projelerinin çok büyük bir bölümü gerçekten bir teknoloji geliştirme amacıyla değil, bir ürün iyileştirme yoluyla kamu kaynaklarından para aktarma amacıyla yapılmış projelerdir. Durum bugün nasıldır bilmiyorum, inşallah daha iyidir. Ama biraz evvel söylediğim ihracat-ithalat rakamları Türkiye elektronik sanayinin hâlâ bu bakımdan çok problemliliğini gösteriyor.

Son olarak yine geçenlerde bir gazeteden aldığım önemli bir bilgiyi vererek konuşmamı bitirmek istiyorum. Diyor ki 2009-2013 yılları arasında Türkiye sanayinin ihracat artışı yüzde 90 civarında. Türkiye’nin tüm sanayi ürünlerinin ihracat gelirlerindeki artış yüzde 90. Buna karşılık elektrik-elektronik sektörünün bu dört yıl içindeki artışı yüzde 2.9. Bu söylediklerim iç açıcı şeyler değil ama gerçek veriler. Dolayısıyla gerek siyasi yöneticilerin gerek üst düzey bürokrasinin, gerekse sanayi yöneticilerinin, bu durumu gözönünde bulundurarak Türkiye’de çökmeye doğru giden elektronik sektörünü yeniden canlandıracak tedbirleri almak için –kafalarını kuma sokmadan- gereken çalışmaları yürütmelerini diliyor, hepinize dinlediğiniz için teşekkür ediyorum.

MİKRO ELEKTRONİĞİN TÜRKİYE'DEKİ GELİŞİMİ

Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Günhan Dünder (Boğaziçi Üniversitesi)

Prof. Dr. Günhan Dünder (Oturum Yöneticisi)- Panelimize hoş geldiniz.

Ben Günhan Dünder. Boğaziçi Üniversitesindeyim. 1990 yılından bu yana mikroelektronikle uğraşıyorum.

Diğer panelistlerimiz Dr. Barbaros Şekerkıran, Güntekin Kabuli ve Nizam Muzafferoğlu sunumlarını sırayla yapacaklar.

Burada bulunanlardan, büyük ihtimalle, mikroelektronik konusunda birçok kişinin fikri vardır ama birden fazla çipi tümdevreye koyduğunuz zaman, mikroelektronik başlamış olur. 1958 yılında iki transistörle başlıyor, 2010 yılında 2 milyar transistörden bahsediyoruz. Yani 50 yılda 1 milyar kat karmaşıklaştıran bir teknolojidir. Son 50 yılda, her yıl yüzde 53 bileşik büyüme hızı gösteren bir teknolojidir bahsediyoruz. Bileşik büyüme hızı, ortaokulda öğrendiğimiz bileşik faiz gibi bir şey. Faiz küçük bile olsa, üst üste bine bine üssel bir şekilde artıyor. Aynı şekilde, o bileşik büyüme hızı da üssel bir şekilde karmaşıklığın artmasını sağlıyor.

2008 yılında -sadece bir yılda-, büyüme çapında 1019 transistör üretilmiş. Bu bayağı büyük bir rakam, insan havsalasının alması biraz zor. Karşılaştırma için; dünya nüfusu 10 milyar desek, 1010 eder yani kişi başına 109 transistör üretilmiş oluyor dünyada. Transistör, insanlığın yaptığı en ucuz cihaz. Yani ben şimdi buradan dışarı çıksam, ağaçtan bir dal koparsam, ona harcadığım mesaiyi hesaplasanız, bana bir transistörden daha pahalıya geliyor. Bu kadar karmaşık bir cihazın bu kadar ucuz olması ve bir teknolojinin büyüme hızının bu kadar uzun bir süre göstermesinin, tarihte başka örneği yok.

Peki, sektör büyüklüğü nedir? 2013 yılında dünyadaki elektronik sistem üretimi 1.4 trilyon dolar. Bu 1.4 trilyon dolarlık üretimin 300 milyar dolarlık kısmı, yarıiletken ya da mikroelektronik sektöründen. Türkiye'nin dış ticaret açığı 60 milyar dolar, yani Türkiye'nin açığının beş misli sadece mikroelektronik sektöründen. Ayrıca, sektörün büyüklüğünün yanı sıra, mikroelektronik, başka teknolojileri var eden ya da mümkün kılan bir teknoloji. Elektronik sistem üretimine katkısı 4 misli. Yani 300 milyar dolarlık bir sektör, 4-5 misli bir elektronik sektörünü var ediyor. Hizmet sektörüne 15 misli katkısı var. Sağlam bir mikroelektronik teknolojisine sahip olmadan, büyük bir elektronik sektöründen, bir elektronik sistem üretimi sektöründen bahsetmek maalesef çok mümkün değil.

Alt Sektörlere Göre Dağılım

Veri İşleme	%40
Haberleşme	%30
Tüketici Elektroniği	%13
Endüstriyel Elektronik	%9
Otomotiv	%9
Savunma ve sivil havacılık elektroniği	%1

Peki, bu mikroelektronik üretim hangi sektörlerle dağılıyor? Dünyada, 2015 yılında yüzde 40 veri işleme -bu arada, izleyiciler arasında muhakkak benim gibileri olacaktır, bunları toplayacaktır; yüzde 100 etmiyor, çünkü rakamları yuvarladım-, haberleşme yüzde 30. Her ikisi, tüm dünyadaki mikroelektronik sektörünün yüzde 70'ini kapsıyor. Türkiye'nin nispeten güçlü olduğu tüketici elektroniği yüzde 13, otomotiv yüzde 9, savunma sanayi ve sivil havacılık, ancak bu sektörün yüzde 1'ini sağlıyor.

Dünya çapındaki firmalara bakarsak, satışlarına göre, ilk 3'te; 47 milyar dolarla Intel var. Neredeyse tek başına Intel, Türkiye'nin dış ticaret açığını kapatabiliyor. Intel ilginç bir firma; hem tasarım, hem üretim yapabilen bir firma. Sonra, 30 milyar dolarla Samsung geliyor. Qualcomm'un ise 17 milyar dolarlık satışı var. Satışlarına göre dünyada ilk 3 bunlar. Fakat yıllar içinde, bizim eskiden alıştığımız, hem tasarım yapan, arkasından üretim yapan firmaların yanı sıra farklılaşan firmalar da sektörde yer aldı. Intel hâlâ kendi tasarımını yapıyor, üretiyor; ama Samsung bir istisna. Bunun dışında, firmalar ya üretim yapıyorlar, tasarımla uğraşmıyorlar ya da yalnızca tasarım yapıyorlar, üretimle uğraşmıyorlar. Bunlara göre büyüklükleri ne?

Dünya Çapında Tasarım Firmaları

- Üretimi olmayan mikroelektronik tasarım firmaları (fabless semiconductor companies)

Firma	Satışları (Milyon USD)
Qualcomm	17 200
Broadcom	8 200
AMD	5 300
Mediatech	4 600
Nvidia	3 900

Üretimi olmayan tasarım firmaları, Qualcomm 17 milyar. Dikkatinizi çekerim, burada hiçbir üretim yok, sadece ve sadece bilgi satıyor. 17 milyar dolarlık bir satıştan bahsediyoruz. Bu sektörde, çok çok kaba bir rakam vermek gerekirse, yaklaşık bir mühendis başına düşen satış miktarı 1 milyon dolardır. Tabii, firmadan firmaya, sektörden sektöre değişir ama böyle bir rakamdan bahsetmek mümkün.

Dünya Çapında Üretim Firmaları

- Tasarımı olmayan üretim firmaları (fabs)

Firma	Satışları (Milyon USD)
TSMC	19 850
Global Foundries	4 261
UMC	3 959
Samsung Electronics*	3 950
SMIC	1 973

Tasarımı olmayan üretim firmalarından TSMC, hepimizin bildiği gibi bir dev. 20 milyar dolarlık bir satışı var. Samsung ise dediğimiz gibi istisna.

Türkiye'deki Oyuncular

- Tasarım firmaları
 - Yabancı firmalar
 - Dialog, Maxim, Hittite, ...
 - Yerli firmalar
 - Mikroelektronik AŞ, Mikro Tasarım, ...
- Üretim kuruluşları
 - TÜBİTAK MAM
- Tümdevre de tasarlayan elektronik sistem üreticileri
 - ASELSAN, ...

Peki, Türkiye'deki oyuncular kimler? Bunları birtakım alt gruplara ayırmaya çalıştım kendimce. Bir grup; tasarım firmaları, üretimi olmayan firmalar. Bunları da ikiye ayırdım; yabancı firmalar ve yerli firmalar. Yerli firmalar, Mikroelektronik (Araştırma Geliştirme Tasarım ve Tic. Ltd), Mikro Tasarım gibi firmalarımız ve diğerleri... Diğerlerinin adlarını almadım çünkü muhakkak bir iki tanesini unutup, kızdırabilirim. O yüzden, sadece bir iki örnek verdim. Bir de elektronik sistem üreticileri ki bunların küçük grupları var; örnek olarak da ASELSAN'I gösterebiliriz.

Neredeyiz?

- Semiconductorconnect.org yarıiletken edüstri haritası incelendiğinde

Ülke	Yarıiletken sektöründe faal kuruluşlar
Almanya	300
Hollanda + Belçika	150
Birleşik Krallık	300
İsveç	50
İsviçre	105
Türkiye	17 (Çoğu üniversite)

Peki, biz neredeyiz? Bu slaytların bir iki tanesini yıllar önce yaptığım bir sunumdan aldım, ama rakamlar pek değişmedi. Örneğin Almanya'da, yarıiletken sektöründe 300 civarında faal kuruluş var. Niye Almanya? Nüfusu bizimle aynı çünkü. Nüfusu 25 milyon olan Hollanda ve Belçika'da 150 civarında kuruluş var; bir kısmı üretim, bir kısmı tasarım yapıyor. Birleşik Krallıkta 300, İsveç'te 50. İsviçre'yi aldım. Nüfusu, bizim onda birimiz kadar, kişi başına milli geliri bizim on mislimiz; yaklaşık aynı büyüklükte bir ekonomiden bahsediyoruz. Türkiye'de de 17 kuruluş gözüküyor ki bunların çoğu üniversite. Bulunduğumuz yer maalesef bu.

Peki, niye böyle? Biraz daha durum tespitine devam edelim. İlk olarak, mikroelektronik ürünler bir son ürün değil, bir ara ürün ve bu ara ürünün bir son elektronik sistem tasarımında kullanılması lazım.

Bunun için de bir talep olması lazım. Taleplerin olması için de ilk önce canlı, sağlıklı, araştırmaya yönelik bir üretim ekonomisi olması gerekir. Örnek olarak, tıp elektroniği, bilgisayar, mekanik gibi sektörler gerekiyor. Türkiye'de yıllar içinde, maalesef yalnızca savunma sektörünün talepkâr olduğunu ve savunma sektörünün de bu alandaki payının yüzde birin altında olduğunu gördük. İç pazar kapalıysa dış pazara erişim sağlamak gerekli. Bu da hayli zor. Yetişmiş insan gücü, ülkemizde bu alanda eğitim veren üniversite sayısı ve mezunu çok kısıtlı. Zaten sektör de küçük. Az sayıda insan var, az sayıda ihtiyaç var ve bu dönüp duruyor. Gelişimi de 20-25 yılda -benimle aynı fikirde olacak mı insanlar, bilmiyorum- maalesef çok yavaş olmuş. Bundan 10-15 yıl önce de çok benzer büyüklüklerden bahsediyorduk. Gelişim var yukarı doğru, ama bence yavaş.

Nedir bu sorunlar? Yeni başlayan firmalar için çok ciddi sıkıntılar var. Temelde giriş engelleri var. Birincisi, benim aklımda bir fikir var; tasarım yapacağım, tasarım yazılımına ihtiyacım var bana bir yazılım maliyeti geliyor ki korkunç. Bir şekilde bunu aştım diyelim, talep de buldum, finans da buldum, tasarımı yaptım, 2-3 yıl geçti, üretime gideceğim; üretim maliyetleri prototipleme bile olsa çok yüksek. Bunu da aştım diyelim, ondan sonra test edeceğim ürettiğim ürünleri. Küçük bir firmaysam, test laboratuvarım yok, test maliyetleri yüksek. Bütün bunların küçük firmaları destekleyecek şekilde sağlanması gerekiyor. Yoksa yeni başlayanlar, girişimciler için çok yüksek giriş engellerinden bahsediyoruz.

Uluslararası mikroelektronik firmaları... Birkaç yıl önce Türkiye'ye yeni gelen bir firmayla epey bir tartışma imkânımız olmuştu. Temelde söyledikleri şey şu: "Bizim aradığımız deneyimli mühendis." Ülke sınırları içinde deneyimli mühendis az. Yine aynı kısır döngü. Az sayıda firma, az sayıda mühendis var, onların içinde deneyimli olanları az. Yurtdışından getirmek mümkün tabii.

Bir şekilde bir tasarım ekibi oluşturduk; yurtdışından bir firma niye Türkiye'ye gelsin? Bir sebep iç talep olabilir; ama iç talep de zayıf, tanınırlık zayıf. Bu sektöre özel desteklerin olmaması da yabancı firmaların girmesini engelleyen bir sebep.

Maalesef, Türkiye'deki elektronik sistem firmalarının çok azı tümdevre tasarımına ilgi gösteriyor. Çünkü var olan tümdevrelerle yapılamayacak uygulamaların olması gerekiyor. Türkiye'deki büyük firmaların çoğu zaten tüketici elektroniği firmaları ve ihtiyaç duyulan her şey zaten hazır var. "Hadi, ufak bir fark yapayım" dese, bu tümdevrelerden 500 bin tane, 1 milyon tane ihtiyacı olacak. Halbuki benzer bir tümdevre her yıl 10 milyon, 20 milyon satıyor. Özel tümdevreye ihtiyacı olan elektronik sistem firmasının özel şeyler yapıyor olması lazım. Ayrıca da böyle ihtiyacı olan birisi olsa bile biz kendimizi çok iyi tanıtmıyoruz. Mikroelektronik sistemini ve dolayısıyla kabiliyetlerini bilemedikleri için, böyle bir şeye zaten girmek istemiyorlar.

Üretim yapanlar için sorunlar apayrı. Kahraman olmak gerekiyor üretimle uğraşmak için. Tasarım, bütün bunlara rağmen biraz daha kolay. Ben tasarım tarafından geldiğim için, bir miktar buraya yoğunlaşıyorum.

Çok karamsar bir tablo çizdik. Aslında her sektör birbirinden farklı. Mikroelektronik de bir sektör. Her sektöre aynı parametreyi uygularsak, çözüm bulmak zor. Her sektörün ihtiyaçları ve çözümleri farklı olmalı. Sektörel bazda çözüm aranması gerekiyor. Daha sonra soru olursa, bunları genişletiriz.

Aslında sektörde bir ara ürün-para döngüsünün yapılması lazım; ama bu döngünün başlaması için, önce para, sonra üretim, sonra dönmesi lazım. Ayrıca, eğer biz, dünyadaki bu pastadan, 300 milyar dolarlık pastadan yüzde beş pay almak istiyorsak bile, dünya çapında rekabet etmemiz gerekiyor. O zaman da dünya çapında ürün, dünya çapında endüstri gerekiyor. O da emeğe ve altyapıya dünya çapında yatırım ile mümkün.

Hepimiz mühendisiz. Biliyoruz ki, bir proses varsa, bir kara kutu varsa, bunun bir girişi, bir çıkışı var. Giriş olmadan çıkış elde etmek pek mümkün değil. O zaman, iş mühendisten çıkıyor, ortaçağdan kalma bir simyacılıkla altın çıkarmaya benziyor. Bununla da pek bir yere varmak mümkün değil.

Buyurun Barbaros bey.

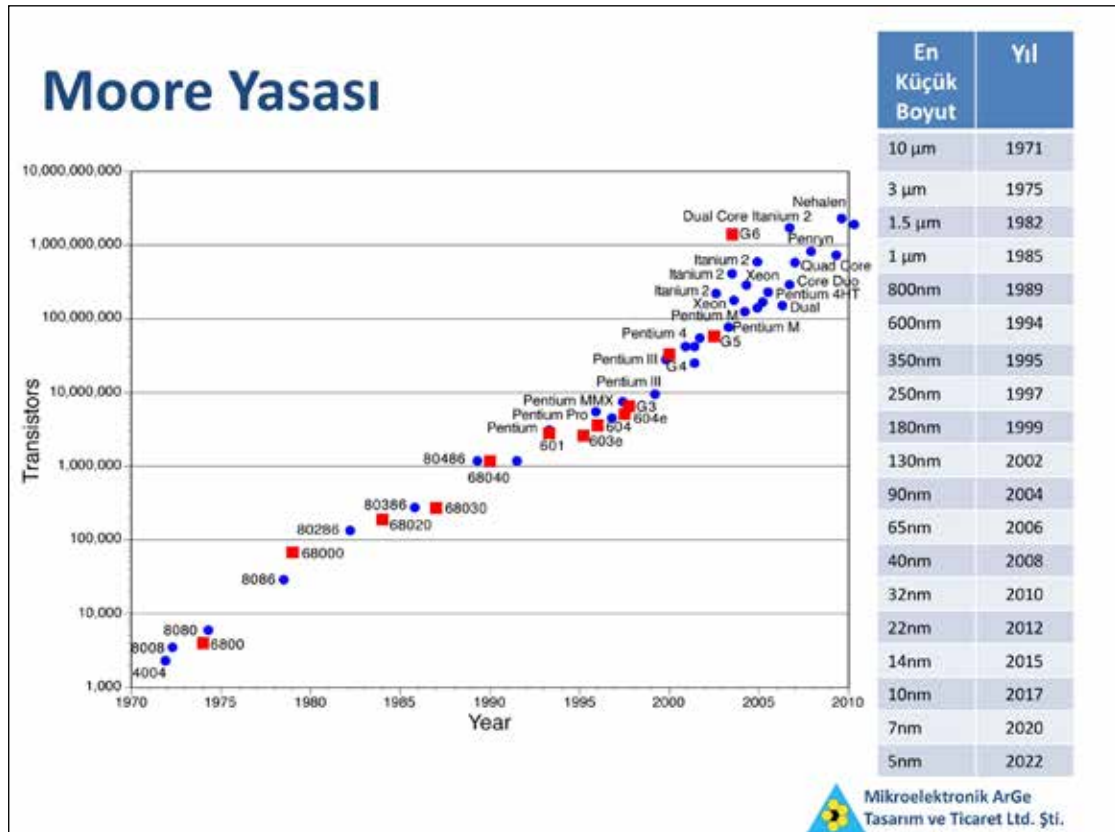
Dr. Barbaros Şekerkıran (Mikroelektronik Araştırma Geliştirme Tasarım ve Tic. Ltd)- Herkese günaydın.

Mikroelektronik Araştırma Geliştirme Tasarım ve Ticaret Limited Şirketi'nin müdürlerinden bir tanesiyim, aynı zamanda Tasarım Müdürüyüm. Şirketimiz, aslında Günhan hocanın bahsettiği, yurtdışı tasarım ofisi olmayan, gerçekten Türkiye'de kurulmuş ve Türkiye'ye hizmet vermeye çalışan iki-üç şirketten bir tanesidir. Bu açıdan, Türkiye'deki durumu, 2004'ten bu yana, şirketin kuruluşundan bu yana gayet iyi izleyebilme ve değerlendirebilme fırsatı bulmuş bir meslektaşınızm.

Günhan hocanın söylediklerine tamamen katılıyorum, baştan onu söyleyeyim. Türkiye'de esas sorun, inovasyonun olmaması. Birazdan daha detaylı olarak dünyadaki durumu da göreceğiz ama benim yurtdışındaki deneyimlerim de hep şunu gösteriyor: Bir kişi, ihtiyaç duymadığı durumda mikroelektronik tasarıma ve üretime yönelmek istemez. Ben de olsam ben de yönelmek istemem; çünkü bu çok zahmetli, uzun ve epeyce yüksek bütçeler isteyen bir geliştirme prosesidir. Kişi zaten Tayvan'dan, oradan buradan çipsetleri birleştirmekle işini yürütmeye alışmışsa ve bunun dışında bir kavramı yoksa bu kişinin karşısına geçip, 'İlla da ben sana tümdevre geliştireceğim' demenin bir anlamı da olmuyor, bir yere de gitmiyor bu işler.

2-3 sene önce, Türkiye'nin büyük firmalarından bir tanesinin Ar-Ge müdürü, cep telefonlarında kullanılabilecek çok gelişmiş bir tümdevre tasarlatmak istiyor. Amerika'ya gidiliyor, şirketlerle konuşuluyor. "Ne kadar para harcayacaksınız?" diye sorulduğu zaman, yirmi bin dolar diyebiliyor. Bu, komiğin de ötesinde bir durumdur. Bu, aslında Türkiye'deki durumu gösteriyor. Yani aslında bizlere gelmesinin, bizlere ihtiyaç duyulmasının tek yolu bu inovasyonun olması. Yani ben, standart tümdevrelerle bu işi yapamıyorum, yapamayacak durumda olacağım, hiçbir şekilde başka bir çözümüm olmayacak, o zaman ancak bu mikroelektronik endüstrisine tasarımı da dahil olmak üzere başvuracağım. Tabii çok meşakkatli bir iş bu, fakat getirileri de çok yüksek. Ancak üretim hacminin çok yüksek olması durumunda bu faydalar daha fazla öne çıkmaya başlıyor.

Aslında Türkiye'nin tüketici elektroniği sanayi bu bahsettiğim şartları gayet iyi bir şekilde sağlayabiliyor. Hatta dünyada, belki Avrupa'da bu şartları sağlayabilecek konumda olan endüstrilerden bir tanesi; fakat geçmişten gelen alışkanlıklar ve inovasyonun olmaması, mevcut olmaması, mikroelektronik sanayisinde de bir talebin olmaması sonucunu doğuruyor.



Biraz dünyaya bakalım. Sanayi nasıl gelişmiş? Hocamız gayet güzel anlattı aslında; fakat ben, Moore Yasasından bahsedeceğim. 1965 senesinde, Intel'in kurucularından Gordon (Earle) Moore; "Her sene bir tümdevre üzerine konulacak elemanların -burada tabii, elemanlardan büyük oranda transistörleri anlamamız lazım- sayısı 2 kat artacaktır ve bu böyle devam edecektir" diye bir öngöründe bulunmuş. Bakıyoruz, gerçekten de öngörüsü 2015'e kadar doğru çıkmaya devam ediyor. Bir müddet daha böyle gidecek. Nereye kadar? Artık fiziksel sınırlara yaklaşıyor transistör boyutları. Orada bir yerde herhalde duracaktır, diye düşünüyoruz. Fakat bir şeye dikkatinizi çekmek istiyorum. Buradaki büyüme, üssel bir büyüme; hocamızın "Faizin faizi" diye bahsettiği şey. Bugüne kadar, insanoğlunun akıllıca işler yapmaya başladığı belki son birkaç yüz bin yıllık dönemi dahil, hiçbir zaman böyle bir gelişme görülmemiş. Buna yakın bir teknoloji de yok, böyle bir şey de yok. Demir Çağı yaşanmış, en fazla yapılabilen Eyfel Kulesi'dir. Otomotiv sektörü var; burada da 1920'lerde yapılan bir araçla bugünkü araç arasında performans bakımından 2-3 kat fark vardır; yaktığı benzin, yapabileceği hız açısından. Son 30 sene içindeki bir farktan bahsediyoruz.

Peki, bu nasıl olabiliyor? Benim görüşüm şu: Burada bir pozitif feedback var. Yeni nesil bir araç çıkaracaksınız diyelim; bu aracı çıkarmak için, eski nesil araçtan aldığınız bilgilere ihtiyacınız var tabii ama onu bizzat kullanmıyorsunuz. 2000 model bir araca binmeseniz bile, 2002 model bir araç yapabiliyorsunuz. Halbuki mikroelektronikte durum öyle değil. Buradaki yüksek gelişmenin nedeni, biz bir önceki mikroprosesörleri, bir önceki hesap kabiliyetini kullanarak bir sonrakini yapabiliyoruz. Örnek vereyim. Pentium gücünde bir mikroprosesör olmasa, Pentium 3 çıkamaz. Ama otomotiv sektörü şunu söyleyemez: Otomotiv sektöründe, 1920 model bir araca da binip, fabrikaya gidip o işi yapabilirsiniz ama burada, Pentium 2 olmadan Pentium 3'ü yapamazsınız. Kendi kendini üreten bir pozitif feedback olayından bahsediyoruz. Bu, otuz senedir, kırk senedir devam ediyor ve maalesef ülkemiz, bunu yakalamak bir tarafa, nasıl bir şey olduğunu bile çok az kişinin fark edebildiğini düşündüğüm bir noktada.

Tabii, birçok kişi mikroelektronik konusunda bilgili, ama yeni mühendis olacak arkadaşları görüyorum. Ne mertebede bir gelişmeden bahsettiğimi göstermek için şöyle bir örnek vermek istiyorum. Benim öğrenciliğim sırasında 1 mikronlarda olan teknoloji şu anda 22 nanometre civarına inmiş durumda. Yani eskiden 1 transistör koyabileceğinize 2.500 transistör koyabiliyorsunuz demektir bu. Başka bir teknolojide, bu kadar kısa sürede böyle bir şey mümkün mü? Hatta kısa süreyi bırakalım, uzun dönemde de öyle.

Ben biraz konudan konuya atlıyor gibi olacağım, çünkü Türkiye için önemli olduğunu düşündüğüm bazı özel konulara değinmeden geçmek istemedim. Çok genel bir sunum olursa, bu, ancak çok uzun bir sürede anlamlı bir yere gelebilir; fakat burada herkesin belli bir altyapısı olduğunu düşünerek, belli konulara değineceğim.

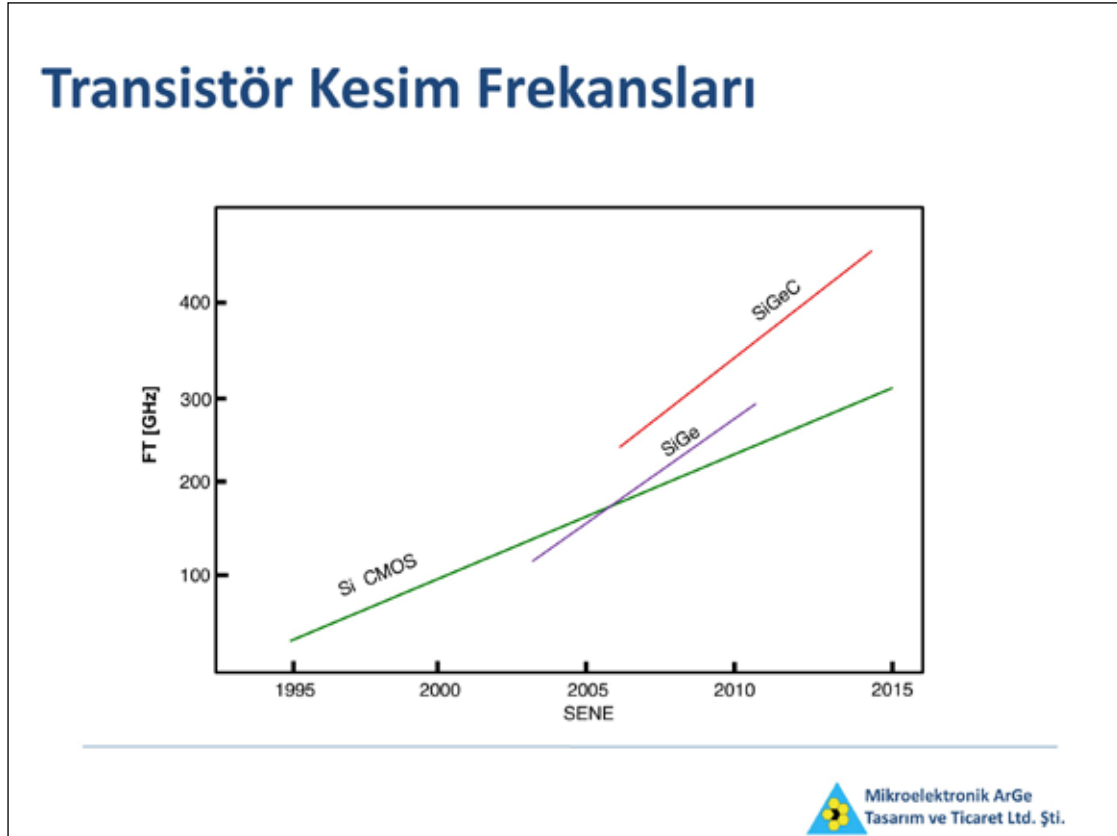
Burada Türkiye için çok önemli bir teknoloji, silisyum-germanyum teknolojisidir. Şu bölgelere gittiğiniz zaman, üretim birimi için yapmanız gereken yatırım milyarlarca doları, hatta on milyar dolarları bulacak seviyelere geliyor. Bu da şu demek: Çok yüksek performanslı bir transistör üretmeniz gerekiyorsa -ki, bugün ancak para o şekilde kazanılabiliyor bu sektörde- çok büyük yatırımlar yapılması gerekiyor. Hatta çok büyük şirketler bile tek başlarına bu işleri yapamaz hale gelip konsorsiyumlar falan kuruyorlar. Buradaki teknolojiler de son derece gizli ve erişilmez şeyler. Bu döngü, silisyum-germanyum teknolojisiyle kırılabilir. Çünkü mikroelektronik sektörünün en önemli özelliği, yatay şekillendirmeye gereksinim duyması ve transistörün boyutunu küçülterek, hem birim alana koyduğunuz transistörü azaltıyorsunuz, hızı da artırıyorsunuz. Çok güzel de bu şekillendirmeyi yapabilmemiz için çok pahalı cihazlara ihtiyaç var. Bunun bir yere kadar alternatifi diyebileceğimiz bir teknoloji, 2000'lerin başlarında silisyum-germanyum teknolojisi olarak kendini gösterdi. İlk yapılan transistör 'Nokta Kontaklı' transistördür. Dikey bir akım akışı söz konusu bu transistörlerde ve burada da hızı belirleyen faktör, büyük oranda baz bölgesinin genişliği. Bu genişliği çok pahalı cihazlara ihtiyaç duymadan, büyütme işleminin zaman ve sıcaklık gibi parametrelerini değiştirerek, çok ucuza, çok ince kalınlıkla sağlamak mümkün. Bu şekilde çok yüksek frekanslı transistörler elde edilebiliyor. Bu seçimin, hem tasarım açısından, hem de Türkiye açısından ne

kadar önemli olduğunu belirtmeden geçmemek niyetindeyim. Türkiye'nin zaten milyarlarca dolar bir yatırım yapıp ileri düzeyde bir CMOS teknolojisine girmesi hayal gibi gözüküyor. Bir yerinden tutacaksa bu işin, silisyum-germanyum teknolojisi en uygun yer olarak gözüküyor.

Tabii, şunu da söylemek gerekiyor: Peki, bütün dünya niye CMOS'la uğraşıyor hâlâ, niye bütün herkes silisyum-germanyum teknolojisiyle uğraşmıyor? Cevabı çok basit. Çok yüksek tümleştirmeye uygun değil transistörler. Yani transistörlerin performansı çok yüksek, çok hızlı transistörlerden bahsediyoruz; fakat kapladıkları yerler çok büyük, güç harcamaları çok büyük. Hiçbir zaman hocamızın bahsettiği 2 milyar transistörü bir silisyum-germanyum teknolojisiyle bir araya koyup bir mikroişlemci yapamazsınız. Güç, herhalde birkaç kilovat çıkar orada. Fakat birçok kilit uygulama için, özellikle askeri uygulamalar için, son derece önemli.

Bu, CMOS teknolojisiyle elde edilebilecek transistör frekanslarının seneler boyunca nasıl değiştiğini gösteriyor. Gördüğünüz gibi, 300 gigahertzlere yaklaşmış durumda. Silisyum-germanyumda çok daha yüksek frekanslara erişmek mümkün. O da bir yere kadar. 2010 senesinde artık silisyum-germanyum-karbon; yani karbon katılarak, baz bölgesinin dar tutulması sağlanmıştır ve bugün de artık bütün silisyum-germanyum transistörler karbon içermektedir.

Şekillendirme çok önemli dedik. Şekillendirme kabiliyetinize göre elde edebileceğiniz performansı gösteriyor bu eğri.



CMOS teknolojisinde, tabii çok düşük. Bugün aşağı yukarı 20 nanometre olduğuna göre, şuralarda bir yerlerde olması lazım. Birkaç 100 gigahertze çıkabiliyorsunuz. Fakat silisyum-germanyum teknolojisinde, diyelim 300 nanometre şekillendirme kabiliyetine sahipsiniz, bundan 4-5 kat daha yüksek kesit frekanslar elde etmek mümkün. Karbon katarsanız, bunu bir miktar daha artırmanız mümkün. Aslında yatay eksen, aynı zamanda üretim için gerekli yatırımı da gösteriyor. O eksen ne kadar ileri doğru giderseniz, şuralarda 10 milyar dolarlara yaklaşmış oluyorsunuz.

Bu da demin bahsettiğim durumu gösteriyor. Kesin frekansınız, dolayısıyla çalışma frekansınızı çok yükseltmek istediğiniz zaman çok büyük yatırımlar yapmanız lazım CMOS teknolojisinde. Silisyum-germanyum ve silisyum-germanyum-karbonda ise bu söz konusu değil; çünkü dediğim gibi, çok pahalı litografi cihazlarına, proseslerine ihtiyacınız olmuyor.

Bir örnek olarak şu andaki durumu gösteriyorum. Yurtiçinden gelen gereksinimlerin biz tasarımı yapıyoruz. Yurt dışı üretim merkezleriyle hem Uzakdoğu'da, hem Avrupa'da bağlantılarımız var. Tabii, bizden istenilen özelliklere göre bunlardan bir tanesini seçiyoruz, tasarımı ona göre yapıyoruz. Bunlar üretiliyor, geliyor. İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki VLSI ölçüm laboratuvarında bizim elemanlarımız tarafından ölçülüyor ve bunlar sistemlere giriyorlar ve bu şekilde tümdevrelerimiz çıkmış oluyor. Yakın zamanda üretimi yurtiçinde YİTAL teknolojisiyle yapmayı planlıyoruz, istiyoruz, dört gözle bekliyoruz. Bu olduğu zaman, bu demin bahsetmiş olduğum loop (döngü) ilk defa yurt içinde kapanmış olacak ve yurtdışına bağımlılık sadece kimyasallar, gazlar seviyesinde bir yere inmiş olacak.

“Peki, bunu niye bu kadar çok istiyoruz?” dersanız, tümdevre, aslında elektronik sistemlerin en kritik bölümleri. Aslında arabanın motoru gibi düşünebilirsiniz. Kaportayı bir yerlerde yaptırabilirsiniz, hatta sanayide de belki kaporta yapıyorlar belli toleranslarda da olsa; ama bir motoru yapamıyorlar. Yani o ürünün özellikleri aslında tümdevre üzerinde saklıdır, o belirler. Özellikle de askeri uygulamalar için bu ürünlere erişim, güvenli bir şekilde erişim son derece önemli.

Stratejik uygulamalar için sürekli olarak bir kaynak sağlamanız gerekiyorsa, bunu yurtdışı bir kaynaktan güvenilir bir şekilde yapamazsınız. Bunların gizliliği ancak tasarımın ve üretimin sizin elinizde olmasıyla mümkün. Askeri uygulamalarda özellikle düşük üretim miktarları söz konusu. Hocamız bahsetti; yüzde bir içinde kalıyor. Ama şunu da söylemek lazım: Çok yüksek performansta tümdevrelerden bahsediyoruz. Askeri sistemlerde kullanılan tümdevreler genelde ticari tümdevrelere göre çok çok yüksek performanstadır. Yani normal bir binek arabasıyla Ferrari'yi karşılaştırmak gibi düşünebilirsiniz. Yurtiçinde de bu seviyede tasarımları yapabilecek bir ekibin bulunması ve bunları sürekli olarak başarılı bir şekilde yapıyor olması çok önemli bir stratejik özelliktir, Türkiye askeri elektronik sanayisi için.

Bazen standart dışı işler yapmak isteyebilirsiniz. Yurt içinde sizin bağlantıda olduğunuz bir fabla bunları kolaylıkla yapabilirsiniz. Bir de MEMS (mikroelektro-mekanik sistemler) gibi özel uygulamalar gerektiği zaman, bunları konuşabileceğiniz yurt içi kaynak çok önemli.

Zamanımı biraz aştım. Onun için, hemen sadede geleceğim.

Türkiye'nin bir tüm devre üretim birimine ihtiyaç duyduğu zaten çoktan beri biliniyor. Çeşitli denemeler de olmuştur, bundan 20-30 sene önceye dayanan zamanlardan bu yana. Onlardan da bir tanesini yaşamaktayız. Niyetler var; bu niyetlerin şekillendirilmesi gerekiyor. Yani Türkiye hangi yöne gidecektir? Moore Yasası'nın üzerinde daha düşük geometrilere doğru daha yüksek yatırımlarla büyük fablar kurulması mı; yoksa daha düşük geometrilere, silisyum-germanyum gibi veya MEMS gibi uygulamalarla niş, ama hâlâ çok işe yarar şeylerin yapılabileceği bir şey mi söz konusu? Şu açıdan da bakmak lazım: Sadece fab kuruyor olmanız yeterli değildir. Farz edin ki, gökten zembille bir fab indi, Eskişehir'de, orada burada kuruldu. Bunu çalıştırabilmeniz için kalifiye eleman lazım. Bunlar yok Türkiye'de. Bu fabı besleyecek tasarımların geliyor olması lazım. Maalesef, bu tasarım gücüne de sahip değil Türkiye. Türkiye'deki toplam tasarımcı sayısı, yani tasarımla uğraşan toptan tasarımcı sayısı 100 kişi bile değil. Bu inanılmaz bir şey. Yani böyle bir ülkede bir fabı nasıl, hangi tasarımlarla besleyeceksiniz.

Şöyle düşünmeyin: Bu bir çimento fabrikası değil, “Bir yerden sürekli kil girecek, öbür taraftan kireç girecek, ısıtacağım, ondan sonra da çimento çıkacak” gibi bir şey değil. Sürekli inovasyon olması lazım, sürekli yeni tasarımların gelmesi lazım ki o fabdan çıkan ürünler her tarafta satılabilsin, bir katma değer verebilsin. Bir de tabii, piyasada çok kullanılan bir söz, ‘tümdevre basma’ gibi bir terim. ‘Tümdevreyi nereden bastırıyorsunuz?’ sorularıyla karşılaşabiliyoruz. ‘Alıyoruz, silikonu koyuyoruz, kolu çekiyoruz, tümdevre çıkıyor’ gibi bir şey değil. Son derece zor bir proses. Bütün fablar gece gündüz çalışır, 24 saat, o pul sürekli işlemedir ve bu işlem 3-4 ay sürer. Onun için, çok meşakkatli bir iş, fakat sadece üretim teknolojisiyle alakalı değil. Yani parayla değil her şey. Paranız olup, burada yatırım yapıp fabı kurmuş olsanız bile, bunu nasıl yaşatacaksınız, nasıl kârlı hale getireceksiniz? Bunlar ancak bir ekosistemle mümkün.

TÜRKİYE İÇİN SEÇENEKLER

- Küçük ölçekli SiGe BiCMOS Üretimi: 0.13 μ m, 400 pul/ay, Kurulum maliyeti 200-250 M\$, çalışan sayısı 200 kişi, 10-20 tasarım/yıl, toplam 100-200 tasarımcı
- Orta ölçekli CMOS Üretimi: 0.13 μ m (+ yüksek gerilim ve MEMS modüller), 1000 pul/gün, Kurulum maliyeti 300-500 M\$ çalışan sayısı 1000 kişi, 20-40 tasarım/yıl, toplam 700-1000 tasarımcı
- Büyük ölçekli CMOS Üretimi: 65 nm, 2000 pul/gün, Kurulum maliyeti 1.2-2 B\$, çalışan sayısı 2000 kişi, 10-20 tasarım/yıl, toplam 1500-2000 tasarımcı



Burada, 3 durum için bir değerlendirme. Bunlar kabaca tabii, çok yaklaşık rakamlar. More-than-Moore'un aşağı yukarı durduğu yerde, bu nodda çok fab havlu atmıştır. Artık daha fazla yatırım yapmadan, bu nodda 'Acaba ben ne yapabilirim?' peşindedir. Bilhassa tüketici elektroniğine son derece uygun bir nod'dur. Çamaşır makinesi yapmak için, bir televizyon yapmak için veya televizyona tüm devre üretmek için, 20 nanometre teknolojisine pek uymazsınız. Silisyum-germanyum BiCMOS üretmede de bunun örnekleri Almanya'da var. Küçük bir fab, 400 pul için kurulum maliyeti, ayda 250 milyon dolar civarında. 200 kişi çalışıyor. Burada kaç tasarımcının böyle bir fabı dolduracak tasarımlar üretebileceğini de üç aşağı beş yukarı hesap etmeye çalıştım. Bu da 100-200 tasarımcı gibi.

8 inçlik 1.000 pul işliyor günde. Bunun kurulum maliyeti 500 milyon dolara yakın. 1.000 kişiyle böyle bir fabı işletebiliyorsunuz. Aşağı yukarı 1.000 tasarımcı da böyle bir fabı besleyebilecek tasarımlar üretebilir. Tabii, bu 1.000 tasarımcının hepsinin Türkiye'de olup aynı şirket içinde bulunması gerekmiyor. Yurtdışındaki tasarım merkezleriyle ortak çalışmalardan da elde edilecek tasarım gücü bunlara dahildir.

'Biz büyük başlayacağız' dersek, tabii ki, 22 nanometre gibi bir noddan başlayamaz Türkiye hiçbir şekilde; ama çok zorlarsak, çok iyi bir plan yaptık, program yaptık, yurt dışıyla eğitim anlaşmaları yaptık, 65 nanometre nodunda bir fab açmaya kalkarsak da bu 1 milyar, 2 milyar dolar arasında bir rakam gerektirecektir. Böyle bir fabda 2 bin kişi çalışacaktır ve en azından 2 bin tasarımcı da böyle bir fabı besleyecek tasarımlar üretebilir durumda olacaktır. Bunlar sadece fikir vermek için yani 'Para bulduk, bir yerle de anlaştık, fabın binasını orada yapıyoruz, cihazları buradan alıyoruz. Bizim de fabımız oldu' şeklinde düşüncelerin pek doğru olmadığını göstermek için bu örnekleri vermek istedim.

Çok teşekkür ediyorum.

M. Güntekin Kabuli(YİTAL)- Kendimi tanıtarak başlayayım. Aslında bir YİTAL neferiyim. YİTAL'in sunumu olduğu için de Aziz Ulvi Çalışkan'ın yerine ben yardımcı olmaya çalışacağım.

Önceki konuşmalarda bahsedildiği gibi, aslında TÜBİTAK MAM (Marmara Araştırma Merkezi) şu

anda galiba tek üretici değil. Bilim Sanayi Teknoloji Bakanlığı, TÜBİTAK, BİLGEM, Bilgi Güvenliği ve İleri Teknoloji Araştırma Merkezi'nin altında Ulusal Elektronik Kripto Araştırma Enstitüsü ve onun ardında da Duran (Prof. Dr. Leblebici) hocanın çekirdek kadroyla başlattığı ve bugüne Günhan hocanın ve Barbaros beyin bahsettiği olaylara rağmen gelip filizlenmiş. Yapabildiklerimizi aktaracağım bir sunum olacak.



Gördüğünüz gibi, bir temiz oda karesi var ortada. Uğraştığımız işler mikron altı. Kendi yaptıklarımızın, açtığımız çukurların, derin çukurların, sık çukurların kendi çektiğimiz resimleri ve bunlar Barbaros beyin bahsettiği SiGe projesiyle de ilintili. Sunum tümüyle Aziz beyin kurulumu. O yüzden, onun akışına uyarak gitmeye çalışacağım.

Biraz önce vurgulanan döngü ve o döngünün ya sıfırdan başlatılması ya da alternatif planlar konuşuluyor. Basit bir paradigmayla başlayalım. Telli telefon, jeton, para atarak ankesörlü telefon kuyruğunda beklemeden, sol alt kareye gelmiş durumdayız. Aslında bu tek anahtarlı bir mors operatörünün yerine, başparmakla çoklu anahtarlama sistemine gelmiş durumdayız. İletişim aynı, fakat bunun için ciddi bir altyapı ve o altyapının akademik buluşlar, IP'ler, tezler ve yerel problemleri çözebilme kabiliyetiyle desteklenmiş ölçekleme ve o ölçeklemeyle performans artışı -ki o zaman, başparmakların vurarak yaptığı işler cam yüzeyde daha da etkin hale geliyor- ve bu da geniş pazarı destekliyor, geniş pazarda bu döngüyü devam ettiriyor.



Daha çok vakit harcamak istediğim, aslında buradaki bal peteği girişkenleri. Önceki konuşmalarda da aslında bunlara defalarca değinildi ama burada vurgulamak istediğim çok önemli bir nokta var. Bunları rasgele Venn diyagramında küme olarak yazmak ya da dairelerle birleştirmek yerine, bu poligonlarla kilitlemenin, benim algıladığım kadarıyla önemli bir etkisi var. Çünkü burada bir dayanışma var ve ara yüzeyi mümkün olduğu kadar artırma var. Dolayısıyla suyun üzerindeki yağ tanelerinin sadece yüzey gerilimiyle teğet noktada dirsek temasından ziyade ya da yüzey gerilimini delerek, geçerek damlaları büyütme hedefinden ziyade, ciddi bir şekilde bir yapboz gibi birbirini destekleyen ara yüzeylerde geçişi artıran, kilitlenen ve bu şekilde soldan hedef odaklı müşteri ürününe çalışan bir mekanizma.

Pazar, müşteri, problem ve bunun akademik derslere kadar geri dönüşünü düşünürsek, Barbaros beyin bahsettiği tasarım ortamı sağlayıcılardan başlarsak, tasarım merkezleri ve IP üreticileri aslında akademik çalışmalar ve öngörülen problem çözümleri sırasındaki değerli alın terlerinin aslında para karşılıkları. Sadece IP bile üretebiliriz, tasarım merkezleriyle entegre çalışabiliriz. Ki, Barbaros beyin verdiği model bununla şu anda kilit bir şekilde çalışıyor.

İkinci faz, aslında bir foundry'nin kurulabilmesi için, alttan ve üstten ciddi bir destek lazım. O da altyapı ekosistem olarak nitelendiriliyor. Fakat sarf tedariki kadar önemli bir işlem yok. Dolayısıyla prosesin bu 7/24 çalışması sırasındaki altyapı desteğinin de aynı şekilde kesintisiz olması gerekiyor. 'Kontak kapa, gerektiği zaman aç ve devam et' modeli bu işlem için geçerli değil. O yüzden, ciddi bir sarf tedariki ve cihaz üretimi desteği ki bu basit bir altyapı olabilir, basit bir vakum sistemindeki sıkıntı nedeniyle Gebze Organize Sanayisine gidip bir CNS tezgâhında bir şeyin yapılmasına kadar gidebilir ya da üst düzeyde, sadece dünyada birkaç üretici tarafından sağlanan kritik gazların tedarikine kadar gidebilir.

Biraz önce bahsedildiği gibi, bazı şirketler hem kendi cihazını üretip hem kendi fab'ını, aynı zamanda o fab'ı da başkalarının fabless üretiminin gerçekleşmesi için kullanıyorlar (buradaki fab=fabrication olmuş oluyor. Fabless diye bahsettiği yerler mikroçip tasarlayıp bunu sağa sola yaptıran yerler). Ama kritik nokta, en son müşteriyle arayüzü oluşturacak olan sistem cihaz üreticisi; çünkü her şey o noktada bitiyor. Kritik noktaların devamı, aslında test ve kılıflamayla da desteklenmek zorunda.

Bu, en son Duran (Prof. Dr. Leblebici) hocanın ve İTÜ'nün oluşturduğu test altyapısıyla aslında bu teknokent sistemine ciddi bir yüksek frekans desteği verecek bir altyapıyla başlatıldı diyebiliriz ama bunun çok daha büyük ölçekte desteklenmesi ve altyapıların da kesiştirilip paylaştırılması lazım.

Bu ön katman, son katmandan sonra kısaca YİTAL'e doğru giderken, böyle bir şekerleme kümesinin Türkiye pazarı için hakikaten alan ölçekli yapılması hedeflendiğinde, ciddi bir araştırma ve veritabanı olmadığını da fark ettik. Dolayısıyla öncelikle MEMS, güç bileşenleri, yüksek frekans hedefli ürünler, gömülü bellek ve CMOS pazarının bizdeki alan bağımlı olarak denkendirilmesine odaklanmak gerekiyor. Şu anki çalıştığımız alanlar ve hedef, aslında güç bileşenleri kadar MEMS, yüksek frekans ve CMOS. Bugüne kadar yapabildiklerimizi özetlemeden önce, Barbaros beyin dokunduğu şu "güven" kelimesiyle ilintili 2004 yılında oluşturulmuş Trusted Foundry konseptinde biraz vakit geçirmek isteriz. Buradaki güven, sadece gizliliği tetikleyen güvenden ziyade, desteğin güveni ve bunun uzun dönemde sürdürülebilirliği. Bu şekilde bakılırsa, 1-2 yıllık bir ömürden bahsediyoruz. Halbuki, bu bahsedilen Trusted Foundry'de yıllar sonra o yatırımı destekleyebilecek sürdürülebilir üretimin de garantilenmesi gerekiyor. Sadece bu konuya yönelik harita üzerindeki bu 51 noktaya bakarsanız -ki, akademik noktalar buna dahil edilmiş değil- bunun içinde 15 civarı üretim nodu ve bunun içinde de kritik yüksek frekans için sadece bir tane üretim nodu göreceksiniz.

Sayılarla ve üretim maliyetleriyle sizleri yormadan, bütün bu döngü sıkıntılarına rağmen bugüne kadar yapabildiklerimizi özetlemekle devam edeceğim.

Daha önce, herkesin takdir ettiği gibi, 1980 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesinden Prof. Dr. Duran Leblebici'nin girişimi ve çekirdek kadrosuyla başlayan bir zaman akışı çizgisindeyiz. Kritik aşamalar, NATO destekli araştırma projelerinden sonra Ulusal Elektronik Enstitüsünün kendi ihtiyaçlarını gidermek amacıyla üretilen CMOS diziniyle devam etti. Burada tekrar vurgulamak isterim. 3 mikron

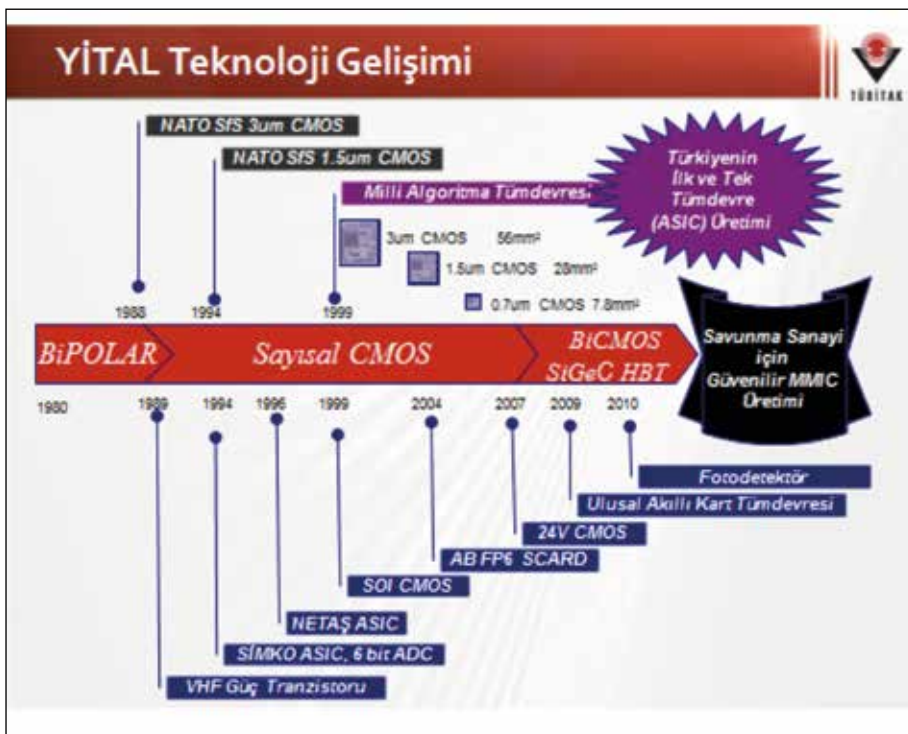
prosesinde tasarım için jenerik bir kütüphanemiz olmadığı halde, 3 mikron prosesinden çok daha yüksek teknoloji gerektiren FPGA'lerden daha iyi bir performansı ASIC tasarımıyla gerçekleştirebildik. Dolayısıyla olaylarda daima maksimum frekans yaklaşımından ziyade, elimizdekileri son damlasına kadar kullanmanın da başarılı bir yöntem olduğunu unutmamamızı öneririm.

Bu zaman akışı içinde, şu anki kilitlenen noktamız, Barbaros beyin bahsettiği gibi, frekansı gigahertz seviyesine çıkartıp, bipoları CMOS altyapımıza entegre ederek SiGeC BiCMOS gerçekleştirmek. Bunun şu anda SSM desteğiyle kütüphane oluşturma aşaması da ürün testleriyle birlikte başlamakta. Bu sayede, Barbaros beyin bahsettiği hazır kütüphaneye üretim evinin tasarım evi bağlantısı gerçekleşmek üzere.

Şu anda yapılabilenler basit bir akış içinde. İstenen dokümandan son lehimlenen PCB'de gerçekleştirilen kılıflanmış saha ürününe kadar gerekli tüm CMOS akışları, maske üretimi dahil, kılıflama ve test dahil, zincirin hiçbir şekilde halkasını kırmadan UEKAE (Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü) bünyesinde yapabiliyoruz. Hedef noktalarımız şu ana kadar, fotodedektörler, sayısal CMOS ve biraz önce bahsettiğim heterojunction bipolar teknoloji SiGeC üzerinde.

Bunun dışında, şu anda bizim ürettiğimiz, kendimizi bir foundry çekirdeği olarak görürsek, büyük ölçekli olmasa bile kendine yeter bir foundry olarak görürsek, kendi içimizdeki tasarım merkezinin çok kuvvetli bir avantajı daha var; o da, bu foundry tasarım merkezi arayüzünün vurgulanması gereken nokta. Foundry'nin ürettiği teknolojinin kütüphane olarak aktarılıp, jenerik tasarım desteklemesiyle olan ayrışma yerine, tasarım merkezinde üretimde çalışmış arkadaşların üretim teknolojilerini ve kısıtlamalarını bilerek yaptıkları özel tasarımlarla, aynı problemi çözebildik. Dolayısıyla bu kümeleri tekrar tekrar seksek taşlarında zıplama olarak görmek yerine, bunları birbirine çok sıkı bir şekilde kilitlenmiş ve etkileşim sağlayan noktalar olarak görmeyi tercih ederim.

Biraz önce kaldığımız yere gelirsem, bizim tasarım grubumuzun sadece üretim teknolojisi olarak bizim YİTAL laboratuvarında yaptıklarımızın dışında da, Avrupa Birliği çerçevesinde, diğer üniversiteler ve üretim alanlarıyla ortak çalışmalar oldu. Burada da yan kanal etkisi ve çektiği akım davranışından içindeki kritik bilgilerin alınmasına karşı önlemler içeren tasarımlar yapıldı. Aynı tasarım ekibimiz, bu sayıda üretimi bizim fab çekirdeğimiz sağlayamadığı için, çünkü sadece kısıtlı üretim yapabiliyoruz, bir araştırma-geliştirme kurumunun altındaki gerekli üretimi yapan bir fab çekirdeğiyiz- kendi birikimleri ve iç IP'leriyle ulusal kart çalışmasını gerçekleyp, Asya'da üretirip devreye sokabildiler. Arzu edenler için kısa bir tanım. Ki, son üçleme tümüyle arkadaşların kendi tasarımıdır.



Bu bahsettiklerimiz, 1980'deki tohumdan bugüne kadar getiren kadro ve altyapı için bakarsak, rakamlar burada ve altyapımız burada. Barbaros beyin bahsettiği haftalar süren proses düzlemde maske aktarma bazlı bir sistem olduğu için, aslında 'Katlan, döse, şekillendir, aşındır'ın kat be kat tekrarlamasından ibaret. Dolayısıyla kritik boyutu belirleyen en önemli iş de cıva lambası buharının Giresun(g) line'ında mı, İzmir(i) line'ında mı olması. Sadece g'den i'ye çıkmak için altyapıda ciddi bir fiyat farkı oluşuyor ki bu daha nodun ciddi bir küçülmesi değil. (İ) line'ında şu anda bizim çeyrek mikron CMOS prosesinin SiGe entegrasyonun çok rahat yapılabiliyor. Onun dışındaki aşındırma, depolama, katkılama, oksitleme ve en altta da boyut ölçme, analiz yapma için elektron mikroskopuyla şu anki altyapımız tamamlanıyor. Bunu şu ana kadar üst vardiya olmadan, projenin tamamlanması gerektiği kadar emek harcayarak, bahsedilen son iki slaytla yapabildik. Dolayısıyla yeşereni devam ettirmek de bir alternatif.



Basit bir şekilde, 5 satırda hedefimiz.

Sorularınız varsa cevaplamaya çalışayım.

Prof. Dr. Günhan Dünder- ERMAKSAN'dan Nizam bey konuşmaya devam edecek.

Buyurun.

Nizam Muzafferoğlu (ERMAKSAN)- Herkese merhaba.

Ben, ERMAKSAN'dan Nizam Muzafferoğlu. Opto Elektronik Merkez Müdürüyüm.

10 dakika dediler bana. Bu, aslında 190 sayfalık bir slayttı, 30'a indirdim.

Kısaca ERMAKSAN'ı tanıtmak istiyorum. Ondan sonra da neler yapıyoruz, ona geçmek istiyorum.

ERMAKSAN, Bursa merkezli bir firma. 1965 yılında, Erol Özkayan tarafından kurulmuş. Bir makine firması aslında. Bu yıl elliinci yılımızı kutluyoruz ve yaklaşık yirmi beş yıldır da sac işleme teknolojileri üzerine çalışıyoruz. Baktığımız zaman, ERMAKSAN'ın yerleşkesi Bursa'da, Organize Sanayi Bölgesi'nde. 80 bin metrekare bir kapalı makine üretim alanı var, on bin metrekare yine kapalı lazer kesme makineleri üretim alanı, bir de altı bin metrekarelik bir Opto Elektronik merkez kuruldu. Üç katlı bu merkez. Mühendisler ve diğer personeli düşünürsek, ERMAKSAN'ın şu anda bin kişilik bir kadrosu var. Yıllık 5.500 makine kapasitemiz var.

Tabii, ERMAKSAN tüm dünyaya satıyor, 76'dan fazla ülkeye satıyor. Sadece Amerika kıtası için

Amerikan firmamız var. Amerika kıtasındaki lojistiği, teknik servis ve satışları o üstlenmiş durumda. 2010 yılında kuruldu. Baktığımız zaman, yıllık üretimimizin yüzde 70'ten fazlasını yurtdışına ihraç ediyoruz. En son rakamlara göre, 220'nin üstünde satış noktamız, servis sahamız ve bayiimiz var bütün dünyada. Aslında çok ciddi olarak yayılmış durumdayız. Bazıları kendi personelimizi barındırdığımız, bize ait olan bayiler, bazıları da anlaşmalı olduğumuz bayiler. Saydığınız zaman 220 değildir o yüzden.

Neler yapıyor ERMAKSAN? İlk başta projelerimizden bahsedeyim. Mesela ERMAKSAN, dediğim gibi, lazer kesim makinesi üretiyor. Bununla ilgili projemiz var TÜBİTAK'tan. Bunu bitirdik. Türkiye'de 2 kilovatlık fiber lazer rezonatör yaptık. Testleri sürüyor şu anda. Tabii, ilk önce kendi içimizde, sonra TÜBİTAK'la yine yürüttüğümüz projemiz var; endüstriyel lazer diyetolar. Diyetoları yapma projesi devam ediyor, başladı. Tabii, yatırımımızla beraber, Opto Elektronik Merkez yatırımıyla beraber, Türkiye'de iki önemli proje aldık. Birisi 1007, Türkiye'deki LED ve OLED üretim teknolojisinin geliştirilmesi ve prototip imalatı. Bu 1007, öncelikli alanlarda. Bunun akabinde ikinci bir proje çağrıyla çıktı. Ekran aydınlatmalarıyla ilgili bir projeydi. TV'lerde ya da LCD ekranlarının arkasındaki beyaz ışığı oluşturmada kullanılıyor. Bu da 1003 projesiydi. Bunu aldık.

Önemli projelerimizden biri de sinterleme tekniğiyle 3D yazıcı üretilmesi. Bu da üç boyutlu nesneler üretme. Sinterleme dediğimizde, 10-40 mikron arasındaki tozları sererek ve her katmanda bunları bir alttaki katmanla birleştirerek, üç boyutlu nesne üretilmesi projesi. Birinci yılımızdayız. Çok güzel yok kat ettik. Siz de biliyorsunuz, artık gelecek, özellikle üç boyutlu yazıcılara gidiyor.

Biraz ürünlerden bahsetmek istiyorum. Fiber lazer kesim tezgâhımız var, karbondioksit lazer kesim tezgâhımız var, profil kesim makineleri ve panç ve abkant makinelerimiz var. Tabii, ERMAKSAN, artık bu alanlardan yavaş yavaş çıkmaya başlıyor. Yani bunlar standart üretilenler. Geleceğe yönelik planlar yapmaya başladık son 8 yıldır. Bu bağlamda, nereye gidebiliriz diye fizibilite raporları oluşturuldu ve gördük ki, artık dünya fiber lazer sistemleri ve lazer sistemler üstüne gidiyor. Bu bağlamda, uzun süreli bir araştırma yaptık ve Opto Elektronik Merkezi kurduk. Biraz bundan bahsedeceğim. "Türkiye'de ciddi bir yatırım gerekiyor, bir de babayiğit gerekiyor" diyor çoğu. Biz de bir nevi bunu üstlendik. Tabii ki sadece lazer kısmında.

Ön araştırma 2008 yılında başladı, 2011 yılına kadar oldu. Biraz kısaca tarihten bahsetmek gerekirse, Türkiye'nin ilk fiber lazer kesim tezgâhını 2005 yılında ERMAKSAN üretti. Bu karbondioksit sistemdi. TÜBİTAK'tan ödül aldı bununla ilgili. 2007 yılında da ilk fiber lazer kesim tezgâhını üretti. Tabii, bu source'ların hepsi dışarıdan alınıyordu. Tabii, daha sonra ticari olarak ileriye bakıldığı zaman, makine sektörü gitgide üçüncü dünya, dördüncü dünya ülkelerine kaymaya başladı. Bu sefer 'Yüksek teknolojiye geçelim' denildi. Burada da fiber lazer source'lar üretilmesi konusunda bir yol haritası çıktı. Bu bağlamda, yönetim, bizden bir araştırma yapmamızı istedi. 2008 yılından 2011 yılına kadar bir araştırma raporu hazırladık, bir fizibilite raporu. 980 tane patent inceledik. Yaklaşık 186 tane ürün datasheet'i inceledik fiber ve lazer sistemleriyle alakalı. 'Bir tesis kurmaya kalksak neler gerekir bunlar için, bu altyapı için neler gerekir?' diye 120'den fazla ürün inceledik.

Toplamda baktığımız zaman, yaklaşık 7 bin sayfalık bir doküman vardı elimizde, 8 klasörlük. Bunu 2011 yılında yönetimle paylaştık ve bir maliyet çıkardık. Daha sonra yönetimden onay aldıktan sonra -ki, bu ciddi bir süreçti bizim için- 2001 yılında bir start verildi ve neredeyse 2 yıl dışarıda kaldık Ar-Ge Müdürümüz ve ben. Ekibimizden de birkaç kişi bazı kısımlarda katıldı, bazı kısımlarda değerli hocalarımız katıldı ve bütün dünyayı gezdik. İlk önce Amerika'dan başladık buna. Yaklaşık olarak 24 eyalet gezdik. 24 eyalette 62 firma ve üniversiteyi dolaştık, 'Hangi sistemlere sahipler, bu tip lazer sistemleri, fiber lazerleri nasıl üretiyorlar?' diye ve bunların hepsini raporladık. Daha sonra Avrupa'ya geçtik. Avrupa'da 11 ülke gezdik, 83 firma ve enstitüyle görüştük. Biriyle işbirliği yaptık burada. Daha sonra Asya'ya gittik, Asya'da 9 ülke dolaştık, 52 firma ve enstitü dolaştık. Ki, bunlardan en önemlileri, Kore'de LED ve lazer üzerine en iyilerinden biriyle işbirliği yaptık, görüştük.

Bundan sonra artık bütün raporlarımız oluşmuş oldu. Neler gerekli bu altyapı için, gerçekçi olarak ne kadar para gerekli ve bu merkezin ayakta kalması için ne tür işler yapılması gerekir, buna ilişkin

bütün raporları oluşturduk. Tabii, dünyayı dolaştıktan sonra, ‘Bunu Türkiye’de nasıl yapabiliriz, kimlerle partner olup kimlerle bunları yapabiliriz?’ dedik. Bu bağlamda, yayınları inceledik tabii. Görüştüğümüz bazı cihaz firmalarının da yönlendirmesiyle Türkiye’deki birkaç bilim adamıyla görüştük. En sonunda, Bilkent Üniversitesinden Atilla Aydın ve Cumhuriyet Üniversitesinden Sezai hocayla bu alanda devam etme kararı alındı ve başladık. Bursa’da kuruldu, yine bizim ERMAKSAN’a yakın bir yerde.

2011 yılında bu gezilere başlamadan önce, kontrol sistemlerimizi ve yazılımlarımızı yapan elektronik ekibimizi oluşturmuştuk. Bunları da dahil ederek, Opto Elektronik Merkezimizi oluşturduk ve çeşitli gruplar oluştu içerisinde. Bazılarından kısaca bahsetmek istiyorum. Yarı iletken teknolojileri grubumuz, fabrikasyon dediğimiz kısımların üretimini yapacak ekibimiz, fiber teknolojileri grubu, fiber alanındaki teknolojilerin geliştirilmesi ve Ar-Ge’sini yapacak ekibimiz. Tabii, biz merkez olarak burada şöyle bir şey düşündük: Ta ki lazer diyot modül çıkana kadar bütün aşamaları burada gerçekleşsin istedik. Bu bağlamda da modül üretmeyle ilgili de bir ekip kurduk. Tabii, içerisinde gömülü sistem teknoloji grubumuz ki çok tecrübeli bir ekibimiz var. Kendi makinelerimizi, çok eksenli real time sistemlerimizi PCB dizaynları dahil, gömülü sistemleri dahil, yazılımları dahil, hepsini bizim kendi ekibimiz yapıyor. Dizgi hattımız da var bununla alakalı. Bir de PC tabanlı yazılım grubumuz var. Windows ve Linux tabanlı arayüz programlarımızla yazıyoruz makinelerimizi.

Opto Elektronik Merkezi altyapısına baktığımız zaman, 4 doktoralı arkadaşımız var, yüksek lisans 27 -bunların bazıları gitti şu anda, doktora başvurdu arkadaşlarımız-, lisanslı 51 ve teknisyen olarak 12 kişiyle toplam 94 kişilik bir ekibimiz var. Hedefimiz, uzun vadede 220 kişilik bir kadro. Tabii, çoğunluğu doktoralı ve yüksek lisanslı olmak koşuluyla fizik mühendisleri ve elektrik elektronik mühendisleri alıyoruz.

Az önce Barbaros beyin de dediği gibi, yetişmiş eleman bulmak çok zor. Bunun için kendimiz eğitiyoruz. Bazı enstitülerle ve yurt dışındaki bazı firmalarla anlaşmamız neticesinde, elemanlarımızı oraya gönderiyoruz. Sadece Türkiye için bir rakam vermek istiyorum. Sadece bir yılda, geçtiğimiz bir yılda Türkiye içindeki eğitime harcadığımız para 1 milyon lirayı geçti. Bunlarla ilgili Cumhuriyet Üniversitesi ve Bilkent’le ortak eğitimler yürütüyoruz. Örnek vermek gerekirse, en son Bilkent İleri Araştırmalar Laboratuvarında ekiplerimiz 2 ay kaldı; sabah 10.00, akşam 22.00. Hem teorik, hem de laboratuvarında bir nevi eline alarak device’ları tool’ları, bütün prosesleri oturttular. Şu anda devam ediyor. Aynı zamanda Cumhuriyet Üniversitesiyle de bir protokol imzaladık. Bu protokol kapsamında, arkadaşlarımız orada eğitim alıyor.

Opto Elektronik Merkez altyapısıyla ilgili biraz bilgi vermek istiyorum. Kristal büyütme sistemimiz var. Birincisi Arsin/Fosfin tabanlı sistemimiz. Burada lazer diyotlar, kırmızı LED’ler, askeriyede kullanılan bazı sistemler. Bir de Nitrat tabanlı var. Bu da LED GaN dediğimiz büyütme sistemi yapabileceğimiz büyütme sistemimiz. Litografi sistemlerimiz var. Tabii, burası bir seri üretim merkezi olarak kuruldu. Bütün sistemleri robotik kolla kontrol edilebilir ve insan elinin olabildiğince az değeceği sistemlerle tasarladık. Kaplama sistemlerimiz var, karakterizasyon sistemlerimiz var. Yani elektron mikroskopumuzdan tutun, hepsi mevcut.

Tabii, bu iki yıllık geziler sırasında birçok deneyim elde ettik. Gördük ki yaptığınız temiz odanın tasarımı da çok önemli. Yani içeride çıkacak numunenin kalitesine bağlı olarak, tasarımınızın iyi olması gerekiyor. Mesela, bunlardan en önemlisi, bizim üstünde durduğumuz, burada gördüğünüz cihazların aşındırma ve karakterizasyon sistemlerinin bazılarını odanın dışına aldık. Şöyle ki: Cihaz dışarıda, siz oraya koyuyorsunuz numuneyi içine alarak. Tabii, dışarıda bütün prosesleri kapalı alanda yapıyor ve size geri veriyor. Bu şekilde temiz odamızı bitirdik. Şu anda kısım kısım çalışmaya başladı. Özellikle fabrikasyon tarafı artık aktif halde. MOCVD tarafını 1 aya kadar bitirmeye çalışıyoruz. Artık orada da çalışmalar başlayacak.

Toplamda 675 metrekairelik bir alanımız var; class 10.000, 1.000 ve 100 olmak üzere. 350 metrekairelik class 100 temiz odamız var, class 10.000 250 metrekaire ve class 100 ise 75 metrekaire olmak üzere, toplam 675 metrekairelik bir temiz odamız var.

Tabii, bu tesis açılmadan, paralelinde bazı projeler başlatmıştık; çünkü tesis hazır olduğunda, oradaki know-how'ları transfer edip, direkt tesis işleme başlasın diye. Bu bağlamda, diyot modül düşündüğümüz zaman, içinde çiplerin olduğu ve bu çipleri optiklerle toplayıp bir fibere kopya ettiğimiz bir modül. İlk etapta çipleri dışarıdan alarak bir modül tasarladık kendi ekibimizle ve bitirdik. Şu anda ömür testlerindeler.

Türkiye'nin ilk 60 watt'lık continuous wave (CW) çalışan diyotunu yaptık. Burada tabii, çipleri dışarıdan aldık ve ürettik. Şu anda ömür testinde. 100 taneye kadar ürettik şu anda. Bundan sonra, üretimden sonra 120 watt'ın tasarımını bitirdik. Tabii, bazı konularda çok ayrıntılı data olduğu için paylaşılamayacağım, ama Türkiye'de ilkleri yaptık. Mesela, sadece bu modüle yüzde 98 optik verimlilik elde ettik. Yani bu, yeni merkez olmamıza rağmen dünyayla eşdeğer bir şey. 120 watt'lığı çıkaracağız şu anda. Makinelerimizi optimize ediyoruz.

Beni dinlediğiniz için teşekkür ederim.

Prof. Dr. Günhan Dündar - Sorusu olan varsa alabilirim.

Soru-cevap için yaklaşık yarım saat süremiz var. İsterseniz tartışmaya başlayabiliriz.

Buyurun.

Memduh Yıldız- Nizam beye bir sorum olacaktı. Biraz önce, ekip listesinde teknisyen sayısı mühendis sayısından daha azdı. Genelde tam tersi olur. Bunun sebebini sormak istiyorum.

Nizam Muzafferoğlu- Teknoloji olarak yüksek teknoloji ürettiğiniz zaman, mecburen biraz dikkat etmeniz gerekiyor. Tabii, oradaki teknisyenlerin çoğu mühendis düzeyine geldi şu anda, çünkü eğitiyoruz onları. Alımlar devam ediyor. Tabii, bu biraz da kabiliyetle alakalı. Bazı testlerden geçiriyoruz. El becerileri de gerekiyor bu işte. Onun için, onları geçenleri alıyoruz. Mühendis ağırlıklı ama teknisyenlerimiz de olacak.

Memduh Yıldız- Alımlarda okul kriteriniz var mı?

Nizam Muzafferoğlu- Türkiye'de herkes büyük okulları tercih ediyor; ama aslında yeteneğe bakıyoruz, bilgi düzeyine bakıyoruz. Yeterli olmayan arkadaşları zaten yurt dışındaki eğitimlerle destekliyoruz.

Salondan- Benzer kurumlar için bir örnek olmasının çok yararlı olacağını düşünerek, mikroelektronik anlamında bir-iki katkı yapmak istiyorum. Türkiye'de şimdiye kadar 4 defa mikroelektronik üretim tesisi kurulma teşebbüsünde bulunuldu. Bunlardan 2 tanesi 2 yabancı şirketin, Philips'in ve Siemens'in o tarihlerde mikroelektronik üretiminin nitelikli hassas ürün ihtiyaç gösterdiği dönemde, bu amaçla Türkiye'de transistör fabrikası kurmak istediler. Bunlar bürokratik bağınazlıklar sebebiyle gerçekleşemedi. Örneğin, yüksek frekans güç transistörü üretecek olan fabrikanın altın tel ithal etmesi, Türkiye'nin altın ithalatı yasağına takılarak, bürokrasi tarafından reddedildi.

Türkiye'de şimdiye kadar teşebbüs edilen ama gerçekleşmeyen 4 teşebbüsün herhangi biri gerçekleşmiş olsaydı, Türkiye'de mikroelektronik olayı çözümlenmiş olurdu ve devam ederdi.

İkinci olarak, mikroelektronik stratejik yönüne bir vurgu yapmak istiyorum. Arkadaşlar belirmiş olmasına rağmen, altını tekrar çizmek istiyorum. Türkiye'de mikroelektronik stratejik alan ve ekonomik alan olarak düşünmekte yarar olduğunu zannediyorum. Stratejik alan dediğim şu: Günümüzde, yüksek nitelikli mikroelektronik ürünleri para verseniz de alamıyorsunuz. Birincisi bu. İkinci boyutu da şu: Kendi güvenliğiniz için, dışarıdan almamanız gerekir yahut dışarıda yaptırmamanız gerekir. Buna birçok şey giriyor. Alamadığınız şeyler çok yüksek güçlü, çok yüksek frekanslı transistörler ve tümdevrelerdir. Gebze'deki teknoloji hattının kurulmasının arkasındaki dürtü de budur. Almamanız, dışarıda yaptırmamanız gereken şeyler arasında da birçok kritik sistemlerde kullanılan mikro işlem çiplerinin dışarıdan alınmasına çok dikkat edilmesi gerekir diye düşünüyorum. Teşekkür ederim.

Nizam Muzafferoğlu- Bu konuda hocama bir şey eklemek istiyorum. Türkiye'de gerçekten yarı iletken sektörü çok dar. ERMAKSAN'ın da bu kendi müşterisi aslında. Ben öyle diyorum. Bizim müşterimiz yine ERMAKSAN Opto Elektronik olarak; ama source'larını alıyorlar, dünyaya bağımlılar. Bu bağlamda biz merkezi kurduk. Çünkü dediğiniz gibi, yüksek güçlü çipleri alamıyorduk, çok maliyetliler. Baktığımız zaman, bir makine üretiyoruz 25 ton, yüzde 60'ını karşılıyor maliyetin, yüzde 40'ı da 100 kiloluk bir source, yani bir lazer source'u. Biz böyle yola çıktık ve 'Bunu dışarıdan alarak yapabilir miyiz?' diye hesapladığımız zaman inanılmaz fiyatlar çıktı, hatta 3 katı çıktı. Ondan sonra artık yarı iletkenlere de girmemiz gerektiğini gördük. Çünkü fiberi halletmiştik. Öz sermayeyle kuruldu, yani yüzde yüz öz sermaye. 30 milyon Euro'yu geçti şu anda. Bu bağlamda, aslında bir nevi herkesin kendi piyasasında yapması gerekiyor.

Salondan- TÜBİTAK'ın Ar-Ge'deki etkisi nedir? Dışarıda çalışmalar veya yeni üretimler yapıldığı zaman gönderiliyor mu, araştırmaları nasıl yapıyorsunuz?

M. Güntekin Kabuli- Ben sadece kendi gözlüğümünden gördüğüm açıyı aktarabilirim. Duran hocamın aslında vurguladığı ve benim atladığım aşamalardan birisi de, zaten YİTAL'in kurulma amacının nedeni, bu faaliyete geçen fabrikalardan birinin destek araştırma laboratuvarı olmasıydı. Yoksa bağımsız bir kurum şeklinde kurulmadı. Doğru mu hocam? Dolayısıyla oradaki Ar-Ge'miz de aslında üretim bazlı problemlerin çözümüne yönelik olacaktı, ama öyle gelişmedi sistem. Dolayısıyla bizim şu anki Ar-Ge anlayışımız, enstitünün içindeki problemlere yönelik lokal çözümlere odaklı. Dolayısıyla bunun için gerekli eğitim ve takviyeyi alma ihtiyacımız oluyor kesinlikle.

Salondan- Dışarıdan alıyorsunuz. Tabii, bu üretimler farklı farklı ülkelerde olduğu için...

M. Güntekin Kabuli- Şu ana kadar geliştirdiğimiz süreçlerin hiçbirini anahtar çevir olarak almadık. Bunların hepsi, bu bahsettiğim iki şey, altyapı sarf malzemesi desteği ve cihaz üreticileri. Cihazın gelip takılması demek, sizin süreç zincirinizin mükemmel oturması demek değil; bu, sadece park yerine konulmuş bir taşıttan ibaret.

Şunu söyleyebilirim ki; Ar-Ge'miz bizim şu ana kadar altyapı maliyeti dışında, o cihazların aslında kullanılmış, ikinci el olarak alınmasından başladı. Hocam burada beni destekleyecek. Gururla söylüyorum: İçinde Windows olmadığı için hâlâ ayakta tutuyoruz. Tümüyle kendi desteğimizle ayakta kalmıştır. Bu cihazın yeni modelini almak için gelen mühendis bu cihazı tanımıyor. Dolayısıyla bu kadar bir zaman farkından bahsediyoruz. Ama ona rağmen o, bizim şu anki tek 150 kilovoltta katkı yapan, çalışan cihazımız.

Salondan- Böyle bir imkândan dolayı herkese öncelikle teşekkür ediyorum.

Mikroelektronığe yeni başlayan bir arkadaş için tavsiyeniz neler olabilir? Bir de açık kaynak kodlu programlar var mı? Teşekkür ediyorum.

M. Güntekin Kabuli- Şöyle söyleyeyim: Gönül istedikten sonra her şeye başlamak mümkün. Benim uzmanlık alanım kontrol sistemleri olmasına rağmen, Duran hocadan efektif olarak tek bir ders almamış olmama rağmen, şu anda bana bu soruyu yöneltiyorsunuz. Aslında her şey açık bilgi, ama kritik nokta gönül ve odaklanmak. Staj imkânları olduğunu tahmin ediyorum. Onları takip edebilirsiniz.

Çetin Karakaya- Hocam çok eskiden bahsediyor. Altın telle ilgili problemi biz 2011 yılında yaşadık. Biz, kılıflama ve LED üretimi yapmaya uğraşıyoruz. Altın teli getirirken, gümrükte bize, "Altın borsasına kote olmanız gerek" dediler. Birkaç hafta altın borsasına nasıl kote oluruz diye uğraştık, olmadı, yani öyle bir şey olmuyor. Ondan sonra bir şekilde çözdük meseleyi. 2013 yıllarında hâlâ bu durum sürüyor. Devletin mutlaka bir şekilde köstek olmaması lazım ve destek olması lazım. ERMAKSAN'ınki bence acı bir deneyimden başka bir şey değil. Kendi imkânlarıyla böyle bir şey yapıyorlar. Yani bu iş sürdürülebilir değil. İnşaat yapıp, o bina, o bina, o bina, sonuçta ne olacak? İnşaat satılmıyor Türkiye'den dışarıya, kimse almıyor inşaatı. Türkiye'de başka yere yatırım yapılması lazım ve başka bir ortam oluşması lazım. Başka türlü, böyle küçük bir şeyde kalır bu iş, daha fazla ilerleyemez.

Fikrimi belirtmek istedim, herhangi bir sorum yok.

Çok teşekkür ediyorum, özellikle ERMAKSAN'a. Çok kıymetli buluyorum yaptıkları şey.

Teşekkür ediyorum.

Salondan- Bizde çok fazla epoksi ve yapıştırıcılarla çalışıyoruz bu ara. Bir epoksimiz eksi 80 derecede tutulması gerekiyor, transfer sırasında da öyle gelmesi gerekiyor. Eksi 40'a indiğiniz anda yapısı bozuluyor. Şöyle söyleyelim: Amerika'dan bir epoksi satın aldık, Kimya Enstitüsüne gönderdiler gümrükte. Tabii, buz içerisinde geliyor bunlar. 1 ay sonra geri dönüş oldu. 1 ay sonra o raporla gittik gümrüğe, epoksi diye bir şey kalmamıştı, taşlaşmıştı artık; çünkü içinde ne buz kalmış ne bir şey. Sonra Almanya'dan aldık daha yakın diye, aynı sorunu orada da yaşadık. Bence biraz gümrüğümüzün de devletin de biraz buraya zaman ayırması gerekiyor. Çünkü ucuz da değil bunlar. Bilmiyorum, deneyimli de değiller, bilgili de değiller; gümrük mesela. Devletin de biraz buraları eğitmesi gerekiyor bu konularda.

Salondan- Bununla ilgili bir anı anlatayım. Yine TÜBİTAK'ta çalıştığım senelerde, 1990'lı yıllarda, diboran gazı katkılılamak için kullanılıyor; gazın ömrü 6 ay, gümrükte beklemesi 8 ay. Tabii, diborana proses yapamıyorsunuz. Prosesinizi başka bir kaynaktan sağlamak durumundasınız. Bir adım attığınız zaman, kendinizle beraber elinize ayağınıza yapışmış 5-10 kişiyi birden ileri sürüklemek zorundasınız. Birçok şeyde sorunumuz olduğu gibi, gümrükten bizim de çok sorunumuz oldu.

Şimdilerde prototipleri geliyor. Bunları hangi kategori altında göstereceğimiz belli değil. Yani ne siz derdinizi anlatabiliyorsunuz, bunların ne olduğunu karşı taraf anlayabiliyor, ne onlar doğru soruyu sorabiliyorlar. Bir şekilde geliyorlar tabii, ama tanımlı olarak gelmiyorlar; çünkü öyle bir tanım yok. Fiyatını soruyor mesela, prototipin fiyatı yok. 1 sente bile satamam onu, benim kendi testim için yapılmış özel bir tüm devredir. Fiyat vermezseniz, bu sefer gümrükten giremiyor. İster istemez bir fiyat atıyoruz kafadan, söylüyoruz. Tabii, bu gibi şeyler çok fazla. Muhatap bulup bunları anlatabileceğiniz bir kişiyi bile bulmanız mümkün değil.

Salondan- Aslında daha güzel bir misal vereyim. Bunu yaşamadım, ama duymuştum. 1970'li yıllarda bir şirket, Amerika'dan bir bilgisayar programı alıyor. Tabii, o zaman bilgisayar programları tahta kasalarda geliyor, teker teker mekanik bir cihazdan geçiriyorlar. Sizin aldığınız bilgisayar programı bu şekilde yüklenmiş oluyor o zaman. 1970'li yıllardan bahsediyorum. Para veriyorlar, yurt dışından geliyor kasalar, yüklüyorlar, program çalışmıyor. 'Bir daha yollayalım, çalışmadı bu' diyorlar, bir daha yolluyorlar, yine çalışmıyor. Ondan sonra anlıyorlar ki gümrükte kasaları açıyorlar, çıkartıyorlar, bakıyorlar nedir bunlar diye, ondan sonra atıyorlar.

Salondan- Gümrükçüyü değiştirmek lazım orada.

Salondan- Belki genetiği değiştirmek gerekiyor.

NANOTEKNOLOJİ

Oturum Yöneticisi: Dr. Volkan Özgüz (Sabancı Üniversitesi)

Dr. Volkan Özgüz (Oturum Yöneticisi)- Elektronik Sanayi Uygulamaları Sempozyumunun Cuma öğleden sonraki özel oturumuna hoş geldiniz.

Benim adım Volkan Özgüz, Sabancı Üniversitesindenim.

Bugün bu toplantının içinde özel bir şey yapmaya çalıştık. Elektroniğin belki de en uç noktası olan mikroelettronik, nanoteknoloji ve nanoelettronik konularını bir seri halinde toplamaya çalıştık. Sabah mikroelettronik konusunda bir oturumumuz vardı. Öğleden sonra, boyutu biraz daha küçülterek, nanoteknolojiler ve nanoelettronikçe doğru geçeceğiz.

Bu oturumun iki parçası var. Bir taraftan işin biraz daha bilimsel ve teknik tarafına doğru yönlenererek, bütün dünyada ve özellikle Türkiye’de yapılan bazı araştırmalardan örnekler vereceğiz; nanoteknolojinin elektronik mühendisliği, elektrik mühendisliği uygulamaları hakkında. Aradan sonra ise Türkiye’de bu konunun geleceğinin ne olacağı konusunu bir açık tartışma, konuşma şeklinde bir panelle değerlendirmeye çalışacağız. Bu konuda Türkiye’deki sayılı araştırmacıların neredeyse hemen hemen hepsi şu anda aramızda. Ben kendilerine şimdiden, peşinen teşekkür ederim; bizleri bilgilendirecekleri için.

Konuşma sürelerini olabildiğince kısa, 15 dakika civarında tutacağız, her konuşmacı için soru-cevaba bir 5 dakika zaman kalsın diye. Her konuşmadan sonra, konferans gibi, soru-cevap olacak. Lütfen, sorularınız olursa, her konuşmanın sonuna saklayın.

Daha fazla zaman kaybetmeden, ilk konuşmacıyı davet edeyim.

İlk konuşmacımız, İstanbul Teknik Üniversitesinden Prof. Dr. Levent Trabzon. Kendisi bize, “İki veya Üç Boyutlu Nano Yapıların Üretilmesi ve Uygulamaları” ile ilgili bir konuşma yapacak.

Buyurun.

“İki ve Üç Boyutlu Nano- Yapıların FBB ile Üretilmesi ve Uygulamaları”

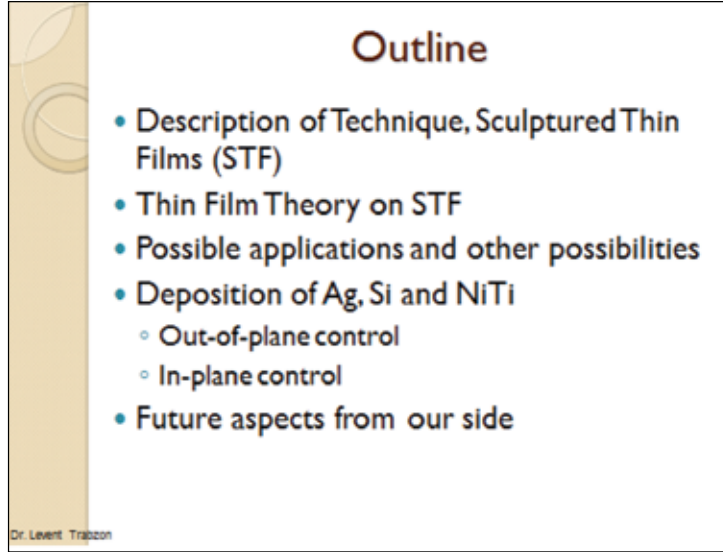
Prof. Dr. Levent Trabzon (İTÜ)- Teşekkür ederim Volkan bey.

Öncelikle, böyle bir nezih konferansı düzenledikleri için, organizasyon komitesine teşekkür ediyorum.

Bugün, hocamızın söylemiş olduğu gibi, biraz daha boyutu küçülterek, acaba nano ölçekte neler yapıldı ülkemizde, buna ilişkin canlı bazı örnekleri göreceksiniz. Ben de kendi çalışmalarımnda, aslında her bir örnek direkt olarak elektronik mühendisliği ile belki ilişkili olmayabilir, ilk başta öyle gözükabilir; fakat yapılan tekniğin veyahut da üretilen malzemelerin bir şekilde ciddi anlamda elektronik sanayisinde device veya sensör şeklinde kullanılabilir olduğunu net bir şekilde göstermeye çalışacağım.

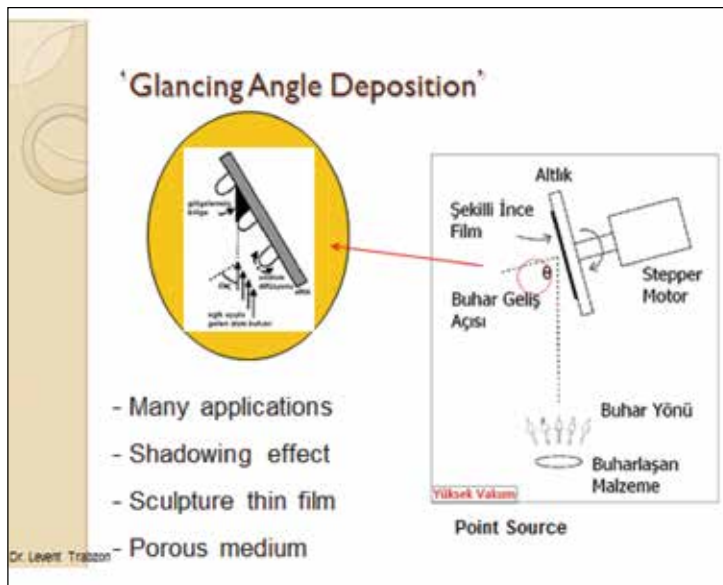
Hazırladığım slatyların birincisi Türkçe; fakat diğerleri İngilizce. Ama devamında Türkçe konuşacağım. Temelde iki ve üç boyutlu nano yapıların FBB, yani “ fiziksel buhar büyütme “, (İngilizcesi physical vapor deposition, PVD), bu yöntem kullanılarak, acaba herhangi bir şekilde optik litografi veyahut

da daha farklı litografi teknikler kullanmadan, nano ölçekte kolonlar yapabilir miyiz, nano ölçekte sütunlar yapabilir miyiz, hatta bunu iki boyutlu ya da üç boyutlu şekilde modifikasyonlar yapabilir miyiz sorusuna cevaben, sizlere kısa açıklamalarla bunu tanıtmak istiyorum.



Normalde, sunuşumun genel akışı bu şekilde olacak. Tabii, biraz teoriden bahsedeceğim. Konuşmamın her ne kadar birinci kısmı malzeme ve biraz büyütme teorisiyle ilişkili olsa bile, sonlarına doğru ve ikinci aşamasından sonra daha çok uygulama ve gerçekten bizim yapmış olduğumuz örneklerle dayalı olarak bazı bulgularımızı veya buluşlarımızı sizlere paylaşacağım ve sonrasında da future aspects'le, gelecekte bunlar hangi açıdan faydalı olabilir, bize ne gibi kullanım alanları ortaya çıkartabilir sorusuna belli oranda cevap vermeye çalışacağım.

Aslında PVD veyahut da FBB tekniği çok kullanılan bir teknik. Elektronik sanayisinde, mesela bir transistör üretiminde olmazsa olmaz cihazlardan bir tanesi. Normalde, klasik anlamda bu, kaynaktan buharlaşan atomların düz bir yüzeye kaplanmasıyla kullanılan bir yöntemdir. Fakat siz, kaplanan yüzeye eğik bir açı, optik bir açı verdiğiniz takdirde ve bunu kendi eksenini etrafında döndürürseniz eğer, tabii, koşul olarak da ergime sıcaklığı çok düşük olmayan malzemeler, aynı zamanda da yüzey sıcaklığının fazla olmaması gibi birtakım kısıtları da dikkate alarak, enteresan, herhangi bir optik litografi kullanmadan, poroz yapılı, nano ölçekli desenler yüzey üzerinde oluşturmaya başlıyorsunuz. Mesela, gölgeleme etkisi gibi birtakım mekanizmalarla, yüzeyde oluşan mekanizmalarla yaklaşık 2-3 nanometre büyütme sağladıktan sonra, bu gölgeleme etkisini daha da güçlendirerek, artırarak, istemiş olduğunuz filmleri veyahut da ince filmleri oluşturabiliyorsunuz.



Tabii, burada, temelde, boyut olarak bizim yapmış olduğumuz desenlerde ya da filmlerde herhangi bir şekilde yüzey düz, atomistik olarak düz, üzerinde herhangi bir desen yok. Üzerine desen olarak da benzer çalışmayı yapabilirsiniz. O zaman daha eksantrik, daha ilginç sensör uygulamalarına yönelik, hatta device uygulamalarına yönelik şeyler ortaya çıkabilir.

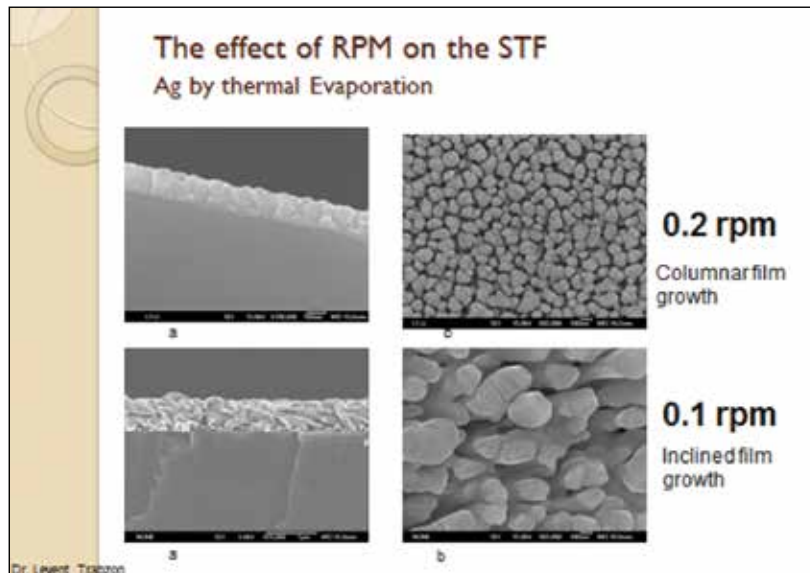
Şematik olarak sistem bu şekilde çalışıyor. Bu, sizin buharlaştırmak istemiş olduğunuz bir malzeme. Buharlaştıran malzeme, atomlar daha doğrusu, yüzeye belli açılarda, 90 dereceye yakın bir açıyla, eğik yüzey haline getirilmiş olan yüzeyin üzerine kontrollü bir şekilde kaplanıyor. Büyüme hızı genelde nanometre mertebelerinde, birkaç nanometre/saniye mertebelerinde. Tabii, burada çok değişken parametreler var, ama kabaca bir algılama olsun diye söylüyorum.

Sonuçta iki farklı tarz kullanabilirsiniz. Bir, noktasal kaynak; bir de yüzeysel kaynak. Noktasal kaynağın çok daha etkin olduğunu söyleyebilirim. Fakat yüzeysel kaynak kullanarak da bunu oluşturmak mümkün; bununla alakalı birtakım mühendislik düzenlemeleri yapmanız lazım.

Sonuç itibarıyla, şu görmüş olduğunuz şematik yapıları biz yapabiliyoruz. Yani bunu şu an etkin olarak yapabiliyoruz. Düz kolonlar, eğik kolonlar veya bu şekilde, damlacık şeklinde olanlar veya spiral, zikzak şeklinde olanlar ve dikkatinizi çektiyse, her bir farklı geometride siz poroziteyi ayarlayabiliyorsunuz; yani porozite mühendisliği yapıyorsunuz aslında. Bu, çok farklı uygulamalar açısından gerekli olabiliyor. Özellikle biyolojik uygulamalarda mesela şu ucun sivriltilmiş halini yaptığınız takdirde, ışığın bir şekilde verilmesi veyahut da elektronik uygulamalarda etkili olabilir. Tabii, uygulama açısından seçenekler biraz da ciddi olarak beyin fırtınasıyla ortaya çıkabilecek bir şey.

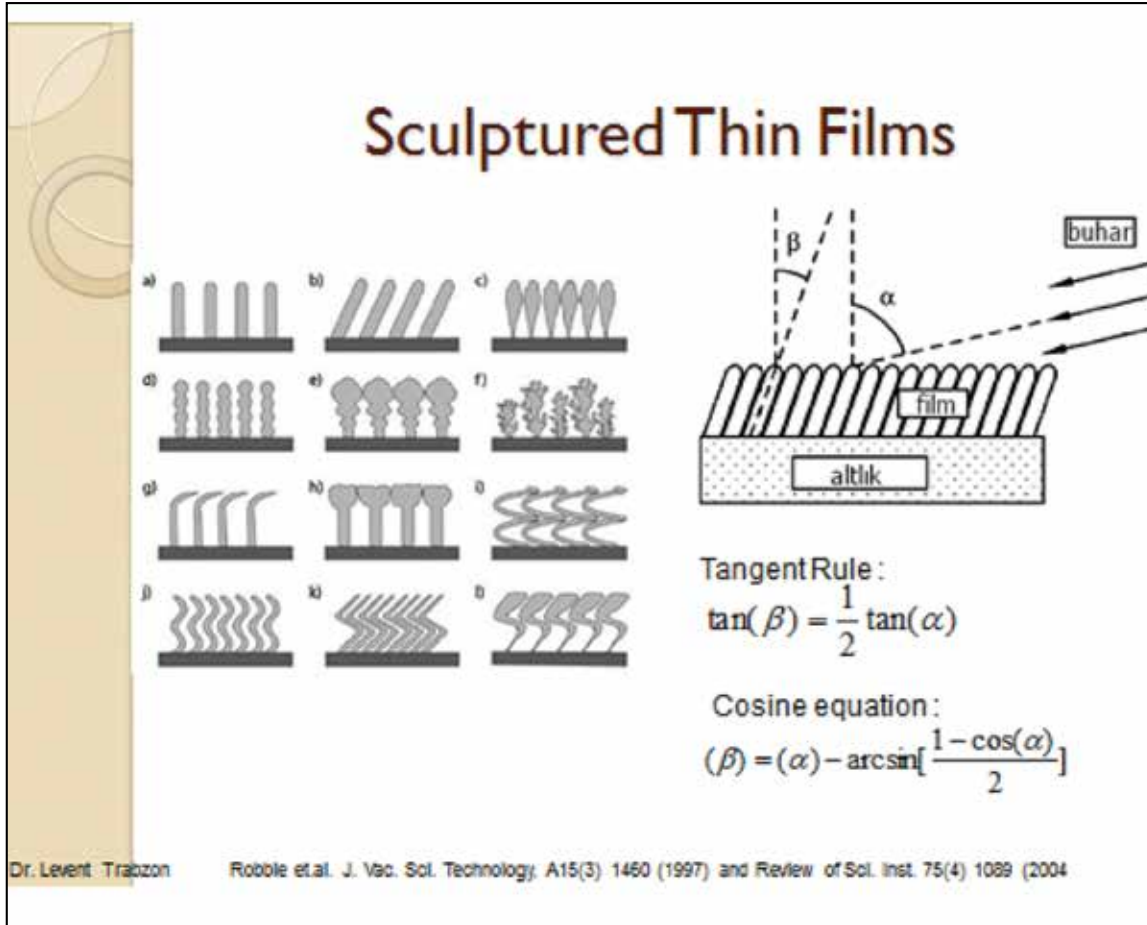
Burada bununla alakalı, teorik olarak da ışığın atomlarının gelme hızı ile filmlerin oluşum hızları arasındaki bağlantı var. Onlar nispeten kendi açısından oturmuş artık, yani belli bir olgunluğa ulaşmış bir durumdadır. Bunu çok kısa geçeceğim. Normalde, bu, ince film çalışan insanlar için çok önemli bir modeldir aslında. Bizim yapmış olduğumuz kolonlar, Zone T (Thortand) diye isimlendirilen (bir bilim insanının soyadıdır bu) bu bölgede oluşan; fakat herhangi bir bombalama etkisi oluşturmadan siz kolonları oluşturuyorsunuz. Bunun da nedeni, eğik bir yüzey oluşması ve ergime sıcaklığı yüksek bir malzeme, aynı zamanda yüzeydeki sıcaklığın da daha düşük ve kontrollü, yani yüzey mobilitesinin, hareketliliğinin kontrol edilebilir ölçekte olan yapılar oluşması. Bunlardan dolayı, siz, Zone T yapısını herhangi bir şekilde bombalama etkisi oluşturmadan yapabiliyorsunuz.

Normalde bununla alakalı çok farklı malzemeler çalışıldı, başka çalışan gruplar da var. Burada görüyorsunuz, atom buharının giriş açısına göre yoğunluk oranını değiştirebilme kabiliyetiniz var. Az önce bahsetmiş olduğum gibi; sadece giriş açısına bağlı olarak değil, aynı zamanda dönme hızı ve dönme karakteristiğine bağlı olarak da oluşturacağınız poroziteyi, boşluklu yapıyı, modifikasyonu yapabiliyorsunuz. Hatta çoklu, mesela filmin yüzeye yakın bölgesinde çok poroz, daha yukarıda az poroz, daha yukarıda orta derece poroz şeklinde, bunu katmanlı halde yapabilmek mümkün.



Sonuçta bizim yaptığımız çalışmalardan bir örnek vermek gerekirse; bu, gümüş. Gümüş, zor bir malzeme. Çünkü ergime sıcaklığı düşük. Zaten zor bir malzeme olduğunu buradan görüyorsunuz. Kolonlar çok net ve sütun şeklinde değil; yani bir büyüme eğrisi göstermiş. Bunun nedeni de yüzey mobilitesinin yüksek olması aslında. Fakat sistemin optimizasyonunu yaptıktan sonra, mesela şu iki örnekte, 0.2 rpm ile 0.1 rpm'deki büyültmelerde porozite farklılığını görebiliyorsunuz. 0.1 rpm'de belli noktalarda, burada çok net değil, ama daha dikkatli bakınca, bir eğrilik, bir açı olduğunu ve poroz yapının da buralarda, filmin arasında oluştuğunu görebiliyorsunuz. Yani bu ergime sıcaklığı düşük bir malzeme olduğu için, poroz yapısı çok net kendisini göstermiyor.

Farklı enerji değerlerinde bunu daha net, mesela bir spiral yapı oluştuğunu görüyorsunuz ve eğer enerji miktarını, yani buharlaştırma hızını düşürdüğünüz takdirde de bu sefer daha düzgün bir yapı elde etmeniz mümkün. Bunların her biri optimizasyon denilen mühendislik çalışmalarıyla belli bir altyapıyı veyahut da teoriyi, yaklaşımı oturttuğunuz takdirde size imkân veriyor aslında.



Bu da bizim geliştirdiğimiz bir model. Yani hangi durumlarda niye kolonsal yapı oluşuyor, hangi durumlarda nasıl zikzak yapı oluşuyor göstermek üzere. Altlık dönüşüne bağlı olarak; eğer siz altlık dönüşünü belli bir hızda tutarsanız bu spiral yapı oluşuyor; ama daha hızlı döndürürseniz, her taraftan aynı miktarda atom gelme olasılığını artırdığınız için, spiral yapı oluşturmak yerine, kolonsal bir büyüme gerçekleştirme imkânınız olabiliyor.

Yine benzer bir şey de zikzak şeklinde, derinliği daha fazla, yüksekliği fazla filmlerde. Burada görüyorsunuz, zikzaklar bir böyle gelişmiş, böyle gelmiş, böyle gelmiş. Bunu artırmanız mümkün. Tabii, bunun yüksekliğinin artırılması için bir üst sınır var, filmin oluşmuş olduğu ara yüzeydeki gerilim miktarına bağlı olarak. Yani kabaca, bu gibi durumlarda yüzde 80-85 oranında porozite oluşturmanız mümkün. Kalınlık olarak da birkaç mikrometre mertebesine çıkabilirsiniz; daha yukarısına çıktığınız takdirde, daha farklı sorunlarla, ayrışma gibi sorunlarla karşılaşmanız olası.



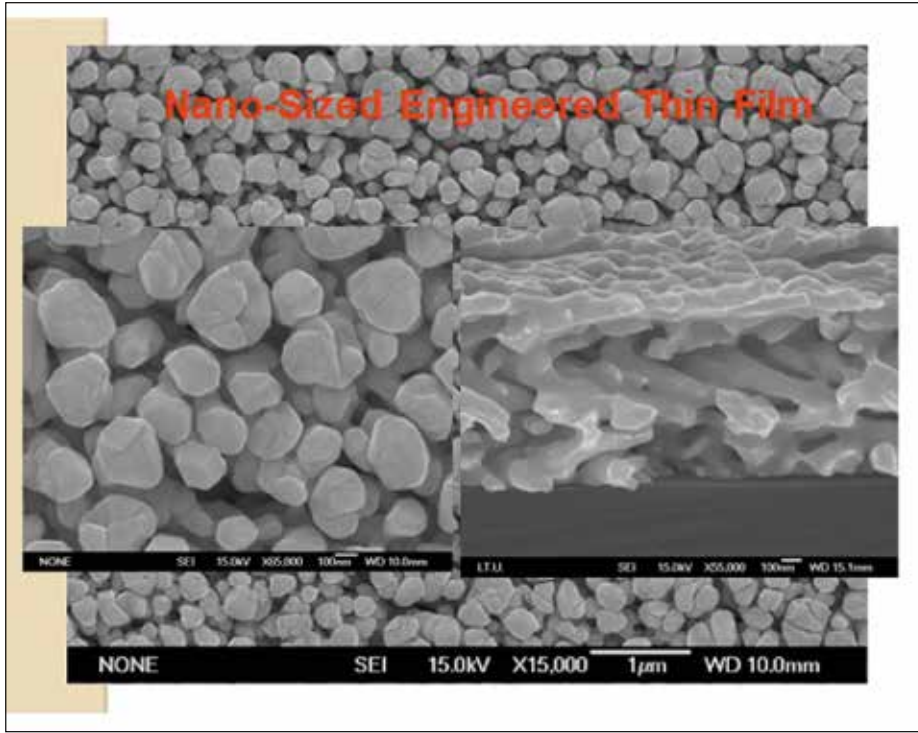
Bu da yine bizim çalışmalarımızdaki örneklerin daha detaylısı. Boyutlara baktığınız takdirde, 100 nanometrenin altında, 100 nanometrenin üstünde. Fakat mesela şuradaki yapı birkaç kolonun birleşmesinden oluşuyor ve zikzaklı yapıya baktığınız takdirde, çok tanımlanmış bir kolon olmadığını, bazı kolonların birleştiğini gözlemleyebiliyorsunuz çok net bir şekilde. Bu da gümüş yapısının yüksek yüzey mobilitesinden kaynaklanıyor aslında.

Bu yapıyı kullanarak, mesela antibakteriyel yapılar veyahut da birtakım bakteri veya bakteri algılamaya yönelik olarak sensör uygulaması şeklinde kullanabilirsiniz. Neden? Çünkü bunun yüzey alanı çok fazla olduğu için, hassasiyetini artırabilirsiniz kullanacağınız sensörün. Yüzey alanı son derece yükseltmiş bir yapı olarak karşımıza çıkmakta.

Burada dikkat edilecek nokta şu: Herhangi bir optik litografi kullanmıyoruz. Yani bir prosesle bunu yapıyorsunuz. Bu çok önemli. Optik litografi kullandığınız takdirde veyahut da farklı bir litografi, arada birçok adımlar vardır ve tabii, maliyet ve işin zorluğu artmaktadır. Burada ise herhangi bir düz yüzey (bu, çelik de olabilir, silisyum elementi vapor da olabilir) üzerine sadece doğru parametreler, doğru yerleştirmelerle bunu oluşturabiliyorsunuz. Bu yüzden çok kıymetli bir kolaylık olarak karşımıza çıkmakta.

Biz, bunun ötesinde, silisyum filmleri, yani silisyum elementini, malzemesini, aynen daha önceki yapmış olduğumuz gibi yapabilir miyiz, sorusuna yönelik bazı çalışmalar yaptık. Tabii, silisyumun ergime sıcaklığı çok daha yüksek; çok daha net ve düzgün kolonların oluşmasını bekliyorsunuz. Tabii, burada optik açının 80-85 derece olması gerekir. Ne kadar fazla optik olursa, porozite oluşturma durumu veya kolonların birbirinden ayrılma karakteristiği o derece etkin ve görsellik anlamında daha ön plana çıkmakta.

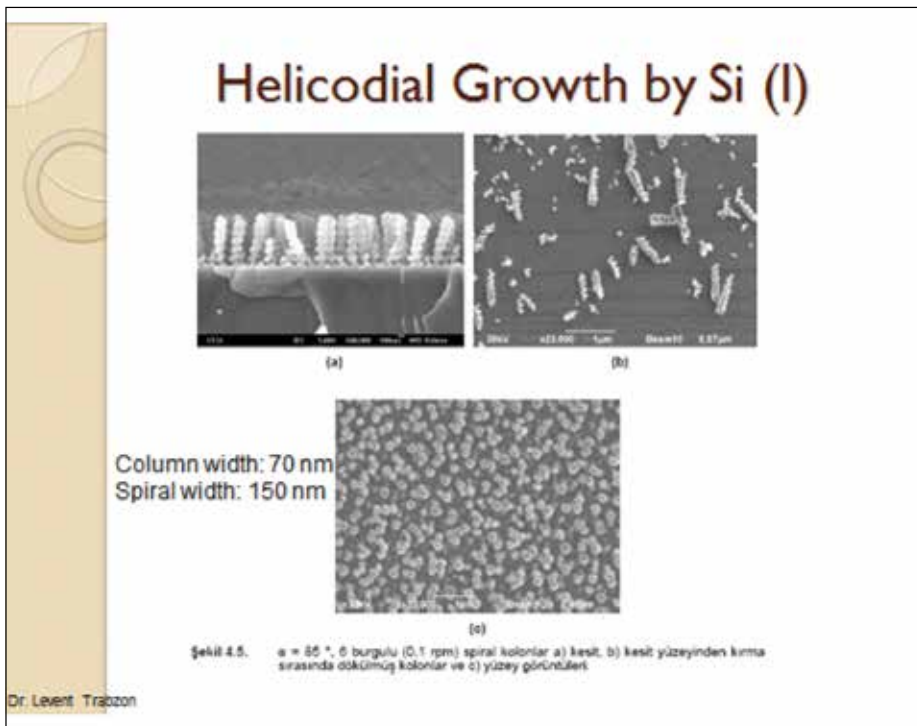
Mesela, burada dikkatli bakılırsa, bunlar aslında toz, yüzeyde bulunan tozlardan kaynaklanan gölgeleme etkisiyle oluşan, porozite olmuş kolonsal yapılar. Yani bunlar yüzeyde oluşan pusular aslında. Buraya, bu sunuma koymamızın temel nedeni bu. Yüzeyde eğer toz yapı varsa veya gölgeleme etkisi varsa, sizin kontrolunuzun dışında, burada oluşacak olan filmin de yapısını ciddi anlamda değiştirmektedir. Aslında bu şekil de bize gölgeleme etkisinin mekanizmatik olarak ne kadar etkin olduğunu göstermekte.



Daha detaylı bir çalışma yaptığınız takdirde, aynen bu burgulu makarna şeklindeki gibi, çok net bir şekilde spiral yapıları görebilirsiniz. Bu, 10’lu bir spiral yapıdır. Bunların kopmuş hali bu, görüyorsunuz ve üstten görünüş hali. Kolon kalınlığı yaklaşık 70 nanometre, spiral kalınlığı 120 nanometre mertebesinde. Bunları biz kendi laboratuvarımızda yaptık, halen de yapıyoruz, farklı malzemelerle de yapıyoruz. Temelde kullanmış olduğumuz teknik e-beam; fakat tabii, e-beam’in türevleri var. Elektron beam operation şeklinde bir sistem kullanıyoruz.

Çünkü noktasal kaynak imkânı sağlıyor size. Elektron beam ile buharlaştırabileceğiniz herhangi bir malzemede siz bunu yapabilirsiniz.

Zamanım az kaldığı için hızlı şekilde geçiyorum.



Mesela bu ilginç bir şey. Gördüğünüz gibi, çoklu yapıların spiral ve düz halini oluşturabiliyorsunuz. Bunları biz mesela biyolojik uygulamalarda kullandık, güneş pili uygulamasında şu an kullanıyoruz;

bir öğrencim, yüksek lisans tezi olarak güneş pilinde bunu kullanıyor ve çalışmaya devam ediyor. Mesela, şekil hafızalı film yaptık aslında. Bu da zor bir süreçti bizim için. Çünkü şekil hafızalı film yaptığınız zaman, bunun aktivasyonu gerekiyor. Yani öyle kolay bir şey değil. Vakum altında bunun termal işlemleri gerekiyor, bir anlamda tavlamanız gerekiyor. Bunu da başardık aslında. Bakın, 600 santigrat derece ısı işlem uyguladığınız takdirde, şekil hafızalı film oluşur. Burada bunu yapmamızın temel amacı, nano seviyede motion yapabilir miyiz, hareket oluşturabilir miyiz, bunu görmek. Bununla alakalı çalışmamız tamamlandı, malzeme açısından.

Bir de iki boyutlu nasıl yapabiliriz diye çalıştık. Normalde, bir şeyi döndürdüğünüz zaman sürekli döndürüyorsunuz. Ama döndürme işlemini yavaş-hızlı, yavaş-hızlı, yavaş-hızlı şeklinde yaparsanız eğer, çok enteresan şekiller çıkıyor. Mesela, sürekli döndürdüğünüz takdirde yuvarlak olan kolonun kesit alanı; bazı bölgelerde hızlı, bazı bölgelerde yavaş yaptığımız takdirde kare şeklini alıyor. Bu çok ilginç. Çünkü siz zorluyorsunuz aslında. Yani bunun dengesel olarak oluşumu yuvarlak; ama bir anlamda enerji vererek, enerji de vermiyorsunuz, sadece geometrik olarak modifikasyon ederek, sanki meta stabil bir yapıyı kesit alanı olarak oluşturabiliyorsunuz. Bu, aslında büyük bir defect'ten dolayı oluşmuş olan kare yapı. Bunların her biri, aslında daha dikkatli bakıldığında, kare yapısına sahip kolonlar aslında. Bunları biz üçgen yapabiliyoruz, elipsoid yapabiliyoruz, değişik türlü şeyler yaptık. Bir örnekte, mezenkimal kök hücrelerini bunların üzerine ektik. Sadece kare üzerinde, mezenkimal kök hücreler; doğal ortamında, herhangi bir zorlayıcı şart içerisinde değil, şaşıarak, sadece kare üzerinde kalsiyum fosfat çakar. Yani bir bulgudur bu. Bunları çalışmamızda bulabilirsiniz.

Yine bu tip yapıları mikro kanalların içerisine gömebilirsiniz, sensör geliştirme adına bazı enteresan şekiller yapmanız mümkün. Bahsettiğim gibi, güneş pili yapıyoruz arkadaşlar. Pedod ve N şeklinde toplanmış yapıyı, kolonları oluşturup, içerisinde pedodları gömüp, güneş pilini oluşturuyoruz. Bu konuda da şu an çalışmalar devam ediyor.

Genel olarak şunu söylemeye çalışıyorum: Herhangi bir optik litografi veyahut da o tip bir spinner'dır, rezif dökmedir, herhangi bir şey kullanmadan, çok rahatlıkla bir güneş pili yapabilme imkânınız doğabiliyor veya bir sensör yapabilme imkânınız doğabiliyor. Tek bir prosesle. Tabii, bunun kendi içerisinde zorlukları var; ama tek bir prosesle bunu yapabiliyorsunuz.

Son olarak, neler yapılabilir, biraz da buna değineyim.

Mesela, bir başka proje başvurmuz, batarya silisyumun nano anotları. Şu an bir güneş projesi çalışmamız var, haftaya sunacağız inşallah. Batarya nano anot yapacağız silisyumlardan. Bunun da çok enteresan sonuçlar doğuracağı beklentisi içerisindeyiz.



Bu da merkezimiz. Biraz reklamlara girmek istiyorum. Buraya 10 dakika mesafede, İTÜ Nano Merkezimiz hazır, sizi bekliyor arkadaşlar. Özellikle elektronik sanayi kuruluşlarını veya çalışanlarını memnuniyetle bekleriz.

Teşekkür ederim.

Dr. Volkan Özgüz - Teşekkürler.

Gördüğünüz gibi, birçok elektronik devreler, yapılar, bilgisayarlar, şu andaki görüntü üniteleri vesaire, aslında içini açıp bakarsanız, nanometrik boyutlarda, atomik boyutlarda filmlerden, yapılardan oluşuyor.

Hocam, en temel, en küçük bileşeninden başladı. Bundan sonraki konuşma ince film tarafına doğru devam edecek. Bilkent Üniversitesinden Doç. Dr. Necmi Bıyıklı, “Fonksiyonel Yarı İletken İnce Filmlerin Sentezi”ni anlatacak. Ondan sonra biraz daha düzeneklere doğru değişik konuşmalar var.

Buyurun

“Atomik Katman Biriktirme Tekniği ile Nano- Ölçekli Fonksiyonel Yarı İletken İnce Filmlerin Sentezi”

Doç. Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Üniversitesi)- Merhabalar.

Ben, Necmi Bıyıklı; Bilkent Üniversitesindenim.

Çok hızlı bir şekilde geçmek zorundayım, epey bir slayt var. Ben, son 5 yılda Bilkent Üniversitesinde atomik layer deposition üzerine çalışıyorum. Levent hocamız özel bir PVD tekniği üzerinden geçti. Ben de CVD’nin spesifik bir hali olan atomic layer deposition ile neler yaptığımızı özetlemek istiyorum.

İnce filmle başlayacağız, sonra nano yapılara geçeceğiz. İnce filmlerde daha çok nitrür yarı iletkenler ve seramikler üzerine yoğunlaştık. Nano yapılarda hem nitrür, hem oksit yarı iletkenler üzerine çalışmalarımız mevcut. Bunları da proof-of concept aygıt uygulamaları, ince film transistör, foto director, kataliz ve güneş pilleri halinde sunmaya çalışacağım.

Atomik layer deposition’un, ALD tekniğinin geleneksel CVD tekniğinden şöyle bir farklılığı var: CVD tekniğinde yüksek sıcaklıktaki bir alttaşın üzerine birden fazla bileşik yarı iletkenler için prekürsör moleküllerini aynı anda gönderiyorsunuz. Atomik layer deposition’da ise bunları ayırıyorsunuz. Yani bir yarı döngüde, diyelim ki alüminyum nitrür için alüminyum prekürsörünü gönderirken, diğer yarı döngüde sadece azot prekürsörünü gönderiyorsunuz. Böylece bu iki molekülün gaz fazında birbiriyle etkileşimini engelleyerek ve düşük sıcaklıklardaki alttaşlar üzerine göndererek, sadece kimyasal olarak yüzey reaksiyonlarıyla kendini sınırlayan bir şekilde film büyütme mümkün oluyor. En büyük avantajı, çok hassas kalınlık kontrolü, düşük sıcaklıklarda proses yapabilme ve hem alttaş üzerine homojen kaplama, hem de üç boyutlu yapıları çok konformel bir şekilde kaplama mümkün oluyor. Çok meşhur bir örneği, alümina kaplaması. Trimetil alüminyum yüzeye geliyor, yüzeydeki hidroksi gruplarla etkileşime giriyor; tamamıyla kimyasal olarak yüzeydeki hidrojeni alıyor bir metil grubu, metan haline geliyor, yüzeyden uzaklaşıyor. Bunu yeterince yaparsanız, bütün yüzeyi satür etmiş oluyorsunuz ve üst üste de trimetil alüminyumlar büyümemiş oluyor, dolayısıyla kendini sınırlıyor. Ardından diğer yarı döngüde oksijen prekürsü olan su buharını gönderiyorsunuz ve bu trimetil alüminyumun iki tane metil grubuyla etkileşime giriyor hidrojeni, oksijen de alüminyumla kimyasal olarak bağ yaparak, tek, ideal bir mono layer oluşturuyor. Tabii ki, gerçek hayatta böyle ideal mono layer elde edilmiyor, sub mono layer yapılar elde ediliyor.

Avantajları bahsettiğim gibi. Endüstride, mikro ve nanoelektronik endüstrisinde intel ve çip üreticileri bu tekniği 2000’li yıllardan itibaren kullanmaya başladılar. CMOS transistörlerde kapı yalıtkanı olarak şu anda ALD ile kaplanan ince filmler kullanılıyor.

Biz, çalışmalarımızda iki tür ALD metodu kullandık. Bir tanesi, plazma katkılı ALD. Burada kullandığımız büyüme reçeteleri de yaklaşık 200 militor civarında argon taşıyıcı gazı ve plazma gücü olarak 300 watt olarak seçtik.

Alüminyum nitrür ince film kaplama deneylerinde önce saturasyon eğrilerini çalıştık. Kendini sınırlayan reçeteyi geliştirdik. Bunun için burada yaklaşık 0.015 saniyelik bir trimetil alüminyum darbesi yetiyor. Azot prekürsü için ise yaklaşık 40 saniyelik bir gönderim gerekiyor. Ne demek bu? Aralarda 10'ar saniyelik boşaltma periyotları var. Bir döngünün süresi yaklaşık 1 dakika oluyor. Buradan da anlayacağınız üzere, yaklaşık 0.6 armstrongluk bir kaplama için 1 dakika beklemeniz gerekiyor. Oldukça yavaş bir yöntem. En büyük dezavantajlarından birisi bu. Dolayısıyla, hani böyle 50 nanometre, 100 nanometre üstü filmler için bu tekniğin çok uygun olmadığını buradan anlayabiliriz.

Filmlerin özelliklerine baktık. Polikristali fazla büyütebiliyoruz. Yani 100 derece, 200 derece aralıkta polikristal alüminyum nitrür filmler büyütmek mümkün.

Galyum nitrür çalışmalarına başladıktan sonra gördük ki sistemin plazma kaynağı kuartz bazlı bir plazma kaynağı ve bu kuartz bazlı plazma kaynağı ısındıkça 300 wattlık uygulama süreçleri içerisinde, oradan biz kuartz koparıyoruz; yani oksitli malzeme koparıp, filmin içerisine dahil ediyoruz. Oysa elde ettiğimiz ilk galyum nitrür sonuçları çok kötüydü; amorf bir galyum oksit nitrür şeklindeydi. Ardından biz bu plazma kaynağını değiştirmeye karar verdik, yani sistemi modifiye ettik; hallow katot plazma kaynağına geçtik, yani oyuk katot plazma kaynağına...

Bu, çelik bazlı bir kaynak ve ilk büyütmelede hemen oksijen konterinasyonunun ciddi şekilde düştüğünü gözlemledik ve polikristal karbon nitrür kalitesinde filmler elde edebildik. Alüminyum nitrür için de yine bu kaynağı kullanarak kaliteyi artırabildik. Kıyasladığımızda, çok daha keskin iktisadi pikler elde ettik. Yüzey karakterizasyonu oldukça iyi, nispeten düzgün bir yüzey elde ettiğimizi gösterdi.

İndium nitrür çalışmalarında yine trimetil indium ile polikristal indium nitrür filmler elde edebildiğimizi gördük. Plazmanın değiştirilmesi halinde yüzey morfolojisinin; sadece yüzey morfolojisinin değil, aynı anda kristal kalitesinin de değiştiğini gördük. İndium nitrür için, sadece nitrojen plazmanın bizi oksijen konterinasyonundan kurtardığını; ancak, nitrojen hidrojenin ciddi oksijen konterinasyonuna sebep verdiğini anlamış olduk. Yine polikristal yapıda indium nitrür elde ettik.

Alaşımlama yaptık. ALD tekniği aslında çok hassas film kalınlık kontrolü verdiği için, alaşımlama için de bir avantaj olarak görülebilir. Alüminyum ve galyum nitrür filmler büyüttük, değişik alüminyum ve galyum konsantrasyonlarında ve güzel bir şekilde alüminyum nitrürden galyum nitrüre alaşımlamayı değiştirebildiğimizi, kontrol edebildiğimizi göstermiş olduk.

Bu şekilde modele de uygun bir şekilde konsantrasyonu değiştirebildik, katmanlı reçeteyi değiştirerek.

Kırım indisleri, yine literatürdeki polikristal filmlerle uyumlu bir şekilde.

Aynı çalışmayı indium ve alüminyum nitrür için de yürüttük.

Buradaki amacımız, bu metodun alaşımlama için de kullanılabilirliğini göstermek. Amacımız kesinlikle E-mos 7, epitaksiyal, galyum nitrür, indium galyum nitrürle böyle rekabet etmek falan değil; sadece malzemeyi ne kadar geliştirebiliyoruz, onu göstermek istiyoruz.

Ardından, biraz haşır neşir olduktan sonra bu teknolojiyle, bunları değişik araştırma gruplarıyla işbirliği içinde farklı nano yapılar üzerine kaplayabilir miyiz diye çalışma yürüttük, yani ALD'nin konformal kaplama yapabilme özelliğini kullanmak üzere. Nano fiberlerle başladık, elektro speelingde üretilen nano fiber template'ler üzerine farklı malzemeleri kaplayarak. Diğer de self assembly yöntemiyle üretilen peptik nano fiber üzerine kaplayarak, fonksiyonel, nano yapıları yarı iletkenler geliştirmeye çalıştık. Bunun için, oksitler için termal yerliyi, nitrürler için plazma yerliyi kullandık.

Bunlar, peptitlerin üzerine yaptığımız çinko oksit ve titanyum oksit kaplamaları.

Gördüğünüz gibi, çok konformel. Yaklaşık 10 nanometre çapında peptit nanofiberin etrafını oldukça

düzgün, gayet uniform kaplamış nano yapıları elde edebildik.

Bunlar naylon nanofiberlerin üzerine yapılan kapmalar. Düşük sıcaklıkta kaplayabildiğimiz için naylonu herhangi bir deformasyona uğratmamış oluyoruz. Esnek yapılar halinde üretebiliyoruz.

Multi layer yapılar da yapabiliyoruz; çinko oksit, titanyum oksit multi layer yapılar.

Yine büyütme reçetesini ayarlayarak, pal-senk-time'ları ayarlayarak, ince filmde nano parçacık yapılarına da geçebiliyorsunuz. Böylece nano yapıları çinko oksit kaplanmış nano fiberler ürettik. Bunların fotokataliz etkilerine baktık.

ALD ile kaplanmış çinko oksit kullanarak, ondan sonra hidrotermal yöntemle nano iğne yapıları elde ettik. Bunların da yine fotokataliz özelliklerine baktık.

Suda çözülebilir nano fiberler kullanarak nano fiberlerin üzerine kaplama yaptık, ondan sonra suyun içerisine koyduk, içerideki polimer kor çözüldü ve içi boş nano fiberler elde edebildik. Bunun da fotokataliz özelliklerine bakmıştık.

Hafmium oksit gibi seramik yapıların kaplanması da mümkün. Hemen hepsi yaklaşık 150-200 derece aralığında kaplanıyor.

Alüminyum nitrür için benzer bir çalışma yaptık. Yine polikristal, yani ince filmdeki kaliteyi aynen nano yapılar üzerinde de elde edebiliyorsunuz. Alüminyum nitrür, bor nitrür gibi... Biraz daha farklı bir malzeme bor nitrür ve yüzeyinin morfolojisi de çok daha farklı; böyle dikenimsi yapıya sahip bir morfoloji gösteriyor bor nitrür.

En son galyum nitrür için de flexible, yani bükülebilen galyum nitrür kaplı nano fiber template'lerin üretimini göstermiştik.

Aygıt uygulamalarında da bu ince filmlerin ince film transistör uygulamasına bakmıştık. Galyum nitrürü ALD ile kaplayıp, hatta alimüna da öyle, ince film transistor karakteristiklerine baktık. 103'ün biraz üzerinde bir on/off ratio yakaladık. Threshold voltajı biraz yüksek. Ama iyi sayılabilecek transistör karakteristiği elde edebildik.

En büyük özelliği, bütün bu prosesi 200 derecenin altında yapmış olmamız, bir transistör için. Bu da flexible elektroliz için uygun bir proses olabileceğini gösteriyor. Oksit yarı iletkenler geleneksel olarak kullanılır flexible elektrolizde. Oksitlere alternatif olabilecek, daha dayanıklı, daha stabil bir malzeme olması açısından düşünülebilir.

Bunun fotodedektör özelliklerine baktık. UV'de soğuma eğrilerini elde ettik. Daha önce gösterdiğim gibi, fotokataliz özelliklerini epey çalıştık oksit malzemelerde.

Bir de son olarak boya uyarımlı güneş pillerinde, yine titanyum oksit temelli, peptitlerin üzerine kapladığımız nano yapıları güneş pillerinin performansına baktık. Optimal bir yüzeyde cycle'lık ve titanyum oksit; yani yaklaşık 7.5 nanometrelik bir titanyum oksit kaplamanın optimal performans verdiğini gördük.

Kısaca, ALD tekniği ile ince film ve nano yapıları yarı iletkenler sentezledik. Termal ve plazma katkılı ALD ile ince filmler, içi boş ve içi dolu nano fiberler, çok katmanlı, multi layer hetero yapılar ve biraz önce saydığım aygıt uygulamalarına bakmış olduk.

Bunlar da düşündüklerimiz: Çevresel algılama, enerji uygulamaları, bu filmlerin tavlama altında gösterdikleri değişikliklere çalışmayı hedefliyoruz.

Ben, grubumdaki öğrencilerime ve Yrd. Doç. Tamer Uyar, Yrd. Doç. Mustafa Özgür Güler ve Yrd. Doç. Ali Kemal Okyay hocalarımın gruplarına teşekkür ediyorum. Sizlere de dinlediğiniz için teşekkür ediyorum.

Salondan- Acaba mikro kanal üretebiliyor musunuz diye merak etmiştim. Çünkü içinden sıvı geçen bir düzenek kurulup, hassas algılayıcı teknolojisinde kullanılabilir de içi boş bir kullanım iğne

üretmemiz mümkün olabilir mi bu teknolojiyle?

Doç. Dr. Necmi Bıyıklı- Şöyle: ALD template asisted graud yapıyoruz. Dolayısıyla, template'iniz varsa, mikro kanal üzerini rahatlıkla ALD ile kaplayabilirsiniz. Ama şöyle: Yani kendiliğinden mikro iğne oluşturmamız. Template şart.

Salondan- Anlıyorum. Yani içerideki template'i daha sonra boşaltmamız gerekiyor.

Doç. Dr. Necmi Bıyıklı - Evet, aynen öyle.

Salondan- Bir sorum daha olacak.

Bu teknolojiyi hızlandırmak için ne gibi araştırmalar yapıyor mesela?

Doç. Dr. Necmi Bıyıklı- Tabii, endüstri çok çalışıyor bu konuyu. Special ALD dediğimiz bir teknoloji var. Yani biz burada zamansal olarak ayırıyoruz bu prekürsör pals'lerini. Reaktörler yapıyorlar, bu reaktörlerin etrafına nuzzle'lar koyuyorlar. Dolayısıyla, örneği bu nuzzle'ların önünden geçirerek birbirinden ayırmış oluyorsunuz. Bu şekilde dakikada onlarca nanometre hıza çıkabiliyorlar. Endüstrinin kullandığı metot o. Bizde yok ama.

Dr. Volkan Özgüz- Çok teşekkürler.

Bir sonraki konuşmada boyutu biraz filmlerden nano tellere doğru çıkartacağız. “Metal Nanoteller ve Uygulamaları” konulu sunumu için Orta Doğu Teknik Üniversitesinden Emrah Ünalın'a sözünü bırakıyorum.

Buyurun.

“Metal Nanoteller ve Uygulamaları”

Yrd. Doç. Dr. Emrah Ünalın (ODTÜ)- Herkese merhaba.

Öncelikle Elektrik Mühendisleri Odasına ve Volkan hocama teşekkür ediyorum, bana bu şansı verdiği için.

Ben, metal nanoteller, özellikle gümüş nanoteller ve bunların uygulamalarından bahsedeceğim.

Önceki iki konuşmacının aksine, ben vakum kullanmayacağım.

Burada bir tane var. Videomuzda, güç kaynağına bağlı bir tane yeşil ledimiz var aşağıda, şurada. Kâğıdın üzerinde gümüş nanoteller var. Ben kâğıdı istediğim gibi eğip bükebiliyorum ve hiçbir şey de olmuyor. Gördüğünüz gibi, iletkenlik hâlâ devam ediyor.

Benim amacım, nano malzemeleri, özellikle de bir boyutlu malzemeleri tercihen çözelti esaslı yöntemlerle üretip, bol miktarda üretip, bunların çok farklı cihazlarda kullanımını göstermek.

Şimdiye kadar yaptığımız, ürettiğimiz ve emin olarak ürettiğimiz nano materyaller arasında bunlar var. Metalik olabilir; çinko, gümüş, bakıra yeni başladık. Yarı iletken olabilir; silikon, germanyum ve çinko oksit gibi. Bir de karbon nanotüpler var, onları da üretiyoruz.

Nanoteller, saç telinin yaklaşık binde biri çapında, onlarca mikron uzunluğunda olabilecek küçük çubuklar. Bunlar çok çeşitli kimyalarda olabiliyor tabii. Az önce konuştuğumuz gibi, metal, oksit, yarı iletken, bileşik yarı iletken veya tekli yarı iletken, nitrürler, cam kojanentler... Listeyi uzatmak mümkün. İçleri doluyorsa nanotel diyoruz; içleri boşsa da, en bilinen örneği karbon nanotüpler olarak adlandırılabilirler.

‘Ne özellikleri var?’ diye soracak olursanız; tabii ki yüksek sıcaklıklarda da üretilebilirler; fakat benim en azından grubumla beraber yapmaya çalıştığım, bunları düşük sıcaklıklarda, basit başlangıç kimyasallarıyla üretmek. Çünkü bir şeyi kullanmak istiyorsanız, hakikaten bunun ucuz bir şekilde üretilmesi gerekiyor.

Ürettikten sonra, bizim amacımız, genellikle farklı altlıklara, kumaş, cam, tekstil, aklınıza ne gelirse,

farklı altlıklara bunları kaplayıp, basit yöntemlerle kaplayıp, bir yüzey oluşturmak, bir fonksiyonel yüzey veya fonksiyonelliği artırılmış bir malzeme oluşturmak.

Nano malzemeleri kullandığınız zaman, bir kere, kesinlikle çok daha az malzeme kullanıyorsunuz. Artı, esnek cihazlar yapabiliyorsunuz. Ki normal iki boyutlu veya normal ince filmde esneklik konusunda bu kadar emin olamayabilirsiniz.

Bir boyutlu taşınım çok ilerliyor. Niye? Çünkü ben tek kristalden nanotel üretiyorum. Dolayısıyla, içerisinde herhangi bir kristal hatası, kusur bulunmuyor. Dolayısıyla, elektron iletimi sırasında herhangi bir karşı çıkacak kuvvet yok.

Normal bir cihazda iki boyutlu bir ara yüzey yaparsanız, güneş pillerinde gördüğünüz gibi, nanotelleri eğer dik hizalayabilirseniz bunu üç boyutlu bir hale getirebilirsiniz. Artıları eksileri tartışılır.

Epitaksi kelimesini önceki konuşmalarda da duyduk. Epitaksiyi aslında ben de ortadan kaldırdım, yani bu nanotellerle ortadan kaldırılıyorsunuz; daha basit, daha kolay; malzemenin vakum ve altlık, alttaşı iletimi neredeyse ortadan kalkıyor. Ve en önemlisi, çok ucuza bunları üretebiliyorsunuz.

İki yöntem var nano malzeme üretiminde. Birisi, yukarıdan başlayıp, hakikaten bir CNC tezgâhındaki gibi, oya oya, yonta yonta küçüğe gidiş. Diğeri de küçükten başlayıp, atomlardan başlayıp, lego gibi, üst üste koyarak, büyük malzemeler yapmak.

Benim amaçlarımdan bir tanesi, TCE dediğimiz iletken ve şeffaf ince filmleri yapmak. Aslında bizim başlangıç amacımız buydu. Bunları çok farklı yerlerde kullanıyoruz. Bunlardan en önemlisi veya en büyük boyutlarda... Ne bileyim, here sene bir elektronik dükkânına gidiyorsunuz, aldığınız LCD'nin boyutu her sene büyüyor. TCE dediğimiz, şeffaf ve iletken kaplamaları kullanmak zorundalar. Güneş pillerinin bazı türleri bunları kullanmak durumunda. OLED teknolojisi yeni yeni hayatımıza girmeye başladı, onlar kullanmak durumunda. Dokunmatik ekranlar, elektromanyetik kalkanlandırma, ince film transistörler; bunların hepsi bu iletken ve şeffaf ince filmleri kullanmak durumunda. En bilinen örneği indium kalay oksit ve türevleri. Profen ince filmler, karbon nanotüp ince filmler, metal nanotel ince filmler, polimerik filmler ve metal gritler. Bunlar, ticari olmasa da, en azından araştırma anlamında incelenen şeyler.

Ben, küçük çubuklar yapıyorum. Bu çubukları, aynen kibrit çöplerini masanın üzerine atar gibi dağıtıyorum ve bir şekilde ışık geçirgen elektron iletken bir yapı oluşturuyorum.

Az önce konuştuğumuz gibi, alternatif malzemeler var, hepsinin artısı eksisi var. Dolayısıyla, gümüş en iyisi değil. Çünkü metal, küçük, oksitlenme problemi var. Onları bir kenara bırakacak olursak, bugün sizlere, neler yapmaya çalıştığımızdan bahsetmeye çalışacağım.

Öncelikle üretim. Holiol diye bir yöntem kullanıyoruz; gümüş nitratta, 170 derece sıcaklıkta biz bunları üretebiliyoruz.

Nasıl üretiyoruz? Öncelikle, normal bir üretim prosesinde olduğu gibi -herhangi bir malzeme için konuşuyorum- önce bir çekirdeklenme, sonra çekirdeklenme üzerine büyüme. Büyümeyi biz yön olarak konuşabiliyoruz, bunu da basit polimerlerle yapıyoruz. Burada kullandığımız polimer, polivinifenol dediğimiz polimer. Çekirdek etrafında radyal yönde sardıktan sonra, bir boyutlu büyüme belli açılarda eklenerek nanotel şeklini almasını sağlıyor çekirdek parçacıklarının.

Şimdiye kadarki yaptığımız çalışmalarda genellikle neredeyse bir günde 40-50 miligram yapabiliyorduk. Fakat geçen hafta yapmaya başladığımız bir çalışmada biz 2 saat içerisinde 500 miligram nanotel üretebiliyoruz artık. Bu oldukça mutluluk verici. Sonra biz bunları temizliyoruz. İçeride polimer var, etilen glikol var, onlardan arındırmamız lazım. Temizledikten sonra biz bunları alkol içerisine dağıtıyoruz. Niye? Sonrasındaki kullanıma hazır bir hale gelebilsin diye. Ve sonra basit bir spreyle kaplama, normal bir hobi dükkânından alabileceğiniz spreyle kaplama tabancasıyla bunları yüzeylere sıkıyoruz.

Sadece nanotel üretmiyoruz tabii ki; şekilsiz parçacıklar, yuvarlak türlü parçacıklar, pramitler, küpler de üretiyoruz. Biz şimdilik bunları kullanmıyoruz; ama bunlar da bizim yan ürünlerimiz ve hepsinin

nasıl ayrıştırılabileceğini, en son ürün nanotel olmak üzere, diğerlerinden nasıl ayrıştırılabileceğini de öğrenmiş durumdayız.

İlk başta ince filmlerle başlayalım. Dedğim gibi, spreya kaplıyoruz. Her şey elimizde; yoğunluğu istediğimiz gibi kontrol edebiliriz. Yoğunluk bize optik geçirimi kontrol etme olanağı sağlıyor. Gördüğünüz gibi, farklı nanotel yoğunluklarında optik geçirimi istediğimiz gibi kontrol edebiliyoruz.

Orada gördüğünüz dalgalı giden de, ticari olarak satılan, Delta Technologies firmasından ticari olarak satın alınan ve organik güneş pillerinde kullandığımız ITO malzemesi aslında. Buna göre çok daha homojen, düz ve daha da yüksek optik geçirim değerlerine sahibiz. Daha da önemlisi, ayrıca yakın kızılötesi bölgede de, ITO'ya kıyaslandığı zaman oldukça düz ve sabit bir geçirim değerimiz var.

Buraları hızlı geçeceğim.

Tavlama denemeleri. Çünkü gümüşü gümüşe kaynatabiliyorsunuz ve tabii, nanotel eklem bölgeleri size direnç oluşturacağı için, düzgün tavlama yaparsanız direnci oldukça düşürebiliyorsunuz. En iyi elde ettiğimiz sonuçlardan bir tanesi bu. Neredeyse yüzde 88 geçirimde, 1 birim kare içerisinde 11 ohm iletkenlik veya direnç alabiliyoruz.

Az önce söylediğim gibi, her türlü malzemenin üzerine biz bunları kaplayabiliyoruz. Burada bir polietilen fitilat altlık görüyorsunuz, 10'a 10'luk, oldukça kolay bir şekilde kaplıyoruz.

Literatürde de kendimizi koyduğumuz zaman, 2013 yılı itibarıyla neredeyse en iyi iletken ve şeffaf filmlerden bir tanesini elde etmiş durumdayız.

Numuneler oldukça homojen. Aynı numune üzerinden 25 tane ölçüm yaptığınız zaman, +/- 1-2 ohm civarında oynuyor ve akım ve voltaj altında davranışları da (24 saate kadar ölçüldü) oldukça kararlı.

İlk uygulamamız, organik ışık yayan diyot uygulaması. Hemen hızlıca geçeyim. Normalde ITO malzemesi kullanılıyordu; biz ITO yerine gümüş platinleri koyup, tabakanın üstüne emisyon yapacak alüminyum kontaklar koyduğumuzda ve bunu da ITO ile kıyasladığımızda, herhangi bir sorun yaşanmadan, birazcık daha düşük voltajlarda cihazı çalıştırmamız mümkün.

Bir sonraki çalışmamız fotodedektörler. Fotodedektör çalışmalarına baktığınız zaman, birçok türü var. Benim burada konuşacaklarım, metal, yarı iletken metal foto algılayıcılar.

Foto algılayıcılara baktığınız zaman, normalde, üretimde kontak olarak kullanılan malzemeler; gümüş platin, az önce bahsettiğimiz gibi, ITO türevleri veya nanotel veya nanotüp ince filmler. Ama bunların içerisinde hakikaten esnek, yaptığını iddia edip de gerçekten esnek olabilecek olanlar sadece üçüncü maddedekiler. Çünkü diğerlerinin belli bir eğip bükme süresinden sonra kırıldığını çok rahatlıkla gözlemleyebilirsiniz.

Spreya kaplamadan sonra, litografiyi biz de kullanmıyoruz, normal bir neşter ucuyla 30-40 mikronluk bir kanal açıp, o kanal içerisine yarı iletken malzemeleri koyup -ki bu örnekte çinko oksit nanotellerdir- su içerisinde, Necmi hocamın anlattığı gibi bir üretim yöntemiyle yaptıktan sonra, görünür bölgede şeffaf foto algılayıcıları 1-2 dakika içerisinde üretebilme yetisine sahibiz. Çinko oksit olduğu için, ultraviyole bölgede aktif; geri kalan, görünür, kör dediğimiz foto algılayıcıları üretmek oldukça kolay. Çalışma birazcık yavaş tabii, 4 saniyede açılıp kapanma diye belirtiliyor; ama dediğim gibi, 1-2 dakika içerisinde bunları çok rahat bir şekilde esnek olarak üretebiliyoruz.

Bir başka çalışmada kanal bölgesine germanyum nanotelleri koyduk. Yine kendi ürettiğimiz germanyum nanotelleri. Bunlarla da isterseniz eğer, kızılötesi bölgede çalışacak foto dedektörleri, esnek foto dedektörleri yapmanız oldukça kolay.

Bir diğer çalışmada da silikon nanotelleri koyduk. Üretilen silikon nanoteller bir çözelti içerisine alınıyor ve tam kanal bölgesine mühürlüme yöntemiyle yapıştırılabilir.

Bir diğer çalışmamız ısınma üzerine. Joule Heating dediğimiz bir mekanizma var; çok düşük akım, enerji, güç değerlikleri altında, bu minnacık tellerin üzerinden çok düşük akımlar geçirerek ısınmalarına sebep olabiliyorsunuz. Numunelerimizi böyle üretiyoruz. Isı dağılımını değişik kontak

geometrilerinde inceliyoruz. Elde ettiğimiz sonuçlardan bazıları burada. Mesela, 3 volttan daha düşük değerlerle 200 dereceye çok rahatlıkla çıkabiliyoruz. Ütüyü düşünün mesela, evlerde kullandığımız ütüyü; 1.500 wattlar, 1.600 wattlar... Saç kurutma makinelerini düşünün, 1.000 wattın üstüne çıkılan sıcaklıkları bir düşünün. Dolayısıyla, bu sıcaklıklar da aslında oldukça iddialı. Abartırsak biraz işi, kopartıyoruz tabii ki. Bunun için de geliştirdiğimiz koruma stratejileri var. Eğer basamaklı bir çıkış yaparsak, sıcaklık çok daha da yüksek. Bakın, gördüğünüz gibi, yaptığımız cihazları 300 derecelere kadar çok rahatlıkla çıkartabiliyoruz.

Aç-kapa, aç-kapa, tabii ki... Bir saç kurutma makinesini düşünecek olursanız, defalarca açılıp kapanacak. Bu konuda oldukça kararlı bir davranış gösteriyor. Bizim ilk başta düşündüğümüz, otomobillerin rezistansları genellikle arkaya konulur, neden yanlara koyulmuyor diye düşündük. Bakın, burada buz eriycek. Buzdolabından çıkarttık, üstü buz kaplı, elektrotları voltajla besliyoruz, buz eriyor. Zaman darlığından dolayı buraları geçiyorum.

Aynısını kumaşlara da yaptık. Biz kumaşları da ısıtabiliyoruz. Tabii koton kumaş olduğu için çok yüksek sıcaklık derecelerine çıkamayız; çünkü kumaşı yakarız. Ama oldukça esnek ve gördüğünüz gibi, 500 defa eğip büksek de +/- 1 ohm civarında bir iletkenlik değişimi oluyor. Bir de tabii ki, kumaştan bahsediyorsanız, yıkama dayanımı da çok önemli. Yıkadıkça fiber çevresinde nanotellerin daha etkin bir şekilde sarılması sayesinde de aslında yaptığımız cihazları daha da iyileştiriyoruz.

Bir başka uygulamamız, polimer matriks içerisinde katman. Geleneksel olarak bildiğimiz polimerler yalıtkan malzemeler. Ama siz herhangi bir elektronik uygulamayı alıp, yarı iletken polimerleri tabii ki bir kenara itiyorum, ama bir miktar elektrik iletken de isteyebilirsiniz. Mesela, antistatik kaplama gibi. PLA'yı seçmemizin sebebi de bunun biyoçözünür ve biyouyumlu bir polimer olması. Nanoteller ile PLA'yı kloroform içerisinde çözüp, istediğimiz kalınlıkta, istediğimiz büyüklükte filmler yapıyoruz. Tabii ki burada nanotel miktarı artırılırsa, bunları optik olarak koyultuyorsunuz, şurada gördüğünüz gibi.

İletkenlik değerleri; sandviç yapısında iki taraflı iletkenlik ölçüyoruz. En düşük değerlerden bir tanesidir literatürde, 0.12. Binde 12 hacimce nanotellerde biz iletkenlik elde ediyoruz. Bu, perkolasyon eşiğidir ve 27-30 nanometrelere kadar çıkan iletkenlik değerlerimiz var.

Bunlar, SEM görüntüleri. Nanotelleri rahatlıkla seçebiliyorsunuz. Bunlar üstten, bunlar da yatay kesit görüntüsü. Ve hatta blate yaptığımız için, o yönde bir yönelimleri de var nanotellerin.

Sonrasında oluşan bir şey, az önce de duyduk, hatırlarsanız, gümüşün bir de antibakteriyel özelliği var, bu polimerler bir de antibakteri oluyor. Bu sefer de "Gıda kaplarında kullanılabilir mi acaba?" sorusu aklımıza geldi. Bunu da gıda mühendisleriyle birlikte yapmaya çalışıyoruz.

Bir başka çalışmamız, süper kapasitör elektrotlar. ITO yerine bunları kullandık. Elektrot olarak kullanabiliyoruz. Süper kapasitör çalışmalarına da bunu entegre edeceksek, evet, edebiliyoruz. İletken tabaka gümüş nanoteller. Onların üzerine, aynı az önce EID'de gördüğümüz gibi, tabii ki o kadar homojen kaplamıyor, ama elektro depozisyon yöntemiyle, yük depolamasına olanak sağlayacak bir malzeme. Burada örnek, molibden oksit. Bakın, aynen bildiğiniz elektrik kabloları gibi; içeride metal üstünde yalıtkan, ama yük depolamasına olanak sağlayacak molibden oksit ince filmleri kaplayıp, eksi voltajlarla (çünkü artıya gidersek gümüşü mahvederiz) çok rahatlıkla bunları çalıştırabiliyoruz.

Bir diğer uygulama da güneş pili elektrotları. Konvansiyonel güneş pillerinde üst gümüş elektrotlar var biliyorsunuz ve bu gümüş elektrotlar yüzde 10-15 oranında ışığı kesiyor. Aslında güneş pilleri ışıkla çalışıyor, siz ışığı kesiyorsunuz. Bizim uygulamamızda bu üst elektrotu tamamen yok edip, gümüş nanotellerle böyle bir şey yapabilir miyiz diye baktık. Yapıyoruz gibi duruyor, bu sonuçlar daha çok yeni; en azından kaybetmiyoruz kazancımızı, onu gösterdik. Bunun üzerine çalışmalarımız devam ediyor. 15-15'lik güneş pillerinin üst elektrotunu sadece gümüş nanotellerle yapabiliyoruz. Dediğim gibi, daha üzerinde çalışmamız gerekiyor.

Bir diğer kullanım alanı da elektromanyetik kalkanlama. Buna da yeni başladık. Hatta bu sonuçları

sabah uçaktan indikten sonra koydum. Çok iletken yapmışız. Ne yapıyoruz? Hiçbir şey kaplanmamış pet, 10 kilo ohmluk bir gümüş nanotel, 10 ohmluk ve 20 ohmluk gümüş nanoteller. Çok fazla emilimimiz var ve çok da fazla yansıtmamız var; artık böyle birazcık metal gibi davranıyor, onun farkındayız. Pek de çalışılmayan bir aralıkta bunların elektromanyetik kalkanlama özelliklerine de bakıyoruz.

En son bakır çalışmalarına başladık. Gümüş birazcık pahalı. Bakır çalışmalarına başladık. Fakat bakır da gümüş kadar kararlı değil. Dolayısıyla, ikisinin de artıları, eksileri var. Onları inceliyoruz şu anda. Ama bakır nanotelleri de, tek kristalli bakır nanotelleri de laboratuvarımızda üretip, yine ince film şeklinde altlıkların üzerine kaplayabiliyoruz.

Ben yapmıyorum bunları tabii ki, öğrencilerimle beraber yapıyoruz. Ben, öncelikle onlara, ardından da sabrınız için sizlere teşekkür ediyorum.

Dr. Volkan Özgüz- Biz teşekkür ederiz.

Hocamıza soru varsa alalım. Buyurun.

Gözde Tütüncüoğlu- Sunum için teşekkürler. Aslında ben de nanotellerle ilgili çalışıyorum. Biz MBE yapıyoruz. Acaba hiç kristal yapılarını incelediniz mi nanotellerinizin, elektron mikroskopuyla, TEM’le?

Yrd. Doç. Dr. Emrah Ünal- İnceledik. Meltem hanım sunum yapacak şimdi bize, hatta yan çevirip de bakacağız bir de. Ama normal TEM’le, yani konvansiyonel TEM’le. Oldukça tek kristal, nanoteller görüyoruz. Zaten yöntemin avantajlarından bir tanesi bu. Polikristal nanoteller kesinlikle üretmemek, düzgün çekirdek parçacığını oluşturabilmek; amacımız bu.

Dr. Volkan Özgüz - Başka soru var mı? Yok.

Peki, çok çok teşekkürler hocam.

Bir sonraki konuşmada biraz daha sistem tarafına doğru gideceğiz. Bilkent Üniversitesinden Selim Hanay hocamız, “Hassas Algılayıcı Teknolojileri, Nano- Elektromekanik Sistemler” konusundan bahsedecek.

Buyurun.

“Hassa Algılayıcı Teknolojisi: Nano- Elektromekanik Sistemler (NEMS)”

Yrd. Doç. Dr. Selim Hanay (Bilkent Üniversitesi)- Davetiniz için çok teşekkür ederim.

İsmim Selim Hanay; Bilkent Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde ve aynı zamanda UNAM’da, Ulusal Nano Teknoloji Araştırma Merkezinde çalışıyorum.

Benim size anlatacağım konu nano elektromekanik sistemler. Kısaca NEMS diye geçiyor.

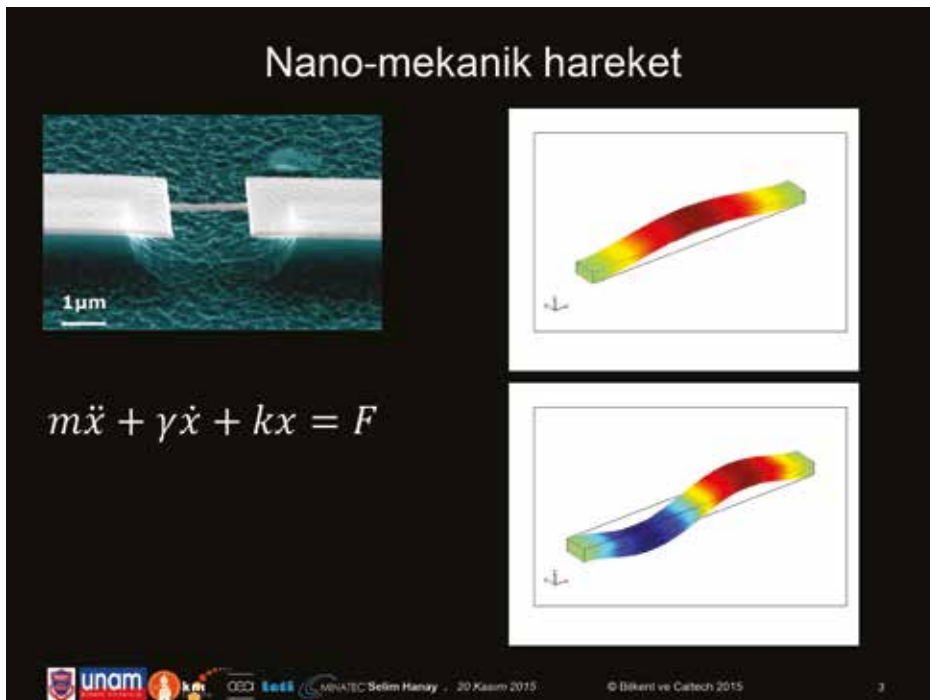
NEMS nedir? Mertebe olarak bir yonga üzerinde ürettiğimiz ve en az bir boyutu mikrometrenin altında olan küçük mekanik yapılar ve biz bu küçük mekanik yapıları elektronik yöntemlerle kullanabiliyoruz, kontrol edebiliyoruz. Bu bize ne avantaj sağlıyor? Bu sayede bu mekanik yapıları, bu mekanik algılayıcıları doğrudan elektronik sistemlere entegre edebiliyoruz.



Burada farklı NEMS algılayıcılarını görüyorsunuz. Bunlar mesela ivmeölçer, infrared dedektör, kuvvet ölçer ve kütle ölçer şeklinde. Ki mesela kuvvet ve kütle ölçümü aynı zamanda biyokimyasal sensöre de çevrilebiliyor.

Belki duymuşsunuzdur, bir de buna yakın olan mikro elektromekanik sistemler teknolojisi var, yani MERS teknolojisi. Temel olarak farkı ne? Nano mekanik sistemler, bugün size anlatacağım sistemler daha küçük sistemler, daha küçük boyutlarda üretiyoruz; dolayısıyla daha yüksek duyarlılığa sahipler. Fakat MERS'e göre üretmesi ve ölçmesi daha zor, dolayısıyla daha yüksek maliyetli sistemler. Dolayısıyla, NEMS sistemlerinin uygulamaları biraz daha kritik uygulamalar, mesela sağlık alanında uygulanıyor.

Öncelikle şöyle düşünelim: Nano boyuttaki hareketi nasıl ölçerim? Bu zor bir problem. Çünkü buradaki hareket genlikleri çok düşük. Hareket genliği çok düşük olunca, bunun oluşturacağı elektronik voltaj da çok düşük olacak. Dolayısıyla, benim nano boyutta genliği olabilecek en yüksek boyuta çekmem lazım. Bunu sağlamanın en kolay yöntemi ise bunları rezonanslarında, yani salınım kiplerinde, salınım modlarında çalıştırmak.



Mesela bu köprü devresinin ilk salınım modu bu şekilde titreşiyor. Fakat bunun dışında da salınım modları var. Mesela, ikinci salınım modu da bu şekilde titreşiyor. Genelde deneylerde ilk temel salınım modu kullanılır; fakat daha yüksek salınım modları da son yıllarda daha önem kazanmaya başladı.

Sistem bakış açısıyla bunu nasıl modelleyebilirim? Hareket denklemini yazarak modelleyebilirim. Hareket denklemi, basit bir harmonik osilatör hareket denklemi; kütle, yay sabiti, sürtünme katsayısı ve kuvvet şeklinde. Mesela, elektronik temelden gelen birisi olarak, bu denklemin aynı zamanda RLC salınmaçlarındaki aynı denklem olduğunu görebilirsiniz. Dolayısıyla, aslında NEMS yapıları da sistem açısından RLC osilatörleri gibi davranıyorlar.

Ben bunları elektronik sistemime nasıl entegre edebilirim? Elektronik sistemin bir giriş, bir de çıkış voltajları olacak, arada da mekanik sistem olacak. Tabii ki bunu karakterize etmenin yöntemi, buradaki transfer fonksiyonunu yazmak ve bu transfer fonksiyonu, bu salınmaç olduğu için, bir harmonik osilatör şeklinde. Mesela burada genliğini görüyoruz. Kullandığınız elektronik ölçüm sisteminin detaylarına göre farklı özelliklerine de bakabilirsiniz. Mesela, isterseniz fazını da ölçebilirsiniz. Fazını ölçtüğünüz zaman, bunu bir PRL faz sistemine entegre edip, sürekli frekansı takip de edebilirsiniz. Benzer şekilde, X ve Y bileşenlerini de ölçebilirsiniz.

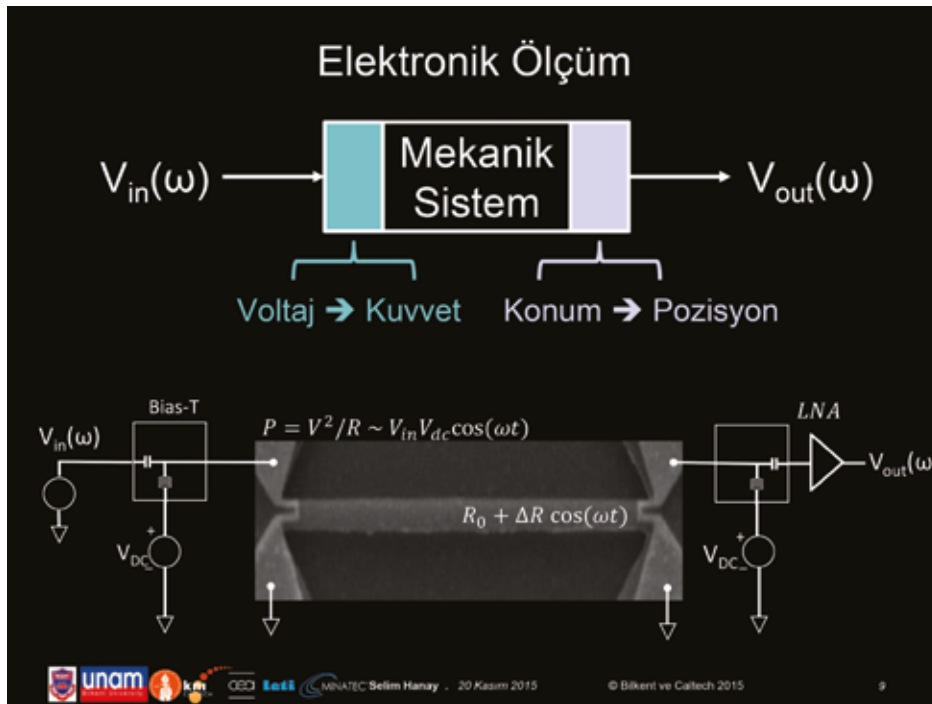
Bu biraz daha sistem bakış açısı. Daha mekanistik olarak bakalım. Nasıl oluyor da voltaj vererek hareketi tetikleyebiliyor ve bu oluşan hareket sonucunda voltaj ölçebiliyor?

Bu konuda farklı yöntemler var. Fakat biz, biraz daha olayı anlayabilmek için, bir yöntem üzerine biraz daha odaklanalım.

Türkiye'de ürettiğimiz NEMS devresini Bilkent UNAM ve Sabancı Üniversitesi SU-NUM ile ortak olarak ürettik, İsmet Kaya hocamın da katkılarıyla.

Yukarıdan görünümü ve üç boyutlu görünümü bu şekilde görebilirsiniz. Bunun boyutları 8 mikron'a 300 nanometre ve 100 nanometre de kalınlık şeklinde.

Şimdi köprüye yakından bakalım.



Burada ortada gördüğünüz, silisyum nitrür mekanik köprü. Açık renkle gördükleriniz ise altın elektrotlar, altın katman. Bu katman temel olarak gelip burada bir direnç oluşturuyor, her iki uçta da birer tane altın direnç oluşturuyor. Buna giriş ve çıkış voltajları uygulamak istiyorum. Giriş voltajını şu şekilde uyguluyorum: Giriş voltajını başka bir tane DC voltajla birleştirip, direnci elektrota uyguluyorum. Bunu yaptığım zaman belli bir dalgalı akım geçiyor ve bu dalgalı akım

direnci ısıtıyor. Böylece altın da ısınıyor, soğuyor, ısınıyor, soğuyor; dolayısıyla şekli de genişliyor, büzülüyor, genişliyor, büzülüyor. Altındaki tabaka, o da aynı şekilde, aynı sıcaklık döngüsüne sahip, o da genişliyor, büzülüyor. Fakat bunların genişleme katsayıları birbirinden farklı. Dolayısıyla arada bir termal stres oluşturuyor. Yani altının deformasyonu alttaki tabakayla başka bir kuvvet uyguluyor ve bu şekilde, verdiğim elektriksel sinyal buraya kuvvet olarak dönüşüyor. Ve görüldüğü gibi, kuvvet aslında verdiğiniz frekansa bağlı. Eğer verdiğiniz elektronik sinyalin frekansını mekanik yapının salınım frekansına eşit yaparsanız rezonansı tetikliyorsunuz.

Peki, rezonansı tetikledim, sallanmaya başladı; bunu nasıl ölçeceğim elektronik olarak? O da şu şekilde: Diğer tarafta başka bir rezistans var. Bu rezistans da aşağı yukarı gidip gelirken deformasyona uğruyor, yani boyu uzuyor, kesit alanı değişiyor. Dolayısıyla, kendi öz direncine ek olarak, bir tane de belli bir frekansa bağlı bir titreşim oluyor ve bu titreşimdeki delta R, yani direncin değişim oranı salınım genliğiyle orantılı. Dolayısıyla, bu direnci ölçebilirsek, hareketi de ölçmüş oluruz. Bunu ölçmek için, yine benzer bir şekilde, bir DC voltaja bağlayıp, akım geçirip, sonra bu akımın AC komponentini alıp, dışarıda bir yükselteçten geçirerek ölçebiliyorum.

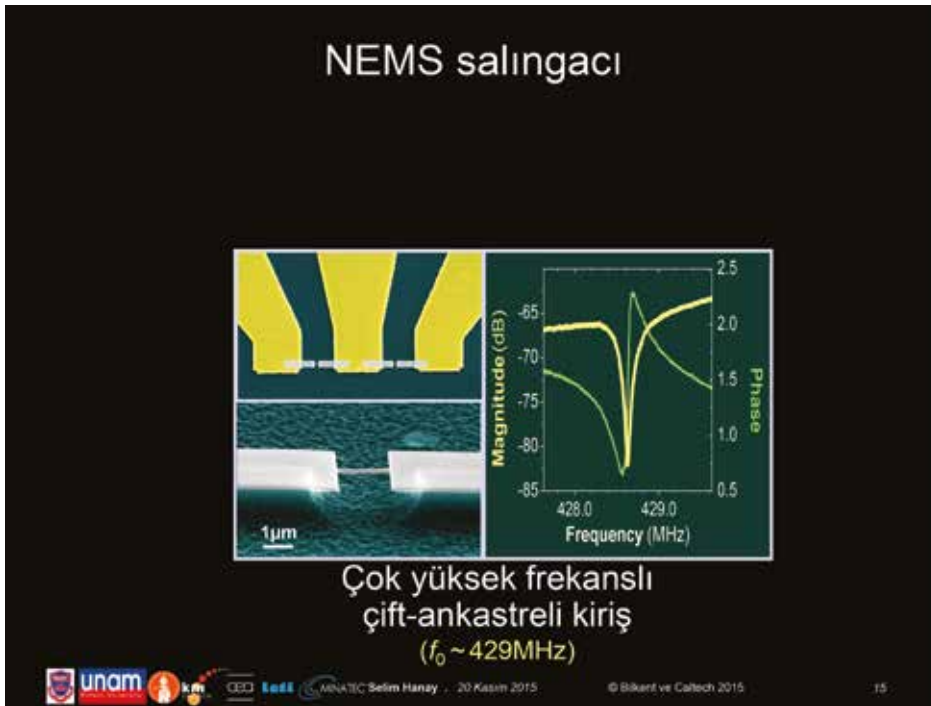
Bunun sürme şekline termo-elastik sürüm, okuma şekline ise piezzo-rezistif okuma diyoruz. Farklı sürme ve okuma yöntemleri mevcut. Termo-elastik, piezzo-elektrik, elektrostatik ve manyetomotif. Bunların eşdeğerlerini okuma yöntemi olarak da kullanabilirim, kapasitif, manyetomotif vesaire.

Peki, şu ana kadar neden bahsettik?

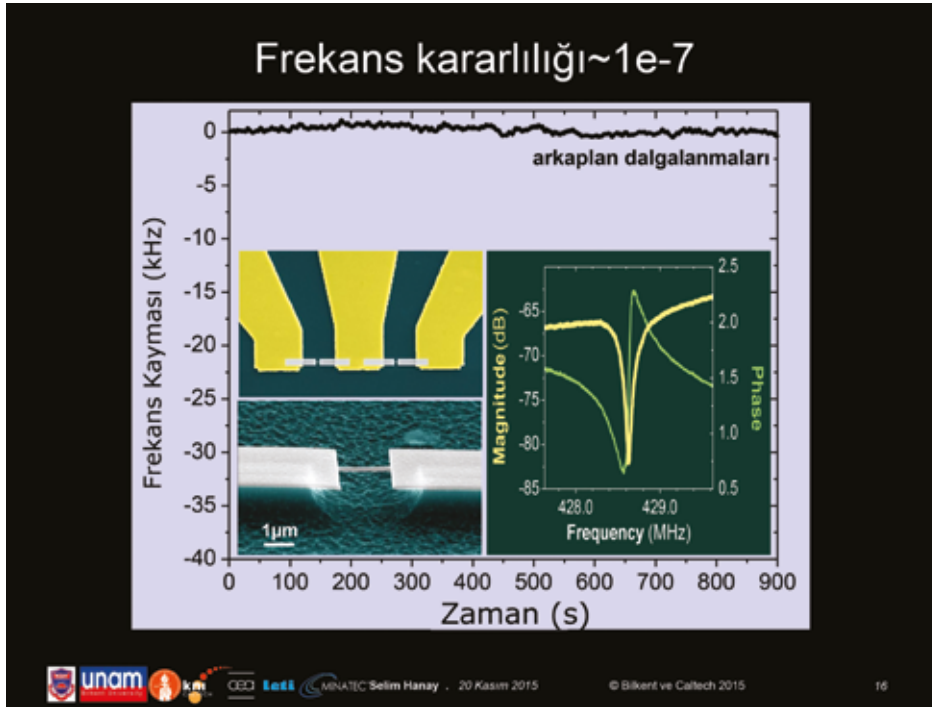
NEMS demek, küçük mekanik sistemler. Bunları rezonatör olarak modelleyebiliyorum ve elektronik yöntemlerle okuyorum ve sürüyorum.

Şimdi bunların uygulamalarından biraz bahsetmek istiyorum.

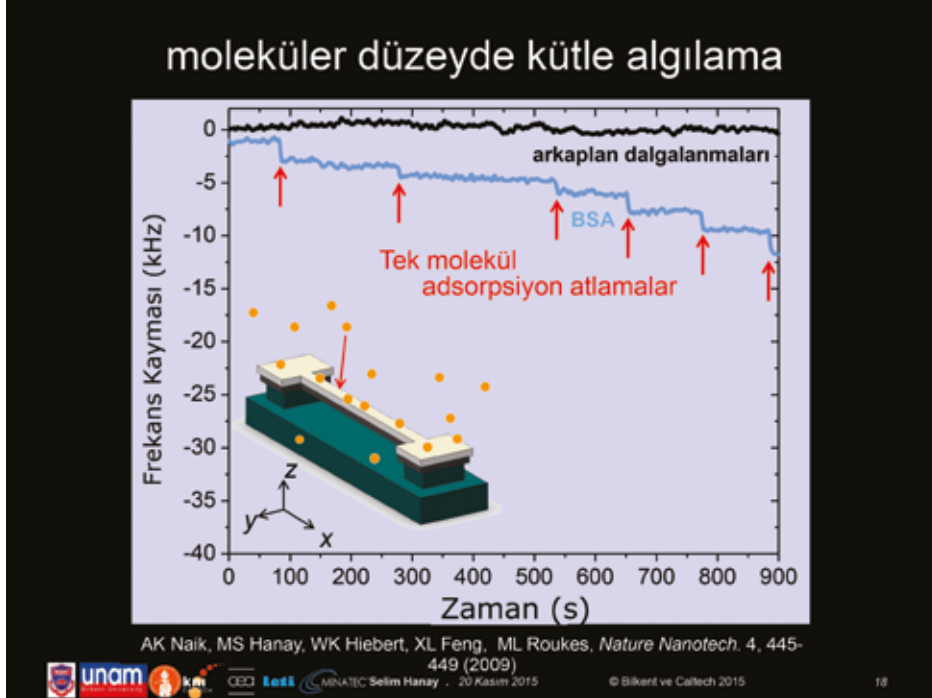
İlk olarak kütle sensörü olarak kullanabilirim. Kütle sensörü ne demek? Bu belki biraz anlamsız gelebilir; fakat bir molekülün kütlesini ölçebilirsiniz, o molekülün ne olduğunu da bulabilirsiniz. Temel olarak kimyanın söylediği bu. Yani aslında kütle sensörü demek, biyokimyasal sensör demek.



Bu, tekrar gördüğümüz köprü, salınım yapan köprü ve bunun titreşim frekansı 429 megahertz. Mesela, bu hangi frekans bandına tekabül ediyor? Sanırım UHF'ye tekabül ediyor. Fakat bu bir elektronik salınım değil, bu bir mekanik salınım. Yani UHF bandında bir mekanik salınımdan bahsediyoruz burada. Deneylerde bu salınım frekansını takip ediyoruz. Tabii, burada soru ne kadar iyi takip edebildiğimiz şeklinde. O soruyu hemen yanıtlayalım.



Burada gördüğünüz, frekans değişikliklerinin zamana bağlı grafiği. Fakat ben bu 429 megahertzi Y ekseninden attım, böylece değişiklikleri daha rahat görmek için. Dolayısıyla, geriye kalan, arka plandaki dalgalanmalar. Ve istatistik bir analizden geçirirsem, buradaki kararlılık 10^{-7} mertebesinde. Bu ne demek? Yani frekans değişikliklerini 10 milyonda bir mertebesinde okuyabiliyorum. Zaten siz de bilirsiniz ki, FM radyo AM'den daha iyi çalışır, frekans ölçümleri her zaman daha hassastır. Bu da ona bir örnek.



Bu kararlılık seviyesi ve bu boyutlar sayesinde, bu yapıya molekülleri gönderecek olursam bir vakum altında, şöyle bir grafik elde ediyorum. Bu frekans zaman zaman çok keskin bir şekilde aşağıya doğru kayıyor ve bu her kayma aslında tek bir molekülün gelip bu yapıya bağlanması ve bu yapının frekansını değiştirmesine neden oluyor. Yani bu aslında bir mekanik tartı; fakat molekülleri tartabiliyor. O hassasiyette bir mekanik tartı.

Peki, buradaki frekans niye kayıyor ve bundan nasıl kütle elde edebilirim?

Dediğim gibi, bu basit bir mekanik salıngaç. Mekanik salıngacın frekansı, kök içinde yer sabiti bölü kütledir. Yani kütle artıyor temel olarak. Kütle artınca frekans da değişiyor.

Bu, deneylerde ölçtüğümüz, yani çıktığımız frekans değişimi. Girdide ise eklenen kütle var. Lineer bir bağlantı ve aradaki kazancımız, yani kütle duyarlılığımız da yapının özelliklerine bağlı; yapının frekansına bağlı ve kütlesine bağlı, buna göre kazancın artabiliyor ya da azalabiliyor.

Bu tekniği kullanarak, insanlar için önemli proteinleri, önemli biyokimyasalları ölçebiliriz. Mesela, burada IgM adlı bir antikor ölçtük. Bu, insanlarda farklı formlarda, farklı izoformlarda olabiliyor ve bu mekanik ölçümlerle mesela bir insanda bunun dağılımına baktık. Farklı hastalıklarda bu dağılımlar değişebiliyor. Bunlar biraz da işin biyokimyasal detayları.

Peki, limit nedir; yani nasıl çözünürlüğü artırabilirim, nasıl daha aşağı gidebilirim?

Bunu hesaplayabilirim, kütle çözünürlüğünü hesaplayabilirim. Burada iki tane faktör var. Birisi proses mühendisliği, diğeri enstrümantasyon, yani ölçüm mühendisliği. Birisi temel olarak yapıyı daha küçük yap diyor; diğeri de deneyleri daha az gürültülü yap, daha hassas ölçüm yap diyor.

Mesela, ilk faktöre bakarsak, kütle duyarlılığı, bunun nasıl ölçeklendiğini düşünersek; diyelim ki ben mekanik yapıyı her boyutta 10 kat küçülttüm, 10 kat küçültürsem nasıl bir duyarlılık bekliyorum? Görünen o ki dördüncü kuvvetle gidiyor. Yani 10 kat küçülttüğüm zaman aslında 10 bin kat avantaj elde edebiliyorum. Bu çok büyük bir bağımlılık, çok büyük bir kuvvet. Çünkü bu sayede mesela mikro seviyeden nano seviyeye gidersem, 3 mertebe küçültürsem her boyutta, 12 mertebe kütle hassasiyetinden kazanıyorum. Bu sayede, mesela diyelim ki nano boyutlara geldiğim zaman, tek tek molekülleri ölçebilmeye başlıyorum, kütlelerine bakabilmeye başlıyorum.

Bu, bizim gelecekte gitmek istediğimiz sistem. Mikro akışkan bir ön yüz ve bir CMOS elektroniği arka yüzü ve arada enerji sisteminin olduğu bir sistem kurmak istiyoruz. Şu anda Amerika'da ve Fransa'da bu konuda çeşitli çalışmalar yapılıyor, bunun endüstrileştirmeye yönelik ve çeşitli biyokimyasal faydaları var, onları geçiyorum.

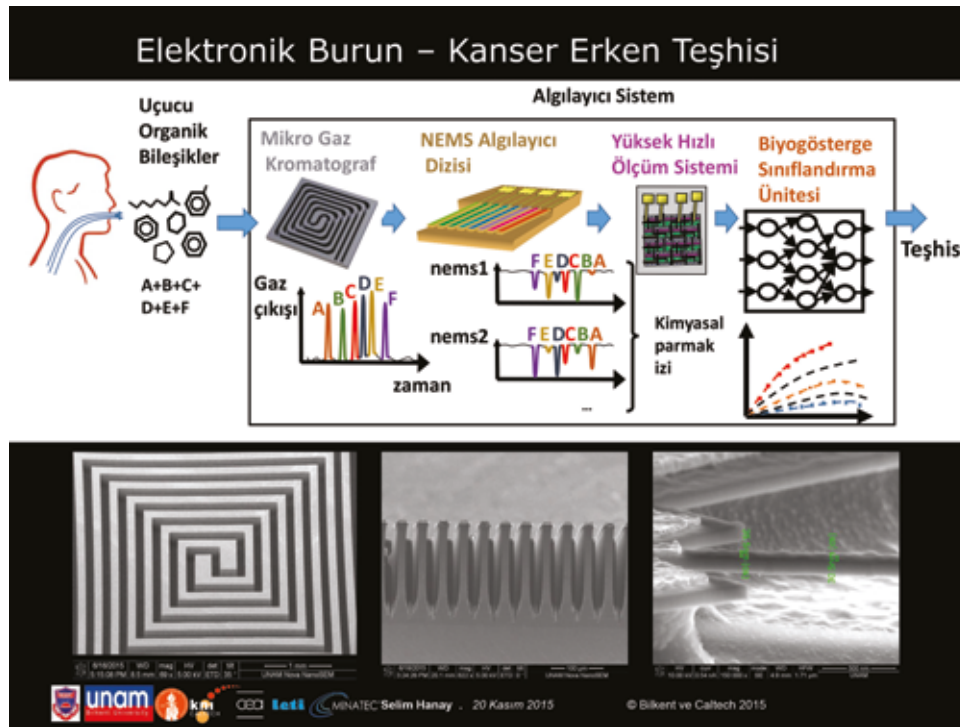
Hedeflenen başka uygulamalar ise şunlar: Mesela, bu portatif bir hale getirilip, bakteri ve virüs tespitinde kullanılabilir. Çünkü bunların kütle aralıkları bizim sistemimize gayet uyuyor.

Başka bir çalıştığımız konu ise bir elektronik burun yapmak, hastalıkların erken teşhisi için. Mesela, bir hastalık varsa bir dokuda, bu dokunun metabolizması bozuluyor. Metabolizması bozulunca, bu dokunun ürettiği ufak moleküllerin çeşitleri de değişiyor ve bu ufak moleküller kan dolaşımıyla akciğerlere geliyorlar. Akciğerlerden de solunumla, yani verilen havayla dışarı geliyor. Bunlara organik bileşikler diyoruz ve bu bileşikler, eğer bir hastalık varsa, hastalık işaretçilerini de gösteriyorlar, hastalığın biyo işaretçilerini. Amacımız, bu hastalığın biyo işaretçileri bulmak.

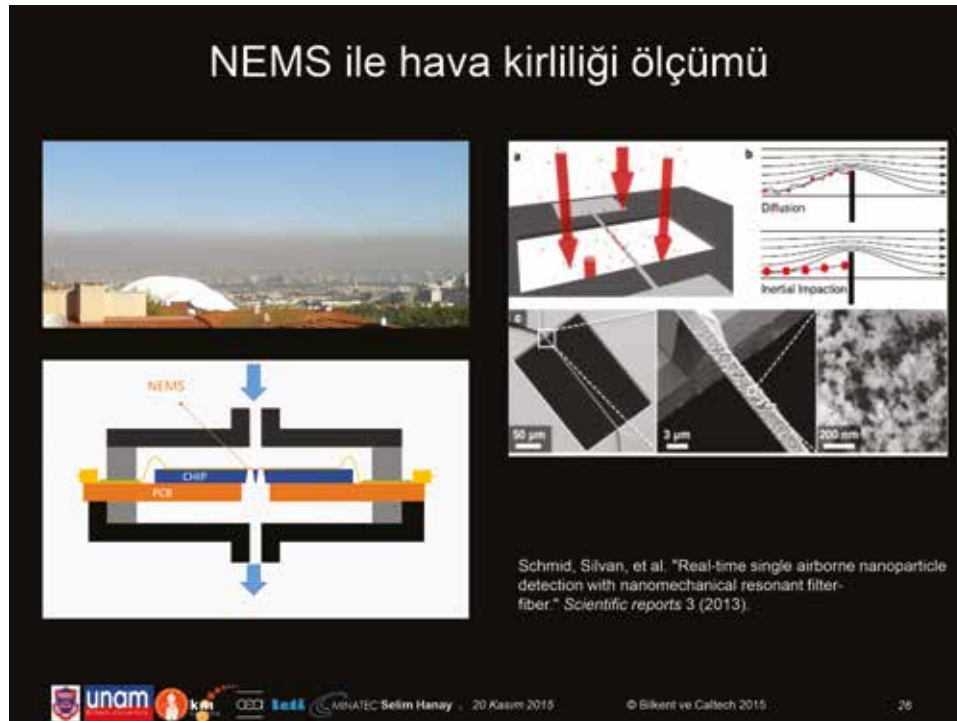
Buradaki ilk sorun şu: Tabii, teneffüs ettiğiniz, verdiğiniz hava bir sürü molekül içeriyor, bir sürü gaz içeriyor. Bunları öncelikle birbirinden ayırıştırmanız lazım. Bu ayırıştırma işlemi için kromatografi denilen bir cihaz kullanılması gerekiyor. Bu, temel olarak uzun bir yol. Her bir molekül farklı hızla gittiği için bu yolda, aynı zamanda girseler bile farklı zamanlarda ve her biri farklı bir bant olarak çıkıyor. Tabii, bizim kullanmak istediğimiz NEMS boyutuna uygun yapabilmek için, bunu da mikro boyutlarda, çip üstünde yapmamız gerekiyor. Böyle tek tek çıkan her bir gazı ise bir algılayıcı dizisiyle ölçmek istiyoruz. Burada farklı farklı NEMS'ler var. Yani birçok NEMS var; fakat her biri farklı bir polimerle kaplı. Polimerin olayı, bu NEMS algılayıcılarına kimyasal seçicilik vermek. Mesela diyelim ki A gazı ilk olarak çıkıyor. A gazı belki mesela sarı polimerle çok iyi etkileşiyor, çok büyük bir sinyal veriyor; fakat mavi polimerle çok etkileşmiyor, çok az bir sinyal veriyor. Böyle böyle, her polimerle farklı oranlarda etkileşiyorlar. Dolayısıyla, ben mesela on tane polimer kullansam, on boyutlu bir analiz boyutundan bahsediyorum ve her bir kimyasal bu on boyutlu analiz uzayında farklı bir hacim kaplıyor. Dolayısıyla, aslında her bir kimyasalın farklı bir parmak izi var.

Bizim bu projede yapmak istediğimiz, öncelikle, kanser biyo işaretçisi olduğunu bildiğimiz moleküllerin parmak izlerini belirlemek, sonra da bir tarama sürecinde insanların nefeslerini analiz ederek, bu biyo işaretçi var mı, yok mu, ne kadar iyi bulabiliyorum, bunu bulmak. Tabii, burada

yüksek hızlı FBGA bazlı ölçüm sistemi ve bir tane de sınıflandırma ünitesi kullanmamız gerekiyor, bilgisayar bölümünden bir arkadaşla.



Mesela, burada oluşturduğumuz mikro gaz kromatografisinden çeşitli kesitler görüyoruz ve yine kullandığımız, ürettiğimiz NEMS sisteminin üstüne polimer kaplayarak, kimyasalları seçici hale getirdiğimiz bir SEM görüntüsü görülüyor.



Yine bu algılayıcıların kullanılabileceği başka bir alan da portatif olarak hava kirliliğinin ölçümü. Mesela burada gördüğünüz şehir Ankara ve Bilkent Üniversitesinden Ankara'nın resmini görüyorsunuz. Gördüğünüz gibi, havada büyük bir kirlilik var. Tabii, bu kirliliğin büyük bir kısmı kükürt ve azot bazlı gazlardan geliyor. Fakat başka bir boyutu ise mikro parçacıklar, mikro ve nano parçacıklar, yani havadaki partiküller. NEMS cihazlarıyla bunların da portatif olarak ve gerçek zamanlı olarak ölçümlerini yapmak mümkün. Yapılacak iş, bir tane pompa kullanarak havayı

kanalların içine çekmek ve algılayıcıyı kanalın ortasına koymak. Bu sayede, parçacıklar yapıştıkça, yani ne kadar kirlilik var, ne kadar parçacık var ve bunların boyutları nedir, öğrenebiliriz.

NEMS'in buradaki avantajı şu olacaktır: NEMS sayesinde, çok daha küçük parçacıkları ölçebiliriz. Küçük nano parçacıklar ise boyutlarından dolayı, mesela soluduğumuz zaman vücutta daha derinlere sirayet edebiliyorlar, daha ilerilere gidebiliyorlar. Dolayısıyla, aynı özelliklerdeki bir nano parçacık için, daha küçük nano parçacıklar daha zehirli durumda. Yani NEMS teknolojisini kullanarak, daha duyarlı teknolojiyle, en küçük nano parçacıklara kadar bunları ölçebiliriz. Bu da yine üzerinde çalıştığımız bir proje.

Bunun dışında, yine farklı, girilebilecek alanlar; mesela grafen tabanlı NEMS algılayıcıları. Fransa ile ortak yaptığımız bir çalışmada mesela 20 santimetrelük tabanın içinde milyonlarcasını üretebiliriz ve mesela her birinde 100 devre olan diziler yapabiliriz. Başka bir heyecan verici çalışma da CMOS ENEMS'in ortak üretimi. Böylece tüm okuma işlemi de çip üzerinde olacak. Bunun dışında, yine bu yüksek modları kullanarak, mesela ölçtüğümüz molekülün sadece kütlesini değil, şeklini de ölçebiliyoruz. Yani aynı anda hem görüntüleme, hem de kütle ölçümü yapabiliyoruz. Fakat zamandan dolayı bugün bundan bahsetmeyeceğim.



Bu, son 5-6 yıldır yaptığımız deneyleri özetleyen bir slayt.

Özetleyecek olursak; bugün size vermek istediğim mesaj, NEMS teknolojisinin yüksek duyarlılıklı bir teknoloji olduğu ve bunun kritik uygulamalarda (çevre sağlığı, biyoloji gibi) kullanıldığı. Mesela, çevresel uygulamalarda hava kirliliği için, biyolojik uygulamalarda da elektronik burun, kanser teşhisi, bakteri-virüs tespiti ve tek molekül düzeyinde biyokimyasal analiz için kullanıldığı.

İlginiz için teşekkür ediyorum.

Dr. Volkan Özgüz- Biz teşekkür ederiz.

Evet, dinleyicilerimizden bir soru alabiliriz.

Buyurun.

Salondan- Sıvıda nasıl karakterize oluyor?

Yrd. Doç. Dr. Selim Hanay- Dediğim gibi, bu bir salıngaç, yani harmonik osilatör ve bunun belli bir bant genişliği var, kalite faktörüne bağlı olarak. Bunları sıvıya koyduğumuz zaman kalite faktörleri düşüyor. Dolayısıyla, aynı hassasiyetle ölçüm yapmamız mümkün değil. Dolayısıyla, bunları, yani

mekanik algılayıcıları sıvı içine koymak değil de, sıvıyı mekanik algılayıcıların içine koymak daha ümit verici bir yol olarak gözüküyor. Mesela, MIT’de bu konuda çalışan, yani bir mikro kanal yapıp, içinden ölçülecek spreyi geçiren yaklaşımlar var. Yani sıvı içine doğrudan koyamıyoruz; onun yerine tüp yapmak daha uygun.

Dr. Volkan Özgüz- Bir soru daha alalım.

Buyurun.

Servet Ünsal- Elektrik elektronikte kullanıldığı zaman ömrü ne kadar oluyor acaba?

Yrd. Doç. Dr. Selim Hanay- Polimerlerin zamanla kirlenmesinden bahsediyorsunuz, sanırım...

Şöyle: Mesela diyelim ki kimyasallar geliyor, polimere sirayet ediyor; daha sonra bundan mesela tekrar azot geçirmeye devam ettiğimiz zaman, o moleküllerin aslında polimerden tekrar geri soğurulması lazım, yani orayı terk etmesi lazım. Aslında buradaki zaman eğrilerinde de, mesela diyelim ki A geliyor, bitiyor; o anda aslında kısmi basınçlara baktığımız zaman, polimerden tekrar soğurulup havaya çıkması lazım. Fakat bunlar uzun dönemli etkileri şu anda incelenmiş durumda değil, özellikle mekanik sensör üzerinde. Bu, bilmediğimiz bir sorun. Uzun vadede ne olur, hangisi kalır, bilemiyorum.

Dr. Volkan Özgüz- Başka sorusu olan var mı? Yok.

Peki, teşekkür ederiz.

Efendim, bu oturumun son konuşması, hepimizin cebimizde taşıdığımız, pek farkında olmadığımız, ama devamlı kullandığımız bellek hücreleriyle ilgili. Boğaziçi Üniversitesi’nden Özhan Özatay. Kendisi bize tek hücrede çoklu veri depolama amaçlı faz değişim belleği teknolojilerinden bahsedecek.

Buyurun.

“Tek Hücrede Çoklu Veri Depolama Amaçlı Faz Değişim Belleği”

Doç. Dr. Özhan Özatay (Boğaziçi Üniversitesi)- Öncelikle, davet için ve bu güzel organizasyon için teşekkür ediyorum.

Ben bugün size çalışması oldukça hayret verici olan bir aygıttan bahsedeceğim; faz değişim belleği.

Aslında benim çalışma alanım daha çok manyetik aygıtlar üzerine. Bu proje bana önerildiği zaman oldukça temkinli yaklaştım. Çünkü düşününce, neden çalıştığımı tam olarak anlamak çok güç gerçekten. Size öyle bir alışımdan bahsedeceğim ki, bu alışıma ısıttığınız zaman kristalleniyor, daha çok ısıttığınız zaman eritiyorsunuz ve bir anda dondurduğunuzda amorf yapıya dönüşüyor ve siz bunu birkaç defa, birkaç defa değil, 1010 defa veya 1012 defa yapabiliyorsunuz ve bu özelliği kaybolmuyor; kristal yapıda düşük direnç gösteriyor, 500 kilo ohm seviyesinde, amorf yapıda mega ohm seviyelerinde direnç gösteriyor ve siz bunu bellek hücresi olarak kullanabilirsiniz. Bu, gerçekten çok hayret verici bir şey ve bunu nasıl ısıtacağınız, özellikle mega ohm seviyesine çıktığı zaman nasıl ısıtacağınız çok büyük bir sorun. Tabii ki bu 1010 defa gerçekleştiği zaman bunu ciddiye almak gerekiyor, teknolojik uygulamaları açısından.

Öncelikle veri depolama teknolojilerindeki temel problemlere bir göz atalım. Neden farklı teknolojilere bakıyoruz, ne yapmaya çalışıyoruz?

Genellikle amacımız, daha küçük alanda daha fazla veriyi depolayabilmek. Yani burada bizim için en önemli mühendislik kriteri, ne kadar veri yoğunluğu sağlayabiliyoruz bu cihazlarla.

Günümüzde kullanımda olan teknolojilere baktığımızda, bu teknolojileri neden terk etmek isteyebiliriz? Örneğin flash teknolojisi. Bunu küçülttüğümüz zaman, bir süre sonra yük sızıntısı problemiyle karşılaşmaya başlıyoruz; yani audio elektrik katman üzerinde veri kaybı oluşmaya başlıyor.

Bir diğer teknoloji, bilgisayarlarımızda çok kullandığımız hard drive, manyetik veri depolama teknolojisi. Bir kere, özellikle bu yavaş bir teknoloji. İkincisi de, veri yoğunluğunu artırdığımızda, bu manyetik bitlerin boyutlarını çok küçülttüğümüzde ısı kararlılıklarını kaybettiklerini görüyoruz. Yani süper paramanyetik etki dediğimiz etki meydana geliyor; bugün yazdığımız bilgi, yarın bir bakıyorsunuz değişmiş. Çünkü ısı kararlılığı yok.

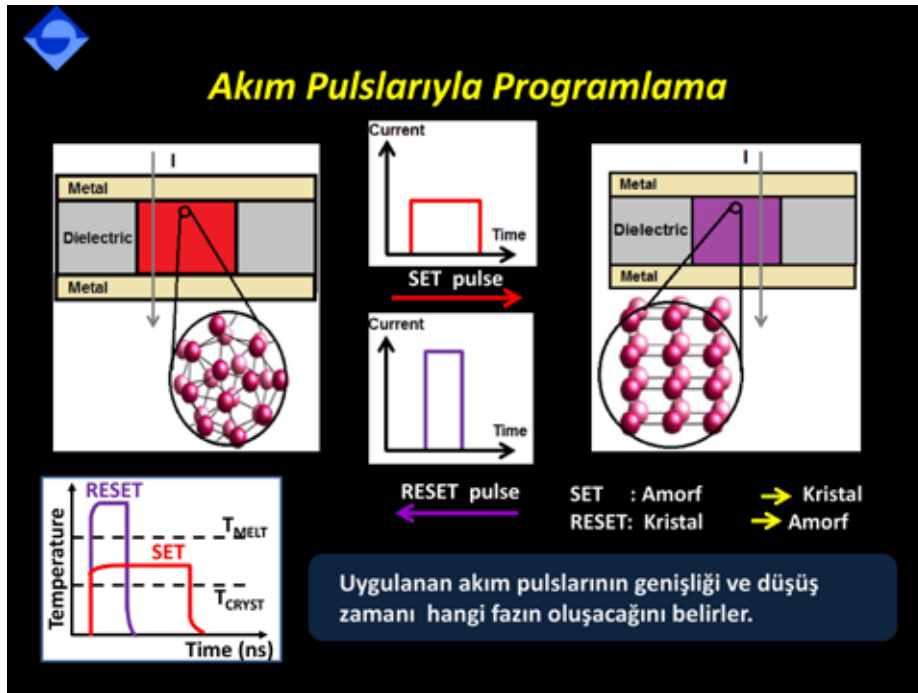
Bir başka teknoloji, optik veri depolama teknolojisi. Burada da veri yoğunluğunu artırmaya çalıştığımızda karşılaştığımız temel fiziksel limit, dalga boyu limitli çözünürlük. Bunu aşmak için birtakım trikler uygulanıyor; fakat eninde sonunda dalga boyu bize, örneğin nanometre seviyesine inmemizde engel teşkil ediyor.

Bu nedenle faz değişim belleği ilginç. Çünkü bu bahsettiğim özellikler nanometre seviyesinde var. Yani siz bunu ölçeklendirdiğiniz zaman hatta daha iyi çalışıyor, ne kadar küçükse o kadar iyi çalışıyor. O nedenle özellikle ilimizi çok çekiyor.

Başka ne özellikleri var? Bir kere, kararlı bir yapısı var. Çok önemli başka bir özellik, sinyal seviyeleri, 100 ohm, 1000 ohm seviyesinden, mega ohm seviyesinden bahsediyorsak, eğer siz bir şekilde farklı direnç seviyelerine stabilize edebilirsiniz, tek hücrede çok veri depolama imkânınız oluyor. Yani 1 bitte normalde bir 0 ile 1 depolayabilirken, bir anda 0001, 1011 de depolayabilir oluyorsunuz. Bu çok önemli bir avantaj.

Tabii ki yüksek sinyal gürültü oranı, aynı zamanda okuma mekanizması ve yazma mekanizması açısından, elektronik tasarım açısından da oldukça büyük bir avantaj sağlıyor.

Tabii, bu bahsettiğim enteresan özellikler aslında 1960 yılında Stanford Ovshinsky tarafından ilk önce keşfediliyor. Hatta Ovshinsky bunun bir bellek hücresi olarak kullanılabileceğini de söylüyor; ama uzunca bir süre bu dikkate alınmıyor, söylediğim sebeplerden dolayı. Ancak 2000'li yıllarda değişik firmaların yaptığı araştırmalarla giderek bu konuda bir ivmelenme var. Örneğin, Samsung, IBM, Western Digital, Intel; bunlar çok yoğun bir şekilde bu konuda çalışıyorlar. Özellikle 2008 yılında Intel ve eski Microelectronics'in 4 seviyeli PCM hücresi, yani faz değişim belleği hücresi göstermesiyle ilgi çok fazla artmış durumda.



Şimdi, burada tam olarak ne oluyor bir bakalım.

Bu faz değişim alaşımı dediğimiz alaşım, iki metal elektrot arasında ve dielektrikle birbirinden ayrılmış hücreler şeklinde. Biz bunların üzerine bir elektrik sinyali gönderiyoruz, akım darbesi gönderiyoruz. Eğer gönderdiğimiz akım bölgesel ısınmayı kristallenme sıcaklığının üzerine çıkartırsa,

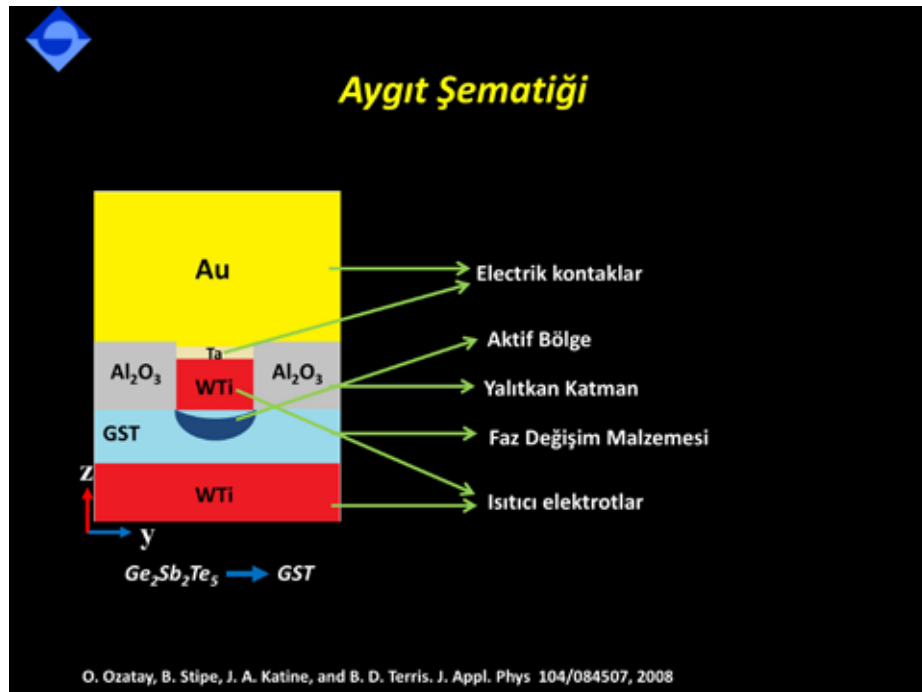
kristallenmesini sağlıyoruz. Eğer akımımızın genliği çok daha yüksekse ve genişliği çok daha düşükse, kısa süreli olarak malzemeyi eriterek, çok keskin bir ucu olan darbeye aniden donduruyoruz. Bu şekilde kristalden amorf yapıya geçmiş oluyoruz. Tabii, burada özellikle bahsetmemiz lazım gelir; bu kristal ve amorf yapıların çok farklı direnç seviyeleri var. Bu bizim için çok büyük bir avantaj.

Şimdi, az önce bahsettiğim probleme tekrar değinmek istiyorum. Diyelim ki malzemenin üzerinden akım darbesiyle bunu amorf hale getirdiniz. Amorf halinde megaohm seviyelerinden bahsediyoruz. Megaohm seviyesindeki bir şeyi tekrar akım uygulayarak ısıtmak hiç kolay değil. Akım geçmiyor çünkü üzerinden. Enteresan bir özelliği var bu malzemelerin; ovonik eşik anahtarlama dediğimiz, belirli bir voltajın üstüne çıktığınızda, malzeme amorf olduğu halde elektrik üretmeye başlıyor. Bunun mekanizması çok çalışılıyor, çok tartışılıyor. Basitçe anlatmak gerekirse, şöyle söyleyeyim: Bunun içinde çok fazla miktarda yük tuzakları var, kristal kusurları var. Siz belli bir eşik üzerine geçtiğiniz zaman bu yük tuzakları içerisindeki elektron atlamalarını hızlandırıyorsunuz. Dolayısıyla, kristal yapısını değiştirmeden elektron iletimine başlamış oluyorsunuz. Bu olduktan sonra, eğer ben hemen geri dönersem, hâlâ amorf yapıda olduğunu görüyorum. Ama bir miktar akım geçmesine izin verirsem, bu sefer ovonik memory switching dediğimiz hafıza işlemi gerçekleşiyor, kristallenmeye başlıyor ve geri döndüğümde lineer bir ID karakteristiği görüyorum.

Bizim burada çalıştığımız aygıtların şematiğine bakalım;

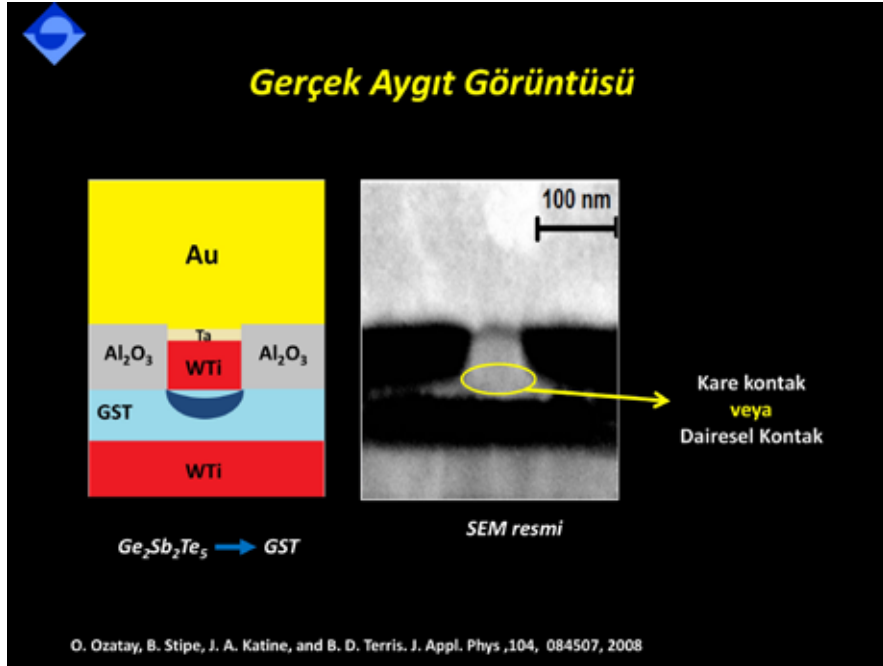
Kullandığımız, faz değişim alaşımı dediğim malzeme, germanyum antimoni telluryum. 2-2-5. Bu, en popüler malzeme. Ve burada bahsettiğimiz faz değişiklikleri bir aktif bölgede gerçekleşiyor. Bu, dong shapes dediğimiz bir bölgede gerçekleşiyor aslında. Simülasyonlardan bunu anlıyoruz.

Faz değişim malzemesinin dışında, burada özellikle dikkat edilmesi gereken, ısıtıcı elektrotların hangi malzeme olacağı. Çünkü lokal ısıtmasını hem çok iyi bir şekilde sağlamalıyız, hem de ısıtmanın daha sonra, soğutma anında ani soğutmayı sağlayabilecek şekilde yayılması gerekiyor, çok iyi elektrik kontaktları alınması gerekiyor ve farklı hücrelerin birbirinden yalıtılması gerekiyor tabii ki.



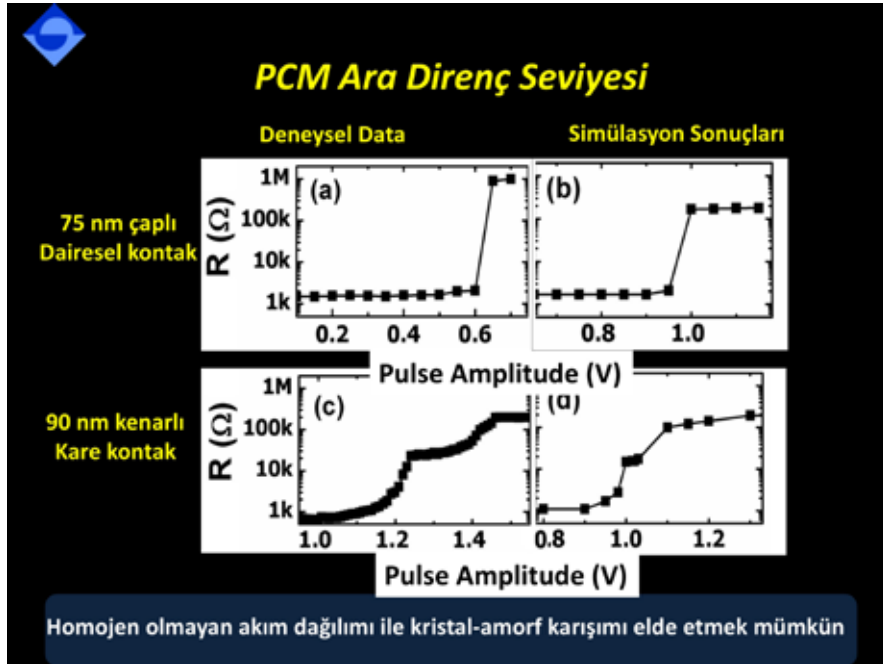
Burada, yaptığımız bir faz değişim belleğinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsünü görüyorsunuz. Burada özellikle dikkatinizi çekmem gereken husus şu: Bu kontak geometrisi, yani akımı enjekte ettiğimiz üstteki geometriyi biz burada değiştiriyoruz. Dairesel de olabilir, kare şeklinde de olabilir. Burada amacımız, farklı şekillerde akım dağılımını sağlamak, yani homojen veya heterojen şekillerde; bu şekilde acaba farklı direnç seviyelerini stabilize edebilir miyiz, bunu incelemek.

75 nanometre çaplı dairesel kontağa sahip bir aygıtta baktığımızda, buradaki uyguladığımız voltajın genliğini sürekli artırarak -bunlar aşağı yukarı 100 nanosaniye genişliğinde voltaj darbeleri- belli bir değerin üstüne çıktığımızda, 1 kilo ohmden 1 mega ohma rahatlıkla çıkabildiğimizi görüyoruz. Ancak, aynı şeyi 90 nanometre kenarları olan bir kare kontaklı aygıtla yaptığımızda, bir ara direnç seviyesinin oldukça geniş bir programlama aralığında stabilize olabildiğini görüyoruz.



Burada sol tarafta gördüğünüz deneysel data, sağ tarafta gördüğümüz de sonlu eleman metoduyla yaptığımız simülasyonlardan çıkan sonuçlar.

Buradan anladığımız şu: Homojen olmayan bir akım dağılımı, kristal-amorf karışımı bir yapının stabilize olmasını ve dolayısıyla ara direnç seviyesi oluşturmasını destekliyor.

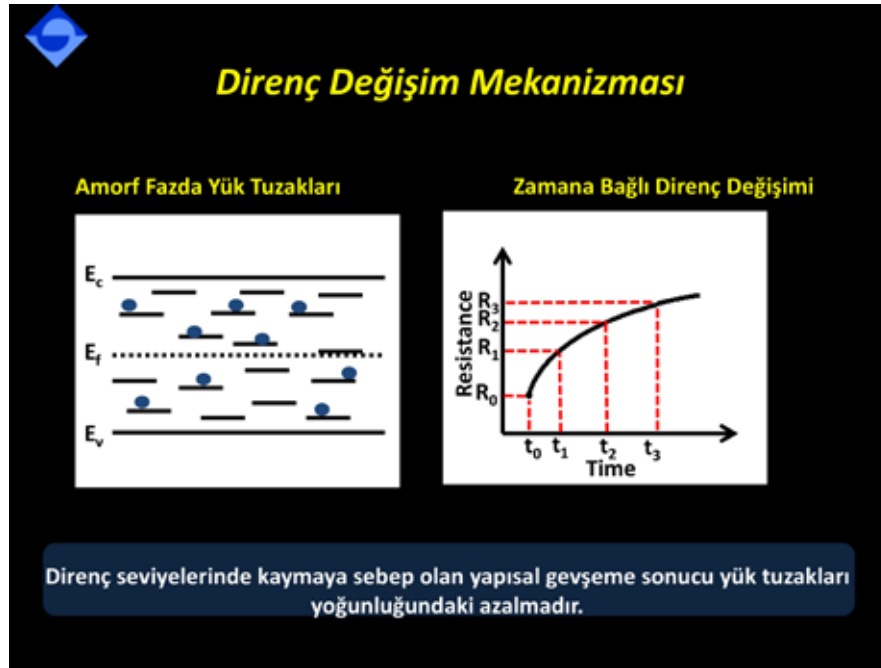


Bu, sonlu eleman metodu simülasyonlarında gördüğümüz kristal dağılımı. Kare kontaklı olan, üst tarafta gördüğünüz yapıda bu ara direnç seviyesindeki kristal dağılımını görüyorsunuz. Özellikle akımın yoğunlaştığı, yani keskin uçların olduğu bölgelerde kristal-amorf karışımının yoğun bir şekilde oluşturulabildiğini görüyoruz. Aşağıda gördüğünüz de zaten bir sonraki direnç seviyesi, amorf seviye.

Biz bu özelliği kullanarak, bu tip aygıtlarda farklı katmanlar yapıp, farklı geometrilere akım enjekte ederek, değişik ara direnç seviyelerini stabilize edebileceğimizi simülasyonlarda gördük. Bununla ilgili bir patent başvurumuz da şu anda var.

Fakat bunun dışında önemli bir problem var bu cihazlarda. Her şey çok güzel gözüküyor; ancak, bu çıktığınız yüksek direnç seviyesi zaman içerisinde artmaya başlıyor. Yani bir gün 1 megaohm ölçüyorsunuz, on gün sonra 1.1 megaohm olmuş. Bu kaymanın mekanizması nedir ve biz bunu nasıl önleyebiliriz, bununla ilgili bir çalışma başlatmak istedik.

Daha önce de bahsettiğim gibi, bu elektron taşınım, özellikle amorf fazda nasıl gerçekleşiyor? Burada çok yüksek miktarda yük tuzakları var. Yaklaşık yüzde 20 oranında defect'lerin olduğunu görüyoruz. Siz bunları, zamanla yük tuzaklarının sayısını azaltarak, aralarındaki geçişleri zorlaştırıyorsunuz. Yani bir şekilde zaman içerisinde yük tuzaklarının kaybolması sonucu meydana gelen dirençteki bir artış. Buna yapısal gevşeme mekanizması deniliyor.



kayma parametresini görüyorsunuz. Bu bir üstel fonksiyon, zamanın üst fonksiyonu olarak gösteriliyor. Oldukça küçük burada. Aynı şekilde, yüksek dirençli bölgeye baktığımızda, burada çok daha fazla, 0.1 seviyesinde bir kayma parametresi gözlemliyoruz. Fakat ara direnç seviyesi ile bunları kendi kare kontak cihazlarımızla karşılaştırdığımızda, ara direnç seviyesinin amorf faza göre zaman içerisinde çok daha az kaydığını, çok daha kararlı bir yapıya sahip olduğunu görüyoruz.

Dolayısıyla, burada bahsettiğimiz ara direnç seviyesi 100 kiloohm, düşük direnç seviyesi 430 ohm. Burada zaten yeterince büyük bir sinyal var. Bu, aynı zamanda bunun kararlı bir hafıza hücresi olarak kullanılabilmesi için bir seçenek. Yani siz yüksek direnç seviyesinde değil, ara direnç seviyesinde programlarsanız, çok daha stabil bir memory elde edebiliyorsunuz. Aynı zamanda bu kayma parametresinin sıcaklıkla değişimine baktığımızda, ara direnç seviyesindeki sıcaklık fonksiyonunun çok daha zayıf olduğunu görüyoruz. Yüksek direnç seviyesinde özellikle bir süre sonra kendiliğinden kristallenme başlıyor. Yüksek direnç seviyesinde böyle problemler olurken, ara direnç seviyesinde bu problemler çok daha ötelenmiş durumda.

Bu eşik öncesi akım voltaj karakteristiklerine Pool-Frankel, ısı destekli elektron atlama mekanizmasını uygulayarak, bu cihazlarla ilgili olarak birtakım bilgiler elde edebiliyoruz. Örneğin düşük ara direnç seviyesinde bu cihaza baktığımızda, 3.5 nanometre tuzaklar arası ortalama uzaklık hesaplanırken, yüksek direnç seviyesinde bu 5.5 nanometreye çıkmış. Bunlar hemen programlandıktan sonra ölçülen parametreler. Aynı şekilde, ikinci bir örnekte de aynı şeyi görüyoruz. Çok daha önemlisi, tabii ki buradaki kayma parametresinin çok farklı olduğunu gördüğümüz gibi, bu yük tuzaklarının yoğunluğunu hesaplayabiliyoruz. Yük tuzaklarının yoğunluğuna baktığımızda, ara direnç seviyesinde

çok daha fazla yük tuzağı olduğunu görüyoruz. Bunu nasıl açıklayacağız? Burada, simülasyonlarda gördüğümüz üzere, arayüz alanı çok daha artmış durumda, kristal ile amorf arasındaki arayüz alanı artmış durumda ve burada çok yüksek miktarda arayüz kusurlarının olduğunu düşünüyoruz ve bu arayüz kusurları yığın haldeki kusurlardan çok farklı davranıyorlar; zaman içerisinde bunlar yok olmuyorlar, yok olmadıkları için de çok daha az kayma parametresine yol açıyorlar.

Programladığımız direnç seviyelerinin sıcaklıkla değişimine baktığımızda, az önce bahsettiğim gibi, amorf seviyede ciddi miktarda düşüşler görüyoruz. Bunun bir kısmı yarı iletken olmasından kaynaklanıyor tabii, iletim bandında daha yüksek elektron konsantrasyonunu artırdığınız için, ama bir kısmı da kendiliğinden kristallenmeden kaynaklanıyor. Burada sıcaklıkla olan değişimlerin çok daha minimal olduğunu görüyoruz ara direnç seviyesinde. Bu da çok önemli bir avantaj.

Sonuç olarak; kontak geometrisi ve arayüz yapısına bağlı olarak çok direnç seviyeli bir PCM aygıtını göstermiş olduk. Burada yapısal gevşeme mekanizmasını kullanarak akım voltaj analizlerini, yani bu Pool-Frankel elektron atlama mekanizmasıyla arayüz tuzaklarının özellikle bu ara direnç seviyesinde çok daha yoğun olduğunu hesapladık. Bu ara direnç seviyelerinin daha kararlı olması ve sıcaklık değişimlerinin daha az olmasını, bu yük tuzaklarının davranışlarının yığın haldeki tuzakların davranışlarından farklı olmasına bağladık ve bu şekilde elde ettiğimiz veriler ışığında, çok seviyeli bir faz değişimli bellek aygıt tasarımını önermiş olduk.

Bitirirken, özellikle bu projeyi destekleyen Marie Curie Fonu, TÜBİTAK ve üniversitemin bilimsel araştırma projeleri birimine teşekkür etmek istiyorum. Aynı zamanda, diğer arkadaşların da bahsettiği gibi, burada bir araştırma ekibi var, onlara da teşekkür ediyorum. Doktora sonrası araştırmacımız Dr. Ayşe Gökçe Özbay projenin özellikle başındaydı; iki doktora öğrencimiz, Vedat Karakaş ve İbrahim Çınar yoğun bir şekilde çalıştılar. Aynı zamanda lisans öğrencilerimiz, hatta ziyaretçi lisans öğrencilerimizin bile katkısı oldu.

Çok teşekkürler.

Dr. Volkan Özgüz- Çok teşekkür ederiz hocam.

Şöyle yapalım: Ara var zaten, isterseniz Özhan hocamıza soruları arada sorabiliriz.

Bundan sonraki oturumumuz 15.30'da başlayacak, aynı salonda. Buraya kadar hep araştırma-geliştirme çalışmalarından bahsettik; bundan sonraki oturumda, uygulamaya dönük olan çalışmalarda neredeyiz ve nereye gitmek istiyoruz konusu bir tartışma ortamı olarak görülecek.

Teşekkürler.

TÜRKİYE’DE NANOTEKNOLOJİ: ELEKTRONİK VE OPTOELEKTRONİK UYGULAMALARI; GELECEK ADIMLAR VE BEKLENTİLER

Oturum Yöneticisi: Dr. Volkan Özgüz (Sabancı Üniversitesi)

Dr. Volkan Özgüz (Sabancı Üniversitesi)- Değerli katılımcılar; “Türkiye’de Nanoteknoloji” oturumumuza hepiniz hoş geldiniz.

Önceki oturumlarda uygulamalara da dönük çeşitli araştırma-geliştirme çalışmalarından örnekler gördük. Bazıları uygulamaya daha yakın, bazıları daha temel bilim, malzeme tarafına daha yakın.

Bu oturumda ise ileriye dönük olarak daha fazla uygulamaya yakın konuları bir sohbet ve tartışma şeklinde yürütmeyi planlıyoruz. Uygulamaya dönük, aslında gözümüzden kaçan, ama oldukça da önemli konular var şu anda Türkiye’de. Bu konuda belki ülkenin de önünü açacak. Bu konudaki en yetkin katılımcılar şu anda bu panelde yer alacaklar. Ben hepsini tek tek davet edeceğim. Katılımcılar size önce kısa bir sunum ve konuşma yapacaklar, arkasından da sizlerin sorularıyla Türkiye’de nanoteknolojinin elektronik uygulamalarının geleceğini konuşacağız. Ben herkese her şeyden önce geldikleri için teşekkür ederim.

Konuşmacılarımızı programdaki sırayla davet etmeye başlıyorum.

Bilkent Üniversitesinden Prof. Dr. Ekmel Özbay, Sabancı Üniversitesinden Prof. Dr. İsmet Kaya, Bilkent Üniversitesinden Prof. Dr. Atilla Aydın ve ASELSAN’dan Dr. Selçuk Özer.

İlk konuşmayı yapmak üzere Ekmel hocamı podyuma alayım. Buyurun hocam.

Prof. Dr. Ekmel Özbay (Bilkent Üniversitesi)- Öncelikle Volkan beye ve bizi buraya davet ettikleri için diğer organizatörlere teşekkür ediyorum.

Bugün, Bilkent ortamında yaptıklarımı, yapacaklarımı anlatacağım ama işte dünya küçük, Türkiye küçük; demin arkadaşlarla sohbet ediyorduk, aynı liseden mezun üç kişi aynı istasyondayız diyelim. Ben stajımı aslında TÜBİTAK’ta yaptım, şimdiki BİLGEM’de. Sene 1986. İlk kez görmüştüm “temiz odayı”, çok da etkilenmiştim. Sonra yurtdışından doktoradan döndükten sonra Atilla beyin kurduğu bir araştırma laboratuvarında bizzat hoca olarak görev aldık. İlk işleri orada yaptık ve daha sonra NANOTAM’ı kurup devamını da getirdik. Aslında, dediğim gibi, İsmet de liseden sınıf arkadaşım, bir dönem ODTÜ’de de beraberdik.

Evet, şimdi Bilkent NANOTAM’da yaptığımız şeyleri anlatacağım.

Temel araştırmalarla başladık. 20 yıllık bir süreç aslında. Bunlardan bazıları oldukça güzel bir noktaya geldi.

Bu işi esas yapan ben değilim artık; ben sadece orkestra şefi gibi koordine etmeye çalışıyorum. Esas işi yapan bu arkadaşlar, esas kahramanlar. Şu anda bünyemizde 65 kişi çalışıyor. Bunun 15 kişisi son 4 ay içerisinde bize katıldı. Bu 65 kişi kimlerden oluşuyor? 8 tane doktora araştırmacımız, 10 doktoralı ekibimiz var. 6 tane teknisyenimiz var. 43 tane mühendis var, esas gücümüz dediğim; bunların 14 tanesi şu an mastır öğrenciliğine devam ediyor, 13’ü yine doktora devam ediyor. Bir taraftan da hocayım aynı zamanda; Bilkent Üniversitesinde mastır ve doktorasına devam eden 6 tane öğrencim var.

Tabii ki öğrenciler bizim için önemli, sonuçta üniversiteyiz. Geçmişte çok iyi öğrencilerimiz oldu. Bunlardan bir tanesini bugün dinledik. Bunlar değişik sayıda yayınlar yaptılar ve bir anlamda bir kısmı yurtdışında kaldı ama epey bir kısmı Türkiye'ye dönmüş durumda. Onlarla da bu işi yapıyoruz. Böyle iyi öğrencimiz olduğu zaman çok da yayın yapabildik. Son zamanlarda 30 civarı yayın yapıyoruz senede, 375'e vardı.

Bunu niye anlatıyorum? İyi bilim yaptığımızı göstermek için. Ama bu bilimi de teknolojiye dönüştürdüğümüzü, ürünlere dönüştürdüğümüzü de söylemek istiyorum.

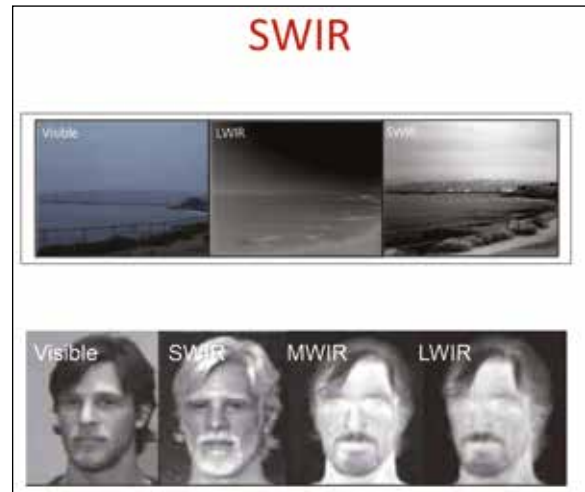
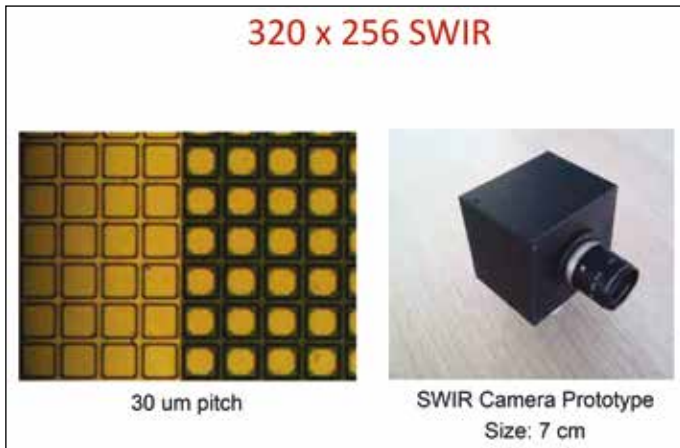
Yine Science dergisinde yaptığımız bir yayın, 10 seneye yaklaşıyor aslında. Bu, şimdiye kadar Türkiye Cumhuriyeti tarihinde en çok atıf alan yayın durumunda. 2300'ü geçmiş durumda ve almaya devam ediyor. Patentlerimiz de var süreçte, epey bir patentimiz de oldu, 25 tane. Nerede yapıyoruz? İki tane binamız var, birinci binaya bir süre sonra sığmadık, ikinci binaya geçtik. Değişik altyapı oluşturmuş durumdayız teknoloji açısından mikro-nano fabrikasyon anlamında. İki tane çok düşük şeyleri ölçebilecek ekipmanlar var. 100 GHz, THz sistemlerimiz var ölçüm anlamında. Yaptığımızı sadece çip seviyesinde tutmuyoruz, paketliyoruz ve yaptıklarımıza güveniyoruz. Aynı zamanda ürün testleri de yapıyoruz.

Bunları nasıl bu noktaya getirdik; projelerle. Aslında Bilkent Üniversitesi direkt destek vermedi, sadece binayı, yaptığımız yeri yaptı, binayı da biz kendi ekibimize yaptırarak. Çeşitli projeler kapsamında bu noktaya geldik. Tabii ki, özellikle devletin desteği, TÜBİTAK desteği, Savunma Sanayi Müsteşarlığı olsun. Yurtdışından da çok sayıda projemiz oldu Avrupa Birliğinden.

Bu projelerden tipik örnekleri göstereceğim.

İlki bir SAN-TEZ projesi, Arçelik'le yaptık. Amacımız elektronik burun geliştirmek, buzdolabı için; ama çok daha ucuza mal etmek ve sadece tek bir şeye değil. Et, beyaz et, balık ve süt ürünleri dört farklı gruba sesleniyor. Bunun için entegre ısıtıcılı metal oksit gaz sensörü geliştirdik. Yani sıcaklıkla direncin değişmesi sayesinde gazın ne olduğunu anlayabiliyoruz.

Bu, sensör tasarımıyla bazı örnekler, nasıl çalıştığını gösteriyor. Direncin sıcaklıkla değişimi sayesinde, hangi gazın hangi sıcaklıkta çıktığını bir anlamda cover edebiliyorsunuz. Buradan da kokuyu algılayabiliyorsunuz. Bunun aslında ikinci fazına giriyoruz şu an. Arçelik oldukça hevesli ve istekli bunun hemen hemen tüm şeylerine koymak istiyor.



Bir başka projemiz SWIR kamera etrafında. SWIR'in özelliği, özellikle bulutun ötesini görebiliyor. Yani görünürde yapamadığınız anlamında. Burada da güzel bir noktaya geldik. Kamera prototipini görüyorsunuz, yine aldığımız net 1.3 megapixel görüntüler. Bu proje de şu an devam ediyor.

Bir başka şey, LGB Sistemleri için optik sensörler. Burada amaç 4 dilimli Si PIN foto detektörler geliştirmekti. Bu prosesi geliştirdik, bunları paketledik, aslında tüm testlerini yaptık. Bunu şunun için gösteriyorum: Çevre testlerinin hepsini yaptık. Bakarsanız; sıcaklık şoku, operasyonel titreşim,

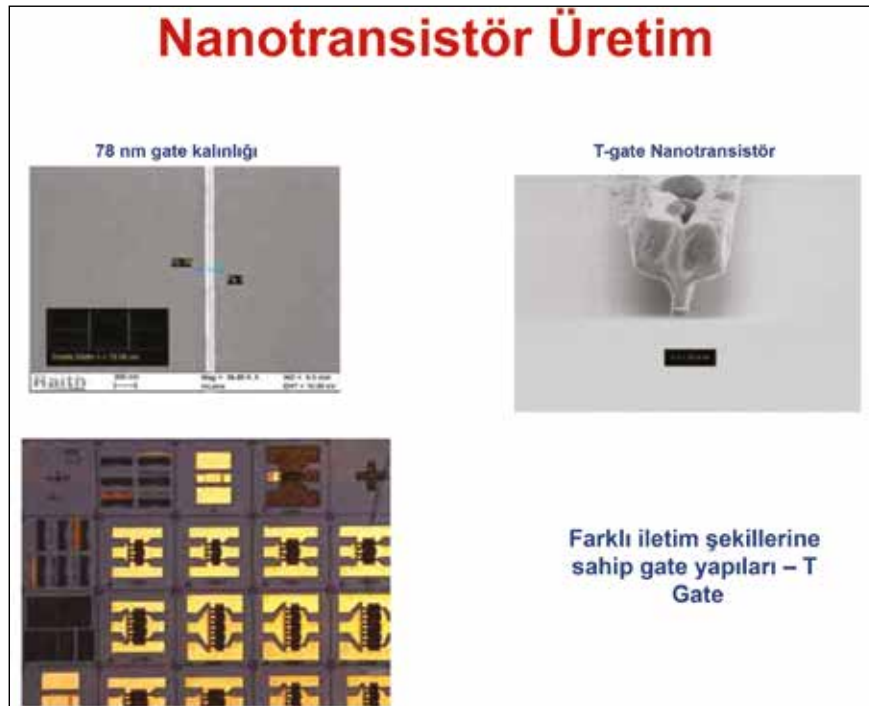
operasyon olmayan titreşim, titreşim şoku, yüksek basınç, bakım testi, basınç şoku, hermatikal testi, aslında toz testi ve nem testini de yaptık. Bu bir ürün oldu. Her ürüne bir de yapılan testin, 'kafa kâğıdı' dediğimiz şeyi yapıp bunu şu an siparişe, kullanıcıya teslim ediyoruz. Performans olarak da dünyada bulunanlardan daha iyi bir noktaya geldik. Fiyat açısından da daha iyi bir noktadayız.

Yine bir 1007 projesi (Kamu Kurumları Ar-Ge projelerini destekleme programı) ; TÜBİTAK tarafından desteklenen, MSB ile. Burada amacımız, THz teknolojisini kullanarak özellikle patlayıcıyı tespit etmektir. Elbise altını görüntülemek, görüntüleme kısmını TÜBİTAK MAM yapıyor, biz spektroskopi kısmını yaptık. Buradaki bilimsel katkımız nanoteknoloji olarak; bir optik nanoanten dizini kullanarak THz antenin performansını çok üstün hale getirebildik.

Ayrıca bir THz sistemini kendimiz tasarladık. Bunun mekanik tasarımı bize ait, her şeyi bize ait. Elektronik kartlar da bize ait. Bunu kullanarak ölçmeler yaptık. Bunlar temel şeyler, yine de yüzde 100 çalışan bir tanıma ya da tespit sistemi oluşturduk. Bunun da yazılımını kendimiz geliştirdik.

Esas anlatacağım bu galyum nitrat konusu olacak. Şu an en ağırlıklı konumuz. Neden galyum nitrat? Çünkü bu malzeme diğer bildiğiniz geleneksel yarı iletkenlere göre belli şeylerde üstün. Her şeyin çözümü değil; ama özellikle yüksek güç, güvenilirlik ve yüksek ömür, yüksek radyasyon yani uzayda kullanım, birim alanda çok daha güç yoğunluğu; bu gazlar için çok önemli. Yeni bir elektronik malzeme. Nobel Fizik Ödülünü almıştı 2014 de. Bu malzemenin -aslında şu an sabah dinlediğiniz AVD teknolojisi de mümkün olmuş durumda- nerede kullanılması bekleniyor, yani niye insanlar heyecanlı? Yüksek güç elektroniği, havacılık ve uzay sanayii, iletişim sektörü ve fotonik teknolojisinde galyum nitratın yerini almış durumda, AVD'de özellikle ve diğerinde de gitgide artan bir şeyi var.

Biz bu noktaya nasıl geldik? Aslında bir anda gelmedik. 10 yıldır çalışıyoruz, MOCVD'yi 2004 yılında tebliğ etmiştik. Bu sürede 3.100 tane büyütme yaptık. Teknolojimizi çok genişlettik, çok sayıda, yüzlerce diyebileceğimiz makale ve onlarca patent çıkarttık. Bunun etrafında gerekli teknolojiyi geliştirdik. Bu nanolitografi sistemi, bununla transistör teknolojisini geliştirdik. Geliştirdiğimiz T-gate teknolojisinden bazı örnekler.



Bunu aslında şimdi en iyi çözümü aldığımız Gamma-gate'e dönüştürmüş durumdayız. Aslında bir üretim ve ölçüm iş akışı oluşturduk. Malzemeden başlayan Monolitik Mikrodalga Entegre Devre ile devam eden MMIC tasarımıyla bu süreci tamamladığımız ve en sonunda ürün çıkarttığımız bir şey. Bunun her adımında üç-dört kişi çalışıyor. Şu an 20 kişilik bir ekipten bahsediyoruz.

Bazı örnek projelerden bahsedeceğim; TÜBİTAK 1007 UYAK Projesi. Bu büyük ve kapsamlı bir projeydi; bizi bu noktaya getiren projelerden birisi şeklinde. “Şu an neredeyiz?” dersiniz; 130 GHz’lik performansa eriştik, daha da artırabiliriz istersek, ama projenin isteği o şekildeydi 100 GHz’lik bir LNA yaptık. 15 watt çıkış gücü elde edebiliyoruz değişik frekanslarda. Hedefimiz aslında 100 watt’a varmak.

Şimdi neredeyiz, galyum nitrat nerede, biz neredeyiz? Aslında şans eseri, biraz da -zamanında başlamamızdan dolayı, 10 yıldır çalışıyoruz- şu anda dünyayı yakalamış durumdayız, yani teknoloji olarak herhangi bir eksikliğimiz yok.

Galyum nitrat pazarı bir yandan patlama durumunda. Bu önümüzdeki yıllardaki pazarın değişimini gösteriyor. Hem ışıklandırmada -şu an zaten çok kullanılıyor- RF ve uydulara, güç elektroniğinde ve diğer şeylerde çok ciddi bir artış olacak ileride. Yine 10 milyar, 15 milyar dolarlık bir pazardan bahsediyoruz. Biz burada -her zamanki soru- üretici mi, tüketici mi olacağız? Aslında bu pazarın bir parçası da biziz.

Yine şans, doğru yerde doğru zamanda olmak da diyebilirsiniz, ama planlanmayı da iyi yaptığımız için, Türkiye’nin şu an devam eden çok büyük kapsamlı projeleri var. Bunlardan bazılarında bahsedeceğim; KARASOJ, HAVASOJ bunlar stand off jammer projeleri. Bunun yanında bir tane de “ÇAFRAD” dediğimiz Deniz Kuvvetlerinin Savunma Kalkanı var. Sırf bu projelerdeki galyum nitrat ihtiyacı 200 milyon dolar. Şöyle bir hesaplama yaptık: “Biz bunun yarısını karşılasak bunu üretim tesisine döndürebilir miyiz?” diye fizibilite çalışması yaptık. Bunun olduğunu görünce bir şirket kuruldu, Savunma Sanayi Müsteşarlığının gözetimi altında diyeyim. Çünkü 10 yıllık bir projemizi onlar destekliyor. ASELSAN ve BİLKENT bir ortak şirket kurdu. Bu tamamen tüzel bir şirket, hiçbir -ben dahil- kişinin kişisel bir ortaklığı yok. Yüzde 50, yüzde 50 üniversite ve sanayi arasında. Bu ticaret sicil gazetesindeki kaydımız; ASELSAN-BİLKENT Mikro/Nano Teknoloji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi. Ben de bu şirketin genel müdürü olarak göreve atandım yöneticiler tarafından. Aslında ilk kez patron nedir öğrendim. Çünkü üniversitede hoca olmak meğerse çok kolaymış ya da merkez başkanı olmak. Ama başkasının parasıyla iş yapmak gerçekten daha farklı bir şey.

Şimdi ne yapıyoruz? Bir toplam yatırımımız var; 30 milyon dolarlık bir yatırım. Bunun 6 milyon doları öz sermaye ASELSAN-BİLKENT veriyor, 24 milyon doları borç, yani yatırım sermayesi. Ben de -esprî olarak söylüyorum- Türkiye’nin en çok borçlu profesörüym ş u anda; 24 milyon dolarla. Ciddi bir yükümlülük bir açıdan. Ama en azından kâğıt üzerinde artık 6-7 sene sonra kâra geçeriz. Bu fizibilite analizimiz. Bu bahsettiğim projelerdeki çip ihtiyacı etrafında gelir-gider analizi yaptığımız zaman, yani bir tüm binayı koyuyorsunuz -bunları da sonradan öğrendik bu süreçte- giderlerini tahmin ediyorsunuz. Gelir-gider şeyinde şu an -burada tam gözüküyor ama- yatırımın yedinci senesinde tüm borcumuzu ödüyoruz ve fabrikanın giderlerini de karşılıyoruz. Yani full kâra geçiyoruz. Yani borcumuzu ödüyoruz, yatırımı da karşılıyoruz. O anlamda şu an oldukça iyi bir yatırım gözüküyor.

Bu yatırımda ne yapacağız? Aslında bildiğimiz şeyleri tekrarlayacağız ama çoklayarak. Yüz kat daha hızlı, yüz kat daha hızlı büyüyeceğiz, yüz kat daha hızlı üreteceğiz, yüz kat daha hızlı ölçeceğiz. MOCVD’miz olacak yüksek kapasiteli, yine yüksek kapasiteli bir aygıt üretim şeyimiz olacak microNano fabrikasyon. Bunların hepsi RF frekanslarında, bahsettiğimin çoğu X band ya da S bandda olacak. Bunları da test edip modelleyeceğiz, her birini teker teker ölçeceğiz. Bu bizim yatırım planımızda ciddi bir personel analizi yaptık. Gördüğünüz gibi her şeyi zamanında yapmıyoruz. Çünkü borç aldığımız için erkenden bir şeyi satın almak ve kullanmamak bir anlamda cepten para yemek anlamına geliyor. O yüzden hem personeli hem de ekipmanları en optimum şekilde almaya çalıştık. Personel ihtiyacımız 36 olacak; birtakım idari personel, MOCVD. Burada teknisyen ağırlıklı çalışacağız cost-effective olmak açısından. Geçen senenin sonunda temelimizi atmıştık, bazılarınız gelmişti. Hızlı bir şekilde binayı tamamladık. Binanın içindeki temiz oda çalışması devam ediyor. Bir ay içinde temiz odanın da bitmesini bekliyoruz. MOCVD’miz arkasından gelmiş olacak. Planımızda, tüm ekipmanların gelmesiyle Temmuz ayı itibarıyla en azından ön üretime geçmeyi hedefliyoruz.

Bu teknoloji başka nerede kullanılacak? Güç elektroniği, elektrikli arabalar, iletişim uyduları şeklinde. Genelde GaN'ın dünya pazarına göre nerede olduğuna bakarsanız -sabah da konuşmada vardı- dünya yarı iletken pazarı şu an 300 milyar dolar mertebesinde. Bunun on yıl içerisinde üç katı artması bekleniyor. Bunun da 35 milyardan, 74 milyara çıkması bekleniyor. GaN fotonik kısmı belli bir pazara şu an sahip, bunun da yine üç kata çıkması bekleniyor. Fakat GaN temelli güç elektroniği GaN power semiconductor'a bakarsanız oradaki artış 100-150 kat mertebesinde. Yani büyüyen bir pazar, şimdi zamanında bu işe girersek - ki artık yatırım da yapmış durumdayız- Türkiye artık bir anlamda tüketici değil, üretici olacak bu teknolojiye.

Türkiye ekonomisine ne değer katacağız şeklinde bakarsanız; Türkiye sonuçta uzun süredir tarımla ekonomisini götüren bir ülkeydi. Patatesi örnek alırsanız ki, o yaklaşık 1 dolar. Tabii, burada insan, işgücü önemli. Yurtdışından ne kadar malzeme geliyor, bu önemli. Katma değerün üretim şeyinde patatesten bu iş yüzde 200. Çünkü tohumdu, mazottu, hep yurtdışından geliyor. Otomobilde durum daha kötü; en iyi durumda bile katma değer yüzde 50'yi geçmiyor, çünkü hemen her şeyi, işçilik dışında dışarıdan geliyor. Oysa bizim üzerinde çalıştığımız ve diğer şeylerin de çalıştığı -sabah konuşan arkadaşlar da bu şeyi getirmişler- Mikro-nanoteknolojiye bir çipin bir kilosu diyeyim 10 milyon dolar. Biz bu 10 milyon dolarlık çipi üretmek için 1 milyon dolarlık malzemeyi getiriyoruz yurtdışından. Yani katma değerimiz yüzde 1.000 mertebesinde. Katma değeri yüksek bir teknolojiye bahsediyoruz ve Türkiye bu tür teknolojilerle inşallah bu 'orta gelir' dediğimiz 10 bin dolar sınırını aşacak.

Toparlarsak; NANOTAM'da hem oldukça kapsamlı temel bilim araştırmaları yaptık, yapmaya devam ediyoruz. Yayınlarımız devam ediyor. Bunlardan da uygun gördüklerimizi ya da fizibl olanları ürün noktasına getirebildik.

Teşekkür ediyorum.

Dr. Volkan Özgüz- Soruları daha sonra alacağımız için, ben şimdi İsmet Kaya'yı davet edeyim.

Prof. Dr. İsmet Kaya (Sabancı Üniversitesi)- Merhabalar, hepiniz hoş geldiniz.

Ben de tekrar Volkan hocama teşekkür ederim bu daveti için.

Ekmel bahsetti, biz dönem arkadaşıyız. İlginç bir şeye de dikkat ettim; burada elektrik mühendisliği okuyup, sonra fizik yapmış insanlar var epey sayıda. O da çok ilginç bir şey, ben onlardan birisiyim. Selim öyle, Ekmel'in de fizikle bir dönem yakın ilgisi olduğunu biliyorum.

Ben size burada OLED (Organik LED) ekranlardan bahsedeceğim. Grafen tabanlı OLED ekranlar. Ekmel, tabii, bu işi, yaptığı işi çok ileri düzeyde yapıyor, artık şirket kurdu falan. Biz daha ilk fazlarındayız. OLED, benim için yeni bir konu. Grafen göreceğim bir konu. Ben aslında temel fizik problemleriyle uğraşıyorum. Grafen malzemesiyle çalışmaya başladım, sonra bunun uygulamasına bakalım derken OLED ekranlarının içinde buldum kendimi ve üç senedir bu işle uğraşıyorum. Çok heyecan verici buluyorum ve güzel işler de yapıyoruz ama henüz ilk aşamalarındayız.

Sizlere OLED ekranlardan genel olarak bahsedeceğim. Konuşmayı 10-15 dakikada bitirmeye çalışacağım. Biraz çok slayt var, ama... Bunların çalışma prensibi, grafen'in bu işin içindeki yeri ve yapmakta olduğumuz bir proje, elmas projesi, grafen tabanlı OLED ekran geliştirme projesinden bahsedeceğim.

OLED ekranlar hayatımıza hızla giriyor. Yani sırf kristal ekranlar çok daha yaygın; ama televizyondan tutun, özellikle küçük mobil cihazlarda OLED ekranları da yaygın olarak görüyoruz. Çok önemli potansiyeli var; özellikle mikro ekranlar, saydam ekranlar, esnek ekranlar. Televizyonda işi biraz zor, çünkü LCD çok yerleşmiş durumda ve aşağı yukarı başat oldu ekran teknolojisi o alanda. Ama orada da fiyatı biraz yüksek, ama giderek pazarın içine nüfuz ediyor. İlginç uygulamaları oluyor. Mesela bu benim hoşuma giden bir şey: Samsung o kadar çok ekran yapıyor ki, artık evlere sattığı yetmiyor,

kamyonların arkasına da ekran koymak istiyorlar. Böylece sollama olayına yeni bir boyut getirmek istiyorlar.

Neden OLED ekranlar? En önemli özelliği bence OLED'in, katman yapısından dolayı sıvı kristallere göre esneklik kazandırılabilmesi. Geniş görüş açısı, çok -gerçek derin siyah görebiliyorsunuz- çok hızlı, LCD'ye göre bin kat daha hızlı, hemen tepki verebiliyor, akıcı görüntü alabiliyorsunuz, renk komutu çok daha geniş, daha ince, güç tüketim olarak avantajı var ve çalışma sıcaklıkları olayı çok daha iyi. Ama bir fiyat dezavantajı var şu anda. O aşılımaya çalışılıyor uzun süreçte LCD'yi yakalaması, geçmesi bekleniyor.

Önemli bir şey de bizim burada ilgilendiğimiz alanlardan birisi; esnek ekranlar. Esnek ekranları bükülmüş ekranlar, bükülebilir ekranlar ya da katlanabilir, yuvarlanabilir ekranlar diye ayırıyoruz. Burada flexible katman yapısı içinde OLED tamam esnek olabiliyor, ama bunu tamamen esnek hale getirebilmek için bütün katmanları esnek yapmak gerekiyor. Burada bir süre hepsinin kendine has problemi var. Bizim ilgilendiğimiz şey; flexible, iletken. "Transparent conductive electrode" dediğimiz grafen de burada işin içine giriyor. Bu esnek ekranların en önemli uygulamalarından birisi giyilebilir teknolojiler. Böyle eski fütüristik şeyler var, ama günümüzde artık bunlar gerçek olmaya başladı. Giyilebilir ekranları artık görüyoruz.



Bu bir haber, dün gazetede gördüm, o yüzden koymak istedim. Trafik denetim sisteminde kullanılacak bu mikro ekranlar görüyorsunuz burada. Göze takılıyor ve trafik denetiminde kullanılmak üzere devreye alınmış. Bu esnek ekranların ve mikro ekranların giyilebilir elektronikte çok yaygın yeri olacağı bekleniyor. Önümüzdeki 10-20 yıl içinde bu giyinilebilir elektroniği yaygın olarak bir sürü üründe göreceğiz. Bunun için de kritik ekran teknolojisi açısından kritik şeyler, mikro ekranlar ve esnek ekranlar gibi duruyor. Bu esnek ekranları yapabilmek için de OLED'e başvurmamız gerekiyor gibi.

OLED ile LCD'nin arasında en önemli fark, katman yapısı. LCD hakikaten çok fazla katmandan oluşuyor, Tft polarizörler -OLED'de de var- sıvı kristal katmanları vesaire. OLED ona göre çok daha basit bir katman yapısına sahip, o yüzden daha ince ve muhtemelen ileride daha ucuza gerçekleştirilebilecek. Çalışma yapısını belki biliyorsunuz. Aktif bir malzeme var burada. Önünde arkasında elektrotlar var; alttaki yansıtıcıdan doğru çıkan ışık ön taraftan çıkıyor. İki tarafa da geçirgen koyup, transparan, ışığı geçiren göstergeler yapmak da mümkün. Burada grafen'in girdiği nokta bir anot katmanı olarak, biz onunla uğraşıyoruz şu anda yaptığımız işlerde. Bu katman sayıları giderek artıyor LED'lerde. Son yıllarda daha karmaşık, daha çok katman yapısı, daha yüksek verim, daha parlak ekranlar yapmak mümkün olmaya başladı.

Üretim bakımından da ikiye ayrılıyorlar. Bu renkli yapıları yan yana koymak, renk hücrelerini yan yana koymak ya da üst üste koyup, beyaz yapıp daha sonra filtrelemek şeklinde. İlginç bir şekilde şunun daha verimli olduğunu düşünüyoruz ama aslında uzun vadede LG daha başarılı. Nedeni de

bunun LG'ye göre üretim verimi biraz daha düşük. O yüzden şu anda bu yapıya göre LG biraz daha önde gidiyor. RGD White Teknolojisi biraz daha yaygın. Önden ya da arkadan ışık çıkartabilirsiniz, yansıtıcı tabakayı nereye koyduğunuza göre.

Yine ikiye ayrılan bir konu var: Küçük moleküllerle ya da polimerlerle ışık üretmek. Küçük moleküller, gördüğünüz gibi, organik moleküller, ama bunları buharlaştırabiliyorsunuz. O yüzden, fiziksel buharlaştırma yöntemiyle kaplama yapılıyor. Polimerleri ise çözeltiler içinde yapılabilir. Fakat şu anda bu daha ucuz gözükse de, verimlilik açısından henüz iyi bir yere gelmiş değil. Bu teknoloji ağırlık kazandı. Organik kaplamayla bu küçük molekülleri buharlaştırıp hücreleri oluşturabiliyorsunuz. Bu aşağı yukarı şu anda oturmuş bir teknoloji OLED yapımında.

Bir önemli konu: Bunları bir de kapsüle etmek gerekiyor. Bir cam ya da esnek bir şeyle kapatmak, içinde inert gazı hapsedmek, böylece ömrünü uzatmak için. Çünkü organik moleküller su ve oksijene karşı dayanıksızlar.

OLED ekran yapılarında da ikiye ayrılıyor. Bunları pasif-matris ya da aktif-matris yapılarıyla yapabiliyorsunuz. LCD kristalleri genelde arka planda bir tft, ince film transistör içeriyorlar. OLED'de de aynı şey var, bir arka plan koyabiliyorsunuz -ince film arka plan- ve hücreleri bununla sürebiliyorsunuz. Ama daha basit bir yapı, pasif-matris; az sonra bahsedeceğim. Bunlar daha yavaş, daha düşük parlaklık veriyor, ama daha düşük üretim maliyetli ekranlar. Biz şu anda bunlarla uğraşıyoruz. Pasif-matris gayet basit bir bottom emission yapısında. Camın üzerinde anot, ışığı geçiren iletken parmaklar var, bunun üzerine organik katmanlarınızı koyuyorsunuz, ona dik boyutlarda metal katotlarınızı yerleştiriyorsunuz, bunların kesiştiği noktada ışımaya yapıyor. Her ikisine, bir katot ve bir anota voltaj uyguladığınız zaman, onların kesiştiği noktadaki organik katmanlardan ışık çıkıyor, böylece bu ışığı aşağıya doğru alabiliyorsunuz. Bu görece basit, sürmesi basit bir yapı. Ama üretimi daha zor, AMOLED'den daha zor. AMOLED'de bir arka plan transistör yapısı gerekiyor ama burada bunu üretmek için biraz daha böyle alengirli birtakım üretim proseslerinden geçirmemiz gerekiyor. Daha sonra işte bunların bir sürücü devreleri var çip on flex, bunu buna birleştiriyorsunuz, burası aktif matris alanınız, sürücü devre, kontrol elektronığınız diye gidiyor.

Bunların, pasif-matris OLED ekranlarının uygulamaları daha çok böyle küçük ekranlarda. Fakat özellikle bu akıllı giyinilebilir ekranlarla bunların market payının giderek artması da bekleniyor. Burada dikkat çekmek istediğim konu bu anot yapısı. Şu anda ITO kullanılıyor bunda, yani indiyum kalay oksit. İndiyum kalay oksit -daha önceki konuşmada Emrah hoca da bahsetti- esnek olmayan bir malzeme. En büyük sorunu o. Fiyat problemleri de var ve proses sınırlamaları da var. O yüzden alternatif malzemeler aranıyor. Bu malzemelerin pazarı da gittikçe büyüdüğü için önemli bir konu bu. Bir sürü alternatif malzeme var. ITO burada merkezde dururken hem maliyet hem de iletkenlik açısından farklı bir şekilde dağılmış malzemeler var. Bizim uğraştığımız grafen malzemesi biraz burada yüksek maliyetli şu anda, ama iletkenlik olarak indiyum kalay oksidi yakalayabilecek potansiyeli var. Diğer alternatif malzemeler -bugün metal match'lerden bahsetti Emrah hoca- grafen de burada. Grafen'in dezavantajı maliyet ve şu anda henüz iyi bir dirençle sahip değil ama örneğin; esneklik, optik geçirgenlik, yansıtma gibi konularda büyük avantajları var, o yüzden ilgi çekiyor.

Biz de pasif-matris OLED ekran yapmak istiyoruz, yapıyoruz daha doğrusu; iki-üç senedir bu konu üzerinde çalışıyoruz. Savunma Sanayi Müsteşarlığı destekli ve ASELSAN destekli bir projemiz var. Projenin tamamı Sabancı Üniversitesinde SU-NUM merkezinde, Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştiriliyor. Amacımız AOLED ekran konusunda ulusal teknoloji birikimi oluşturmak. Ayrıca grafen'in OLED ekranlarda transparan elektrot olarak kullanım potansiyelini araştırmak. Hedefimiz: Geniş alanlı, düşük dirençli, yüksek optik geçirgenlikli, kararlı ve üretim süreçleriyle uyumlu grafen üretmek ve bu grafen'le OLED ekran üretmek.

Grafen'i duymuşsunuzdur; tek atom kalınlığında, kristal yapısında aslen yarı metal; o yüzden diğer malzemelerden biraz farklı, yarı iletken ya da iletken değil. Ama üstün özellikleri var; elektriksel etkenliği, yük hareketliliği vesaire. Özellikle mekanik özellikleri, esnekliğini de buradan alıyor. Çok potansiyel uygulaması var, bunlardan en önemlisi, geçirgenliği, esnekliği ve elektriksel etkenliği

nedeniyle ekranlar, özellikle esnek ekran uygulamalarında. Çok farklı yöntemlerle üretilebiliyor grafen ama bu büyük alanda üretmek için en önemli yöntemlerden birisi, bir metal substrade katalizör üzerinde termal ve kimyasal yöntemler kullanarak, yani CVD ile bunu büyütme. Bu, bizim bir katalizör üzerinde büyüttüğümüz bakır levhayı gösteriyor, bunun tamamı grafen kaplı. Yaklaşık A4 ya da biraz daha büyük boyutlarda grafen üretebiliyoruz. Aynı zamanda nikel üzerinde de büyütüyoruz bunu. Daha sonra bunu bir süreçle başka istediğimiz malzemenin üzerine aktarıyoruz.

Burada camın üzerine aktarılmış grafene değinmek istiyorum. Çok ince olmasına rağmen ışığı bir miktar kırdığı zaman, böyle uygun bir açıdan bakarsanız görebiliyorsunuz. Bu bir ya da iki katman kalınlığında bir grafen, yaklaşık 10 cm büyüklüğünde. Bu da esnek tel üzerine aktarılmış bir grafen'i gösteriyor. Bunlara mikroskobik üzerinde baktığınızda; tek katman ve çok katmanlı grafen yapıları görebilirsiniz. Biz bunların kalınlığını da bir miktar kontrol edebiliyoruz. Bu nikel üzerine büyüttüğümüz grafen, bu bayağı kalın büyütülebiliyor, bunun da kendine has avantajları var.

OLED aygıt üretimi üzerine çalışmaya başladık. Bu, yaptığımız ilk tür aygıtlardan birisi. İndiyum kalay oksit üzerinde denemelerimiz oldu. Çok parlak, yüzde 10 kuantum verimine ulaşan aygıtlar yapabiliyoruz burada, 55.000 bit parlaklığa kadar çıktık burada. Daha sonra bunları ekran modülü haline getirmek için pixel tanımlama tekniklerini geliştirdik. Burada 160x120, 200 dpi çözünürlükte bir ekranın elektro mikroskop görüntüsünü görüyorsunuz. Satır sütun denetleyiciler ve elektroniklerini bağladık. Bu 16x16 bir ekran, bu 160x120 ekranımızın görüntüleri. Bu 16x16 ekranın çalışır hali. Bu da 60x120'nin bütün piksellerinin yanmış hali. Birtakım kusurlar var, bunlar da research create bir ortamda yapıldığı için oluyor. Ama bunları sürmeyi başardık, bu Türkiye'nin sanırım ilk ekran modülü.

Çocuklar bu resimde en güzel olduğumu söyledi, o yüzden koydum kendi resmimi. Bu, mikro ekran boyutlarında, yaklaşık 1 inç boyutlarında bir ekran. Bunun 4 inçini de yapmak üzereyiz, ama indiyum kalay oksitle yaptık henüz, yani bu tamamen ekran teknolojisini öğrenme amaçlı geliştirdiğimiz bir şey.

Grafen tabanlı aygıt geliştirmeye başladık akabinde. Bu da grafen tabanlı bir OLED aygıtımız, küçük bir pikseli. Grafen ile bu işi yapmak çok zor, ekran yapmaya çalışan epey bir grup var biliyoruz. Samsung, 100 doktoralı bir grupla çalışıyor bu işin üzerine, ama henüz gösterilmiş bir grafen tabanlı OLED ekran yok. Aygıt var ama ekran yok.

Bu, bizim yaptığımız ekranın yakın çekim görüntüleri. Burada pikseller, bunu aydınlattığımız zaman gördüğünüz gibi şeylerden ışık çıkıyor. Bu grafen ekranımız da çalışıyor 160x120, ancak kusur oranımız yüksek. Yakından bakınca zaten bu kusurların sebeplerini de görebiliyorsunuz; grafenin içindeki yapısal bozukluklar var, bunların geliştirilmesi gerekiyor.

Bu da grafen ekranın tamamının çalıştırılmış hali. Gördüğünüz gibi, o ilk ekrana göre, indiyum kalay oksite göre çok sayıda kusur var. Böyle bölgesel hatalar var, şu anda bunun üzerinde çalışıyoruz. Hedefimiz, önümüzdeki yaklaşık bir sene içerisinde bu kusurları halledip, esnek bir grafen tabanlı ekran yapmak.

Ben burada bitirmek istiyorum. Bitirirken bu konuda, grafen konusunda ve OLED konusunda çalışan arkadaşlarımın ismini koyayım. Hepsine buradan teşekkür ediyorum. Ayrıca, sponsorlarımız ASELSAN, Savunma Sanayi Müsteşarlığı, TÜBİTAK, SU-NUM'a ve Sabancı Üniversitesine de burada teşekkür etmek istiyorum.

Dr. Volkan Özgüz- Teşekkürler.

Buyurun Atilla hocam.

Prof. Dr. Atilla Aydın (Bilkent Üniversitesi)- Önce Volkan beye teşekkür ediyorum bu nazik daveti için. Kendisi benimle görüştüğünde; bizim şu anda bir altı ay kadar önce başladığımız LED

projesi hakkında bir genel değerlendirme yapmamı istemişti. O çerçevede bir konuşma yapacağım.

Ben, diğer arkadaşlarım gibi, Ekmel bey gibi veya İsmet bey gibi profesyonel elektrik mühendisi değilim, doğma büyüme fizikçiyim. Dolayısıyla, bakış açım da birazcık farklı olabilir.

Bundan yaklaşık altı ay önce TÜBİTAK'ın desteklediği bir LED çip prototip geliştirme projesine başladık. Kısaca bu konuda bir şeyler söylemeye çalışacağım. Bu arada da dünya çapındaki gelişmeler, özellikle ekonomik gelişmeler konusunda yakın zamanda okuduklarımı özetlemeye çalışacağım.

Bu araştırma faaliyetleri Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümünün İleri Araştırma Laboratuvarları çerçevesi içinde yürütülüyor. Araştırma olanaklarımız 1992'den beri süren temiz oda ve o çerçevedeki mikroelettronik üretim tesisinin içerisinde yürüyor. Bugüne kadar çok değişik konularda ben ve arkadaşlarım tarafından araştırmalar yürütüldü. Bunlar arasında tümleşik optik aygıtları, tip-2 infrared foto detektörleri, şu sıralarda yürütmekte olduğumuz 'Kuantum Çağlayan Lazer Projesi', güneş pilleri için geliştirdiğimiz silikon germanyum kristalleri, Coşkun beyin yürüttüğü karbon nanotüpler ve grafen projeleri, Ömer İlday'ın yürüttüğü ultra hızlı optik laboratuvarı ve onun çerçevesinde fiber lazer projeleri, Dr. Giovanni Volpe'nin yürüttüğü yumuşak yoğun madde laboratuvarı, mikro cımbızlar ve benzer projeler, mikrofilter projeleri var. Benim yakın zamana kadar yoğun bir şekilde üstünde çalıştığım plazmon kovukları ve elektron-fonon etkileşimleri. Nihayet, son bir-iki yıldır üstüne ağırlıkla gittiğimiz yüksek güçlü lazer diyotlar ve LED çip teknolojileri ile çalışıyoruz. Yüksek güçlü lazer diyotları, sabah oturumunda konuşan Nizam Muzafferoğlu'nun yürüttüğü laboratuvarında, ERMAKSAN Bursa'daki merkezle birlikte yürütüyoruz. ERMAKSAN şirketinin yaptığı bu yatırımı da sabahleyin Nizam bey anlattığı için tekrar girmiyorum, ama oradaki tesisin hedefi yüksek güçlü lazer diyotlar yapmak. Bunların tasarımları, üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve benzeri konularda biz de Bilkent'te laboratuvarımızda araştırma yürütüyoruz.

LED konusuna arkadaşlarım girdiler, ama ben pek fazla girmeyeceğim teknik konu tarafına; zaten altı aydır yürüttüğümüz bir proje. Belli noktalara geldik, ama bir sonraki toplantıda rapor etmeyi, ayrıntılara girmeyi tercih ederim. Yine de birkaç aşamadan oluştuğunu belirtmeden geçemeyeceğim; LED tabii ki elektronik yapı olarak, optik yapı olarak bir tasarım gerektiriyor. Bu tasarımın yapılmasından sonra epitaksiyel olarak kristallerin büyütülmesi gerekiyor.. Bunun için MOCVD kristal büyütme teknikleri kullanılıyor. Bu konuda Sivas (Cumhuriyet Üniversitesi)'ta kurulu olan Nanofotonik Laboratuvarındaki MOCVD sistemini kullanıyoruz. Prof. Sezai Elagöz bu yapıları büyütmeye başladı. Dolayısıyla, bu epitaksiyel tabakalar büyütüldükten sonra Bilkent'teki LED Araştırmalar Laboratuvarında, aygıt üretim teknolojilerinin geliştirilmesiyle LED'lerin üretimine başladık. Aslında ilk verimizi de geçen hafta ııııttık. Dolayısıyla o teknolojiler ilerleyecek. Daha sonra bunların paketlenmesi aşaması var. Bu paketlenme aşamasını ERMAKSAN yürütüyor. ERMAKSAN'ın bu projede görevi paketlemeleri gerçekleştirmek ve fosfor teknolojilerini kontrol altına almak. Bunun bir TÜBİTAK projesi çerçevesinde olduğunu daha önce söylemiştim. Bu projenin iki yıllık bir süresi daha var. Dolayısıyla projeyi hızlı bir şekilde yürütmek için çalışıyoruz.

Nanoteknoloji oturumun temeli, ana teması olduğu için ona da LED çerçevesinde bir şeyler söylemek istiyorum. Özellikle son zamanlarda 'kuantum noktacıları' dediğimiz, çeşitli dalga boylarında ışıyan kristallerin kullanımı söz konusu LED'lerde. Bunun için OLED teknolojilerinde kullanılan kuantum noktacılar da var. Bunlardan özellikle Samsung'un bir demonstrasyon televizyonu yaptığı bile literatürde mevcut. Ama bütün bunlar dünyadaki gelişmeleri göz ardı etmememiz gerektiği çerçevesinde değerlendirilmeli.

LED pazarı çok hızlı büyüyen bir pazar. Bu pazar şu sıralarda yıllık yüzde 3'le büyüyor ve çok çeşitli alanlarda kullanım buluyor. Tabela ve işaretlerden başlayarak, otomotiv sektöründe, aydınlatmada çok büyük yer tutuyor. Büyük ekran arka planları aydınlatması ve mobil uygulamaları için hızlı gelişen bir teknoloji var. 2014 yılında bu piyasanın 14,5 milyar dolar olduğu söyleniyor. 2018'de de 16 milyar dolara çıkması tahmin ediliyor.

"Bu piyasa içerisinde değişik bileşenler var" demiştik. Bu bileşenler arasında hızla büyüyen en önemli sektörün aydınlatma sektörünün olması bekleniyor. Nitekim, 2013'ten 2014'e, 2014'den 2015'e doğru

baktığımız zaman, sektör aydınlatma payının yüzde 29'dan yüzde 39'lara yükseldiğini ve daha da yükselmesinin beklendiğini literatürden görebiliyoruz. Yine bu aydınlatma talebi içerisinde çok değişik aydınlatma teknolojileri var. Çeşitli ampuller, yansıtıcılar, dekoratif lambalar, sokak aydınlatmaları, iç aydınlatmalar, projektörler, panel aydınlatmaları gibi, hatta otopark aydınlatmalarına varıncaya kadar çok değişik bileşenlere indirgeyebiliyorsunuz bunları. Bu aydınlatma paylarının içerisinde parabolik aydınlatmalar ve standart bazlı lambaların payı da bir miktar daha fazla geliyor. Tabii, ürün uygulamalarında fiyat esnekliği gerekiyor. Yani lümen/dolar (lm/\$) diye baktığınızda, çok değişik ürünlerin farklı performans gösterdiklerini görüyorsunuz. Burada uzun uzun ayrıntısına girmeden söyleyebiliriz ki, değişik güçte, değişik modellerde standartlaşmış LED üretimlerinde değişik performansları elde etmek mümkün. Dolayısıyla piyasa oldukça esnek, çok değişik uygulama alanlarına hitap eden çok çeşitli ürünleri üretebilir hale gelmiş durumda. Tabii, bu farklı aydınlatmalarla birlikte farklı istekler de birlikte geliyor. Işığın kalitesi, fon faktörleri, rengin değiştirilebilir olması, verim, güvenlik gibi birçok istekleri sağlamak gerekiyor. Bunun için de çok farklı LED tasarımları ve LED paketlemeleri söz konusu. Tek tek emiterler olduğu gibi, dizin üretimleri de çeşitli konfigürasyonda piyasaya çıkmış durumda. Tabii, ucuz ürünler piyasayı boğmuş durumda da diyebiliriz, çok geniş yer buluyorlar. Özellikle Çin kaynaklı LED'ler orta kalite ve yüksek kalitede. Yüksek kalitede de çok niş pazarlara hitap eden LED üretimleri de söz konusu.

Burada aydınlatmanın baskın olduğunu bir kere daha vurgulayarak geçelim. Bu pazar gidiyor, fakat bu aydınlatma pazarı içerisinde güç dağılımına baktığınız zaman, standart LED'ler 2012'de yüzde 17 iken, 2014'de yüzde 14'e düşmüş durumda. Orta güçteki LED'ler gittikçe artan bir paya sahipler; yüzde 29'dan yüzde 48'e kadar artan bir paya sahipler. Dolayısıyla standart ve orta güç LED'lerin pazar payının artmakta olduğunu görüyoruz ve Çin burada piyasaya giriyor.

Bu slayt, Philips, Osram gibi daha klasik, uzun yıllardır bu tip üretimlerde bulunan şirketlerin de Çin'in rekabeti karşısında yeniden organize olmak ve başka statüler geliştirmek zorunda kaldıklarını gösteriyor. Philips, tabii, aydınlatma konusunda çok büyük bir şirket. Paketleme ve otomotiv konusunda da ciddi bir şirket. Onlar da değişik statülere gitmek zorunda kalıyor. Çünkü Çin'in yükselmesiyle birlikte diğer şirketler yeniden organize oluyorlar. Mesela, yatay bütünleşmeye gidenler var, dikey bütünleşmeye gidenler var, satın almalar var, ortaklıklar yapanlar var ve biraz sonra göreceksiniz, sayıları oldukça büyük olduğu için, şirketler tek başlarına bu sayılarla başa çıkmakta zorlanıyorlar. Dolayısıyla piyasanın yönelimi daha çok fiyatı düşürmeye yönelik ve "Ne yaparsan yap, maliyeti düşür" ana düstur gibi gözüküyor. Dolayısıyla aydınlatma üreticileri artan rekabet ve düşük fiyatlar karşısında pazar ihtiyaçlarını karşılamak için çeşitli fiyat politikaları geliştiriyorlar. Bu politikaların çerçevesi içerisinde özellikle Çin'de devlet desteği çok büyük oranda piyasayı yönlendiriyor. Çin devlet desteği çok sayıda, özellikle MOCVD satın almasında ortaya çıkıyor. Biz de daha önce MOCVD üreticileriyle görüştüğümüzde "Bizle uzun uzun pazarlık yapıyorsunuz fiyatı düşürmek için. Biz Çin'e gidince, bir oturmada 10 tane MOCVD'yi bir kerede satıyoruz" diye sitem etmişlerdi. Nitekim gerçekten de Çin Devleti MOCVD'yi satın almalarını olağanüstü boyutlara kadar desteklemiş durumdalar. Bunu da bu grafiklerden rahatlıkla görebiliyorsunuz. Bu da tabii diğer şirketleri oldukça sıkıntıya sokan bir durum.

Bu MOCVD'nin desteği. Burada görüyorsunuz Çin'deki önemli bazı şirketleri. Bunların her birine Çin Devletinin desteği var. Toplam desteğin toplam yatırımın küçük bir kısmı gibi gözükse de bu önemli bir destek. Mesela bir firma 2014 yılının birinci çeyreğinde 31 milyon dolarlık bir destek almış. Bunun 2014'ün sonuna doğru iki katına kadar çıkması bekleniyor ve firma bu destekle kapasite artırımına gidiyor. Tabii, bununla birlikte bir de paket üretmek diye bir şey var ve burada ölçek ekonomisine ulaşmak çok önemli. Küçük sayılarla piyasada rekabet etmek mümkün değil, çok büyük sayılarda üretime gitmek gerekiyor. Yani yılda 10 bin tane, 100 bin tane, hatta yılda 1 milyon tane LED üretmekle rekabet etmek oldukça zor.

Çin'in üretimindeki gelişmelerde standardizasyonun ön plana çıkmaya başladığını görüyoruz. LED çiplerde, paketlerde ve fosfor teknolojilerinde standardizasyona ulaşmaya çalışıyorlar. Nitekim mesela, standart üretim alan 2835'de çipin paketinin, yapıştırıcının, altın telinin, fosforların ve işçiliğin

paylarını ekranda görüyorsunuz. Burada çip yüzde 60 kadar yer tutarken, özellikle paketlemenin de yüzde 24 gibi önemli bir payı olduğunu görüyoruz. Bu paketlemenin ne kadar önemli bir konu olduğunu gösteriyor.

Otomatik üretim hatlarına geçiş hızla artıyor. İşçiliğin payı düşürülmeye çalışılıyor, yüzde 14'den yüzde 7'ye düşeceği varsayılıyor. Mesela 40 watt'lık bir eşdeğer LED ile maliyetleri yarı yarıya düşürmek bu durumda mümkün, ancak ekonomik olması için 10-15 milyon megavatın altında üretmek de anlamlı değil. Dolayısıyla hacmin çok büyük sayılara çıkması gerekiyor. Artık fiyatlar o kadar düşmüş durumdaki, örneğin, 11 Yuan ile aldığınız 1.5 dolar karşılığı bir hamburger fiyatına bir floresan lambayı Çin'de alabiliyorsunuz. Yani isterseniz öğlen floresan lambayı alın eve götürün, isterseniz bir tane hamburger yiye. Tabii, bu nasıl oluyor? Bu, Çin'deki büyük şirketlerin bir araya gelerek kendi aralarında organize olup, sektörün farklı ihtiyaçlarını birlikte karşılamak gibi bir platform ortaklığına gitmelerinden kaynaklanıyor. Aynı pazar kaynaklarını paylaşarak malzeme fiyatlarını ve üretim maliyetlerini düşürürken, hızla aydınlatma üretimini artırmaya çalışıyorlar. Nitekim pazar hızla büyüyor, ama bir gün gelecek pazar da doyuma gidecek. O sırada ne olacak; bu küçülme olacak mı; nasıl olacak? Küçülmenin olmasını tabii kimse istemez, ama bu küçülmenin yavaşlatılması veya engellenmesi için değişik alternatif teknolojilerin ve inovasyonun ön plana çıkması gerekiyor.

Burada akıllı aydınlatmalar başta olmak üzere, mesela bitki yetiştirmek konusunda Koreliler LED aydınlatmalarında ciddi çalışmalar yapıyorlar. On katlı, yirmi katlı büyük binalarda, şehrin ortasında binanın içerisinde tarım yapmayı düşünüyorlar. Yani tarlayı şehrin ortasına getirmek gibi bir hedefleri var. Buradaki aydınlatmanın da LED ile yapılması düşünülüyor. Bu arada yine innovative bir yaklaşım olarak wi-fi yerine 'li-fi' denilen teknolojilerin de araştırıldığını söylemek gerekir.

Kısaca özetlersek, LED üretimindeki teknolojiler oldukça oturmuş teknolojiler. Ayrıntılarda tabii bir sürü şeytan gizli ama bilinen teknolojiler diyebiliriz. Esas dikkate alınması gereken şey fizibilite çalışmaları ve dünya çapındaki rekabet. Çünkü dünyaya satılmayan bir malın sadece ülkemiz içerisinde satılmasıyla rekabetçi olmak mümkün değil. Tabii bu bir sürü teşvikin de ülkemizde düşünülmesi gerektiğini, ekonominin ve bu sektörün de, dünya rekabeti karşısında nasıl mücadele edeceğinin hesaba katılarak desteklenmesini gerektiriyor.

Ben burada bitiriyorum.

Bugüne kadar değişik araştırmalarımıza destek veren kurumlara teşekkür ediyorum. TÜBİTAK, ASELSAN, Savunma Sanayi Müsteşarlığı, ERMAKSAN ve AB 7. Çerçeve Programı ve bu arada birlikte çalıştığımız arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ediyorum.

Dr. Volkan Özgüz- Panele geçmeden önceki son konuşmacımız, ASELSAN'dan Dr. Selçuk Özer.

Dr. Selçuk Özer (ASELSAN)- Ben de diğer katılımcılar gibi sunumuma geçmeden önce Volkan beye çok teşekkür ederim davetleri için.

Ben de bugün size ASELSAN'da özellikle kızılötesi detektör teknolojilerinin gelişimiyle ilgili bir sunum yapmak istiyorum. Üniversitede kızılötesi detektör teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik 2000'li yıllarda çalışmalar başladı, özellikle Orta Doğu Teknik Üniversitesinde. Teknoloji belli bir olgunluğa geldikten sonra bunun sanayileşmesine karar verildi ve ASELSAN'da bu teknolojinin sanayileşmesine yönelik adımlar atıldı.

Sunum iki kısımdan oluşuyor. Bu maceradan biraz bahsedeceğim. İlk kısımda kızılötesi algılama ve nanoteknolojiden bahsedeceğim kısaca ve daha sonra ASELSAN'da yürütmekte olduğumuz faaliyetlerden bahsedeceğim.

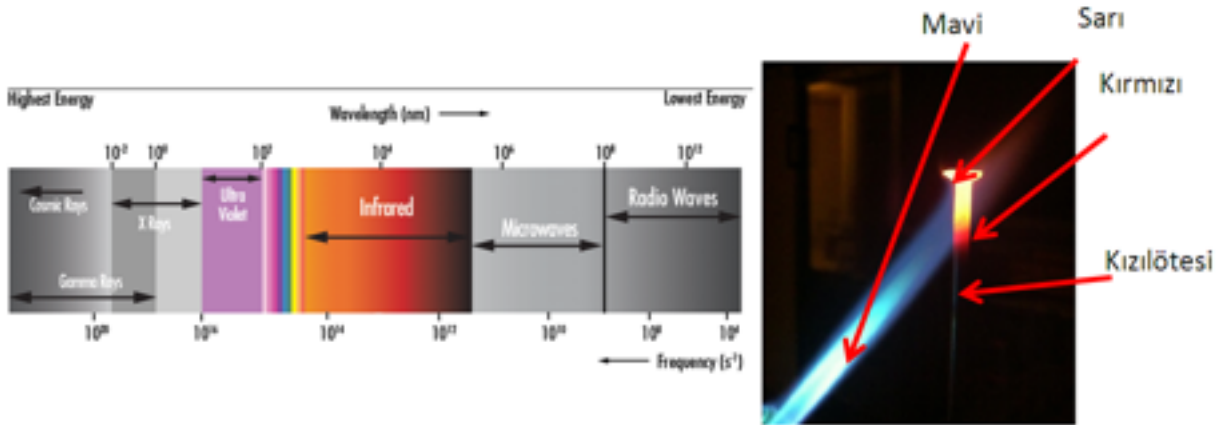
ASELSAN'ın faaliyet alanlarına baktığımızda; aslında beş farklı sektörden oluşuyor. Bugün ben Mikroelektronik Güdüm ve Elektro Optik grubundan geliyorum buraya ve (Mikroelektronik, Güdüm ve Elektro-Optik Grup Başkanlığı) MGEO'nun alt faaliyet alanlarından özellikle elektro optik alanıyla

ilgili size bir sunumda bulunacağım.

MGEO’da ne yapıyoruz; kızılötesi görüntüleme sistemleri geliştiriliyor. Burada gördüğünüz gibi, bunlar farklı amaçlarda kullanılıyor. Uydu sistemlerinde veya hedefleme sistemlerinde veya füze arayıcı başlıklarda, el dürbünlerinde veya termal silah dürbünleri gibi elektro optik aygıtlarda kızılötesi detektörler kullanılıyor. Burada bir kameranın blok diyagramını görüyorsunuz. Optik birim var. Işıma geliyor ve detektör üzerine düşüyor, daha sonra kamera elektroniki tarafından detektörde oluşan sinyal bir monitöre veriliyor. Buradaki birimlerin detektör haricinde hepsinde ASELSAN’ın tasarım yeteneği var, üretim yeteneği var; fakat detektörler yurtdışından temin ediliyor ve temin edilirken çeşitli kısıtlamalarla temin edebiliyorsunuz bunu. 3. ülkelere satamayabiliyorsunuz veya uygulamaya bağlı olarak size bunu satıyorlar. Dolayısıyla bu teknolojinin millileştirilmesine bu nedenlerden ötürü karar verildi.

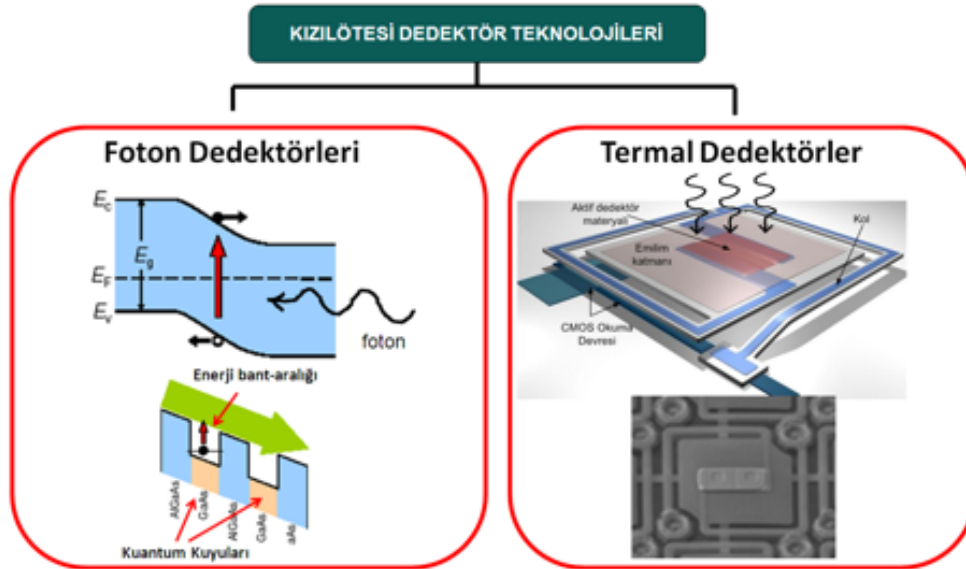
Peki, kızılötesi ışıma ne demek? Sıcaklığı 00K’den yüksek olan her nesne aslında bir ışıma yapıyor. Elektromanyetik spektrumun görünür kısmıyla mikrodalga arasında kızılötesi bölge var.

Burada bir örnek var. Burada, alev tabancasıyla ısıtılan bir çivi görüyorsunuz. Sıcak kısım mavi, görünür bölgede. Şurası bir miktar daha az sıcak, sarı. Kırmızı, buranın da belli bir sıcaklığı var aslında, burası da gözüküyor, ama gözümüz algılamadığı için kızılötesi detektörlere ihtiyacımız var bu bölgeyi görebilmek için. Bir miktar Ekmel hocam SWIR bandından bahsetti. Özellikle SWIR bandında toz arkasından aracı görmeniz mümkün veya dumandan geçtiği için, kızılötesi ışıma yangınla mücadele gibi durumlarda uygulama alanları var. Kamufle olmuş kişileri görebilirsiniz veya tamamen zifiri karanlıkta gündüz gibi görmeniz mümkün. Burada görülür bantta bir görüntü var, hiçbir şey gözüküyorken burada normal sahneyi görebiliyorsunuz. Biz sıcaklıkla ilgili bütün sivil uygulamaların, askeri uygulamaların hepsinde bunu kullanabilirsiniz.



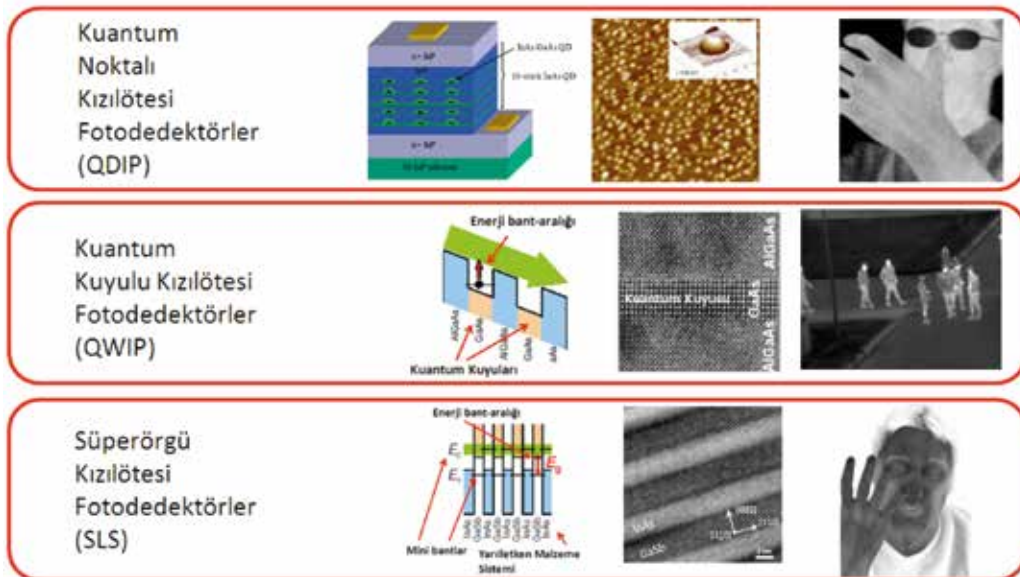
Burada bir ısı olarak izole edilmiş ve edilmemiş evin resmini görüyorsunuz. Çok net ısı kaçaklarının nereden olduğunu görebiliyorsunuz veya işte gece sürüş uygulamalarında, özellikle lüks araçlarda kızılötesi kameralar son zamanlarda entegre edilmeye başlandı.

Detektör teknolojilerini nasıl algılama yaptıklarına bağlı olarak inceleyecek olursak; foton detektörleri ve termal detektörler diye iki gruba ayırabiliyoruz. Foton detektörlerinde –(RESİM-1) burada bir enerji bant diyagramını görüyorsunuz yarıiletken- gelen foton enerjisini elektrona veriyor ve iletim bandına geçmesini sağlıyor, serbest kalan elektron akıma katkıda bulunuyor, bu akımı ölçerek ne kadar foton geldiğini tespit edebiliyorsunuz. Termal detektörlerde de gelen radyasyon bir aktif malzemeyi ısıtıyor ve bu malzemenin direnci sıcaklığa çok duyarlı, direncindeki değişimi algılayarak ne kadar ışıma geldiğini tespit edebiliyorsunuz. Burada, mikrobolometre bir detektörün pixel yapısını görüyorsunuz.



Resim-1

Konvansiyonel kızılötesi detektörlerin problemleri ne? Buna bakacak olursak, bir kere, enerji bant aralıkları çok düşük olduğu için -kızılötesi fotonları algılamak istiyorsunuz, çünkü düşük enerjiyle, atomlar arasındaki bağlar çok zayıf, bu nedenle- işlenmesi ve üretilmesi bu tarz detektörlerin oldukça zor. Burada bir indiyum antimonide (InSb) yarıiletkenini görüyorsunuz, atomik yapısını görüyorsunuz. Bu bağlar zayıf olduğu için sıkıntılar oluşturuyor. Fakat bizim nanoteknolojiyi kullanarak bu düşük bant aralıklarında yüksek bant aralığına sahip galyum arsenit, alüminyum galyum arsenit gibi kararlı malzemeler kullanarak elde etmemiz mümkün. Yine benzer bir şekilde süperörgü yarıiletkenler kullanarak bu düşük bant aralıklarını elde etmek mümkün ve kızılötesi ışımayı daha kararlı yarı iletkenlerle gerçekleştirmek mümkün. Burada çözüm nanoteknolojide, bunun için farklı farklı öneriler yapıldı. Kuantum noktali kızılötesi foto detektörler –(RESİM-2) burada gördüğünüz- kuantum noktaları oluşturarak kızılötesi algılayabiliyorsunuz. Bununla ilgili literatürde gösterimlerde bulunuldu. Kuantum kuyulu kızılötesi foto detektörler ön plana çıktı. Burada yine bu düşük enerji bant aralığını kuantum kuyuları elde ediyorsunuz. Burada bir TM resmini görüyorsunuz kuantum kuyusunun. Bununla da yine görüntüler alındı. Yine süperörgü detektörlerle de benzer şekilde kızılötesi algılama yapmak mümkün hale geldi; alternatif arayışından dolayı, yani zayıf atomik bağlara sahip olan yarıiletkenlere alternatif arayışlarından dolayı.



Resim-2

ASELSAN'da ve Türkiye'de yürütülen çalışmalara bakacak olursak, teknolojinin ilk olarak ODTÜ'de başladığını söylemişim. 1999 yılında o zaman ben de doktoramı ODTÜ'de yapıyordum. Bu ilk görüntü aslında indiyum antimonide detektörden alınmış. Bir mum alevini ancak görebiliyorduk, daha sonra 2001 yılında QWIP teknolojisine geçildi, ilk başlarda bulanık görüntülerden hızla sürecin iyileştiğini görebiliyorsunuz. Hatta daha sonra çok renkli detektörler de üretilebilir hale geldi. Burada, 1999'da tek bilgisayar detektörlerden 2008'de daha yüksek formatlara çıkıldı, artık teknolojinin sanayileşmesine karar verildi ve cihazların işleme alınması, eğitimlerin tamamlanması, kabulleri yapıldı. Bundan yaklaşık bir sene sonra 2011 yılının sonunda ilk görüntüyü aldık. (RESİM-3) Burada ürettiğimiz detektörler. Daha sonra Milli Savunma Bakanlığının desteklediği bir proje kapsamında bu detektörlerden 40 adet üretildi ve bir sisteme entegre edilerek, bunlar bütün askeri kalifikasyon standartlarından geçtikten sonra bir tatbikatta başarılı bir şekilde atışlı testlere tabi tutuldu.



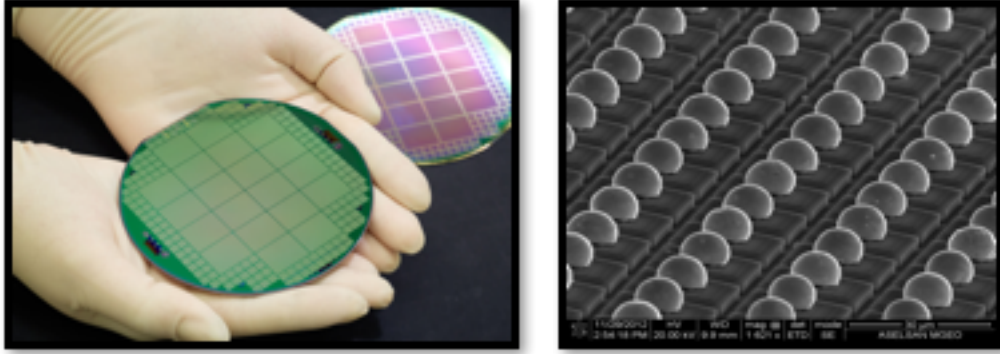
Resim-3

ASELSAN'daki temiz odanın yerleşimini görüyorsunuz. İlk prosesler için on bin, bin ve yüz sınıfı üç ayrı bölgemiz var. Yine burada temiz odanın farklı bölgelerinden resimler (RESİM-4) görüyorsunuz. Tabii buna paralel olarak insan kaynağı önemli ve bu sanayileşme serüveninde ASELSAN'da da yapısal bir değişikliğe gidildi ve bu teknolojinin seri üretimine aktarılmasına yönelik olarak, Mikro/ Nano Aygıtlar Tasarım Müdürlüğü diye yeni bir müdürlük kuruldu. Müdürlüğümüz bünyesinde 42 personelimiz var. Akademik dağılımına baktığımızda, tabii ki bu konular uzmanlık gerektirdiği için doktora yüzdesi oldukça yüksek. ASELSAN'ın doktoralı eleman yüzdesi ortalama olarak yüzde 3 civarında. Bölümümüzde oldukça yüksek bir oran mevcut. Yine disiplinlerarası dağılıma baktığınızda elektronik mühendisleri, fizik mühendisleri, malzeme mühendisleri, kimya mühendisleri var.



Resim-4

Burada, pul seviyesi üretilen, ASELSAN'da üretilmiş olan bir detektörden farklı kesitlerin resmini görüyorsunuz. Pul seviyesi üretim yapıyoruz; yani bir pul üzerinde ne kadar detektör sığıyorsa, kaç adet detektör sığıyorsa, o kadar detektörü aynı anda üretme şansımız oluyor. Bu resimde yirmi adet sensör üretilmiş. Gittikçe büyüyen kesitlere baktığınızda, bir tane sensör 640x512 formatında. (RESİM-5) Burada piksel yapılarını görmeye başlıyorsunuz. Her pikselin üzerinde indiyum topraklar var, bunlar okuma devresi ile elektriksel iletkenliği sağlayan topraklar. Ve grating yapıları, kuantum kuyulu detektörler için gerekli olan ince film kaplamalar ve en son kuantum kuyusunun TEM resmini görüyorsunuz.



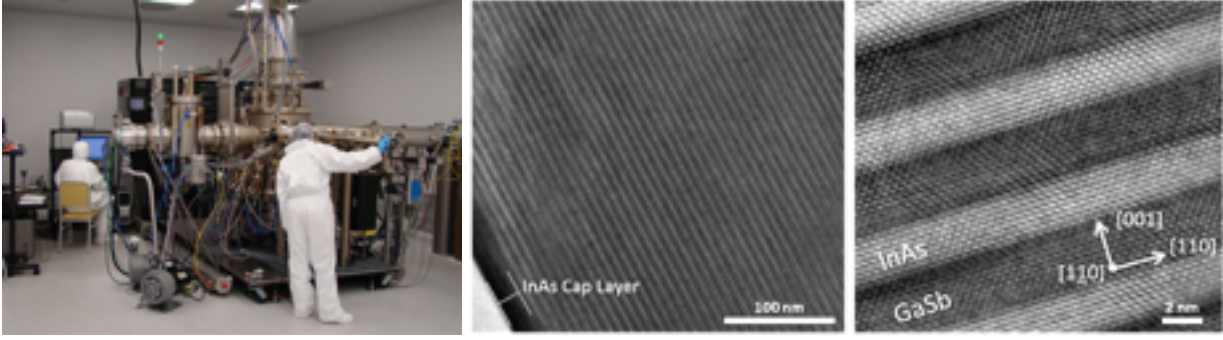
Resim-5

Burada ASELSAN'da bu detektörleri kullanarak almış olduğumuz görüntülerden bazılarını görüyorsunuz. Şu an paketlenme kabiliyetimiz var, çünkü bu detektörler ancak vakum ortamında çalışabiliyor; ancak soğutulduğu için paketlenme kabiliyetimiz de mevcut. Bu çalışmaların sonucu olarak tabii ki iki tane ödül aldık. Mustafa N. Parlar Vakfı tarafından ODTÜ ve ASELSAN'a bir ödül verildi. Yine TTGV, TÜSİAD ve TÜBİTAK tarafından jüri özel ödülü aldı bu QWIP detektör üretim sürecinin kazanılması.

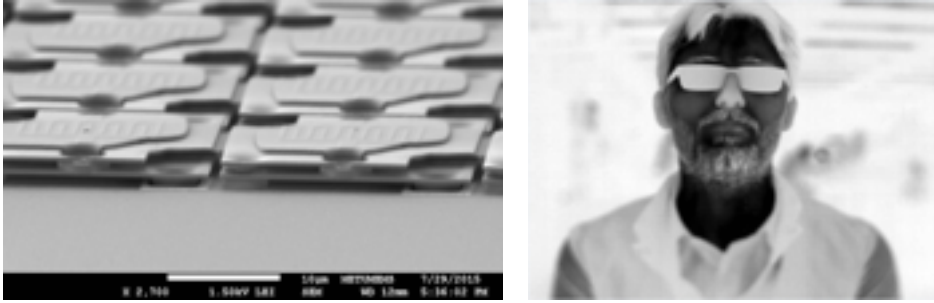


Resim-6

Bunların yanında BİLKENT, ODTÜ ve Anadolu Üniversitesi ile süperörgü detektör geliştirme çalışmaları Savunma Sanayi Müsteşarlığı tarafından yürütüldü ve bu proje başarıyla tamamlandı. Burada Anadolu Üniversitesinde bu projede çalıştığımız MBE reaktörünü görüyorsunuz ve orada büyütülmüş bir süperörgü yapının TEM resmini (RESİM-7) görüyorsunuz. Yine Bilkent Üniversitesiyle Milli Savunma Bakanlığı tarafından desteklenen -NANOTAM'da- kuantum kuyulu lazer çalışmalarını gerçekleştirdi ve NANOTAM'da üretilen lazerler, lazer pointer olarak kullanılmak üzere bir elektro optik sistem içerisine yerleştirildi ve yine bu az önce bahsettiğim tatbikatlarda başarılı bir şekilde kullanıldı. Yine aynı elektro optik sistem içerisinde milli olarak üretilmiş kuantum kuyulu kızılötesi foto detektörler de kullanıldı.

**Resim-7**

Kuantum Çağlayan Lazer çalışmaları yürütüyoruz SAN-TEZ kapsamında; yine Bilkent Üniversitesiyle, hem NANOTAM'la, hem Atilla hocamlarla beraber. İki farklı dalga boyunda kuantum çağlayan lazerlerin geliştirilmesine yönelik bir proje var. Bu proje sonunda da geliştirilecek olan teknoloji, ASELSAN tarafından tasarlanan elektro optik sistemlerde kullanılması planlanmakta. Bunların yanında mikrobolometre çalışmalarını yürütüyoruz; yine farklı kurumlar tarafından desteklenen, devlet kurumları tarafından desteklenen projeler vasıtasıyla.

**Resim-8**

Burada, üretmiş olduğumuz MEMS yapılı pikselleri görüyorsunuz. Bu çalışmayı Orta Doğu Teknik Üniversitesiyle beraber yürütüyoruz. Geliştirilen detektörler Milli Savunma Bakanlığı tarafından desteklenen bir projede termal silah dürbünlerinde kullanıldı. Yine bunlarda atışlı testler başarıyla gerçekleştirildi. (RESİM-8) Burada da yine bu detektörlerden alınmış olan bir görüntüyü görmekteyiz.

Bunun yanında tabii ki birçok kızılötesi detektör teknolojisi var. “Süperörgü” dedik, “QWIP” dedik, “MCT” dedik. MCT kızılötesi algılamada en önemli teknolojilerden biri. Bu teknolojinin geliştirilmesine yönelik de çalışmalar yürütülüyor. Burada MCT aktif malzemesinin büyütülebilmesine olanak sağlayan ve ASELSAN’da kurulu olan moleküler ışın epitaksisi reaktörünü görüyorsunuz. Tabii ki bu reaktörde kullanılacak olan malzemenin büyütüleceği tabanın ön işlemlerini de ASELSAN’da gerçekleştirebiliyoruz. Burada yüzey pürüzlülüğü çok kritik. Bu büyütmenin başarıyla tamamlanabilmesi için, buradaki tabanlar üzerinde nanometrinin altında yüzey pürüzlülüğünde parlatma işlemini gerçekleştirebiliyoruz.

Bunun yanında tabii bu tabanları yurtdışından temin etmek sıkıntılı. Temin edemiyorsunuz veya temin ederseniz düşük kalitede ancak temin edebiliyorsunuz. O da detektör performansınızı etkileyebiliyor. ASELSAN olarak biz bu tabanları yurtdışından alamadığımız için, alternatif olarak galyum arsenit tipi, yurtdışından temin edilebilen, fakat örgü uyumsuzluğu nedeniyle doğrudan MCT katmanlarının büyütülemediği tabanlar üzerinde tampon katman geliştirme çalışmaları yürütüyoruz; (Savunma Sanayi Müsteşarlığı) SSM destekli bir proje ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsüyle birlikte.

(RESİM-9) Burada da İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde bulunan, bu çalışmada kullanılan MBE reaktörünü görüyorsunuz. SWIR bandında da yine InGaAs detektör geliştirme çalışmaları yürüyor. SSM destekli Kangal Projesi kapsamında, ODTÜ ve Cumhuriyet Üniversitesiyle işbirliği içerisinde InGaAs indiyum fosfat malzeme sistemine dayalı detektör teknolojisi geliştiriliyor. Bu projede

hem ODTÜ'deki MBE reaktörü hem de Sivas Cumhuriyet Üniversitesindeki MOCVD reaktörü bu çalışmada kullanılıyor. ASELSAN'da detektörlerin diffusion işlemleri gerçekleştiriliyor. (RESİM-10) Burada da ODTÜ'de üretilmiş olan dedektörlerden alınmış görüntüleri görüyorsunuz.



Resim-9



Resim-10

Tabii son olarak bütün bu detektörlerin paketlenmesi de çok kritik bir konu. Çünkü vakum içerisinde bulunması gerekiyor ve bu vakumun yıllarca askeri koşullarda korunması gerekiyor. Dolayısıyla buradaki ara yüzlerin çok iyi bir şekilde birbirleriyle kaynaştırılması, hiçbir şekilde vakum sızdırmaması gerekiyor. Bu konuda da bazı çalışmalarımız var. Burada görmüş olduğunuz altyapıda bu çalışmaları gerçekleştiriyoruz. Şu an hem soğutmasız detektörlerin -mikrobolometre tipi- hem de soğutmalı detektörlerin paketlenme işlemlerini gerçekleştirebiliyoruz.

Son olarak, ben burada beraber çalıştığımız üniversitelere tekrar teşekkür etmek istiyorum. Ayrıca dinleyicilere de sabrından dolayı teşekkür ederim.

Dr. Volkan Özgüz- Ben bundan sonraki soru-cevap bölümü için konuşmacılarımızı sahneye davet edeyim. Sizlerden de soru almaya başlayalım.

Sorularınız varsa, özellikle Türkiye'de bu konunun gelişmesi açısından... Türkiye bu konuda treni birkaç kere kaçırmış durumda. Şimdi önümüzde ciddi bir fırsat var ileriye dönük olarak. Burada ne yapılması gerektiğini biz bir oturum olarak tartışmak istedik.

Buyurun.

Salondan- Tekrar teşekkür ediyorum sunumlar için.

Biraz belki özel bir soru olacak başlamak için, ama son konuşma dolayısıyla Selçuk beye sormak istiyorum, soğutmasız infrared detektörleri için. Yani performansını soğutmaya göre karşılaştırabilir misiniz? Sizce bu alanda hala bir potansiyelimiz var mı teknolojik olarak?

Dr. Selçuk Özer - Soğutmasız detektörler uzun yıllar aslında soğutmalı detektörlerin gerisinden geldi, ama burada en önemli kriterlerden biri termal algılama hassasiyeti NETD dediğimiz noise equivalent temprature difference açısından baktığımızda, aslında oldukça yaklaşıyor soğutmalı detektörlere. Soğutmasız detektörlerin en büyük dezavantajlarından biri hız. Yavaş sahneler için uygun, ama füze arayıcı başlığı gibi hızlı hareket eden veya birtakım algoritmaların çalıştığı uygulamalarda bu hız da çok önemli bir hale geliyor. Dolayısıyla böyle bir fark var. Tabii ki, soğutmasız detektörlerin de şöyle bir avantajı var: Çok kompakt, ucuz, elektro optik. Soğutucu ihtiyacı olmadığı için taşınabilir elektro optik sistemler yapmanız mümkün. Dolayısıyla uygulamaya bağlı olarak aslında her ikisinin de ön plana çıktığı durumlar olabiliyor.

Salondan- Galyum nitrat tabanlı transistör geliştirildiğinden söz ediliyor. Biraz açar mısınız, nedir?

Salondan- Teşekkür ederim.

Ben ek olarak şu anda endüstriyel olarak rekabet edecek durumda mıyız?

Prof. Dr. Ekmel Özbay - Şu an biz uzun süredir üretiyoruz, fakat yeterli sayıda üretilip satma konusunda, bu çarkı çevirme konusunda bir sıkıntı vardı. En azından bu bahsettiğim projeler kapsamında biz bunu çevirebileceğimizi gördüğümüz için bu yatırımı yaptık. O yüzden, ne diyeyim; 2016'da biz bunu çoklu sayılarda üretiyor noktasına geleceğiz. Atilla hocamın dediği gibi bunu yurtdışına satmak da önemli cost-effective de olacağız. Yurtdışına satılan fiyat için fizibilitede Çin'deki rakamı kullandık, Çin'den satın alma rakamını kullandık. Amortismanı da aştığımız zaman, yani kendi şeyimizi bir anlamda ödediğimiz zaman fiyatları da daha düşürebileceğimizi öngörüyoruz.

Salondan- Termal kameraların soğutulmasını neyle sağlıyorsunuz? Belki basit bir soru oldu.

Dr. Selçuk Özer - Yok. Termal kameraların soğutulmasını sağlamak için aslında farklı farklı yöntemler var. Bunlardan en yaygın olanı stirling tipi soğutucularla sağlanıyor, ama aslında bu buzdolabının çalışma prensibine çok benzer bir şekilde. Gazı sıkıştırıyorsunuz, detektörün bulunduğu yerde genleşmesini sağlıyorsunuz, oradaki kohezyon kuvvetlerinden dolayı ısı aldığı için ve bunu, bu sıkıştırma ve genleştirme işlemini kapalı çevrimde gerçekleştirdiğiniz için, belli bir süre içerisinde detektörü, 'kiyojenik sıcaklıklar' dediğimiz 200 derece mertebelerine indirebiliyorsunuz. Bir de Joule Thomson tipi dediğimiz soğutucular var. Onda da benzer bir şekilde, fakat kapalı çevrim değil. Gaz püskürtülerek -yüksek basınçlı bir gaz- orada genleşerek benzer bir şekilde detektörün soğutulması sağlanıyor.

Salondan- Sıvı azot...

Dr. Selçuk Özer - Sıvı azot genelde laboratuvardaki çalışmalarda kullanılıyor. Çok eski sistemlerde kullanılmış, fakat günümüzde artık kullanılan bir şey değil. Laboratuvar ortamında daha kolay olduğu için, çünkü paketlediğiniz zaman detektörü tekrar tekrar söküp çıkartmanız mümkün değil, sıvı azotla çok daha kolay yapılabilirseniz bu işlemleri.

Salondan- Teşekkürler.

Dr. Selçuk Özer - Rica ederim.

Salondan- Benim sorum aslında tüm teknolojiyi eleştirenlerle ilgili, yani sonuçta OLED olsun, LED olsun veya transistör olsun. Sonuçta bir taraftan en son güncel teknolojiyi kazanmaya çalışıyoruz, bir taraftan da -sunumunda geçmişti hocamızın da- bir boyut da maliyet. Yani maliyeti düşük olan ve aynı teknolojiyi kazanan kişiler daha hayatta kalıyor. Bununla ilgili mesela Çin'deki bir iki örnek verilmişti; matris bir şekilde, kim hangi tarafta güçlüyse birlikte bir şey yapıyor. Bununla ilgili nasıl düşünebiliriz? Bizde Nanoteknoloji Merkezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Bilkent'teki merkezin nasıl bir yapı olması lazım ki hem teknoloji up to date olsun hem de maliyet etkin olsun? Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Atilla Aydınli- Aslında bence yine iş insan gücüne kalıyor. Türkiye'nin nüfus yapısıyla sayısına baktığınız zaman, toplam yetişmiş insan gücü çok az, çok küçük, nitelikli yetişmiş insan gücü. Mesela, biz ERMAKSAN'da işe aldığımız mühendisleri mülakata tabi tuttuğumuz zaman, mühendis adaylarına sorduğumuz sorular karşısında aldığımız cevaplardan şaşkınlık yaşadığımız çok oldu. Yani belirli bir kritik insan sayısını tutturmadan bu işbirliklerini yaparak bir yere gitmek çok da kolay değil. Yani Ekmel bey 65 kişi çalıştırıyor, ama onları seçip bulana kadar kim bilir neler çekmiştir. Bir kısmını kendisi yetiştiriyor, bizde öyle yapıyoruz. Dolayısıyla, yetişmiş insan gücü bir kere çok dar. Unvanı olan çok insan var, ama işe yarar insan sayısı çok az.

İkincisi bu teknolojiler Türkiye'de daha yeni yeni ortaya çıkıyor, yani ilk defa işte bir şirketimiz transistör satmayı düşünüyor veya bir başka şirketimiz lazer diyot yapıp, onunla fiber lazerler yapmayı düşünüyor. ASELSAN tabii burada çok güçlü, eski bir şirket, ama o tabii bir vakıf kuruluşu, arkasına belirli bir güç alarak geldi bugünlere. Dolayısıyla ortaklıklar kurulması, platformlar oluşturulması için bu işin birazcık daha yaygınlaşması lazım diye düşünüyorum.

Prof. Dr. İsmet Kaya- Ben bir şey ekleyebilir miyim? Gerek bu entegre devre teknolojilerinde olsun, algılayıcılarda olsun, benim anlattığım ekranlarda olsun, aslında farklı skalalarla üretimler var. Mesela ekranlardan örnek verirsem, televizyon büyük boyutlu bir üretim gerektiriyor ve çok büyük sayılarda üretiliyor. Şimdi televizyon üretmeye kalkarsanız Türkiye'de bunun için bir devlet politikası olması lazım. Devletin çok büyük, birkaç belki on milyar mertebesinde yatırım yapması lazım. Belki o zaman diğer Kore ya da Japonya ile yarışabilirsiniz. Aslında "Kore'nin bile geleceği çok parlak değil" diyorlar bu durumda. Şu anda Samsung ve LG çok çok güçlü, fakat Çin'de 'BOE' diye (üretici) bir firma var pek kimse bilmiyor. BOE, şu anda ancak Çin pazarını zor doyuruyor ve hızla büyüyor. Yani önümüzdeki on yıl içinde falan Samsung ve LG'yi silip süpüreceğini söylüyorlar. Ama onun yanı sıra başka küçük ölçekli şeyler de var. Öreğin: Mikro ekranlar. Bunların bazıları çok büyük sayıda da yapılmıyor ve niş uygulamalar oluyor, ASELSAN buna çok iyi bir örnek. ASELSAN'da üretilen bu algılayıcılar ya da ASELSAN'ın bazı ürünlerinde kullanılan ekranlar, sayı olarak az fakat maliyet olarak çok yüksek ürünler var; ekran da dahil buna. Yani bildiğimiz LCD ekran sıradan bir ekran yüz dolar bile değil, ama bunu askeri standartlarda üretmeye kalktığınız zaman maliyeti on bin dolarlara çıkıyor. Çünkü birtakım askeri standartları karşılaması gerekiyor bunun. Bu tür niş uygulamalara yönelmek daha değerli olabiliyor. Belki de oradan başlamak lazım, yani teknolojiyi orada geliştirmek daha kolay. Daha sonrasında belki skalayı büyütmek, daha büyük çaplı üretim şeylerine geçmek mümkün olabilir.

Ahmet Yürekli- Türkiye'deki LED üretimi hakkında ne durumdayız. Tabii ben bilmiyorum şahsen, ama üreten var mı? Hep ithal ediyoruz, alıyoruz PHILIPS, Osram vesaire. Sokak lambaları dahil olmak üzere çok büyük boyutta ve toplam harcanan enerjiyi düşündüğünüz zaman -gerçi şimdi güneş enerjilerine de döndük aydınlatma sistemlerinde- acaba biz üretebilir miyiz bu LED'leri? Veya bilemiyorum tabii, sanayiden kimse var mı; yok herhalde. Hocalarımız tabii formülleri yazıyor, anlatıyor "Bu budur" diye geçiyor gidiyor, yani.

Prof. Dr. Atilla Aydınli- Ben formülleri yazmadım.

Ahmet Yürekli- Formüller yazılır, anlatılır. Ben de epey bir doktora dersi aldım, 17-18 tane. Mezun olmadık, o ayrı.

Tabii, havada kalıyor bunlar; anlatıyor anlatıyor gidiyor. Hani, bir de tez yazılıyor, bu tezin de hiçbir önemi yok aslında. Türkiye'de yazılan tezlerin hemen hepsi, yani yüzde 98'i falan patenti alınmayan, rafta duran şeyler. Mesela, benim yazdığım mastır tezi şu anda belki bir saatlik anlatım konusu bile değil. LED'lerle ilgili biz ne yapabiliriz?

Prof. Dr. Atilla Aydınli- Tabii, ben size özellikle ekonomik tarafını anlattım, çünkü bu işin ekonomik tarafını çözmeden teknolojik tarafını çözmek çok anlamlı değil. Tabii teknoloji öğreneceksiniz, yapacaksınız o ayrı mesele, ama işin ekonomik boyutunu mutlaka çözmeniz gerekiyor ve LED konusu da biraz geç kaldığımız bir konu. Şimdi şöyle söyleyeyim: Bütün devletler aşağı yukarı büyük desteklerle bu sanayileri ayağa kaldırıyorlar. Bunların hiçbirisi kendi kendilerine ayağa kalkmıyor. Ben

Kore’de Kopti’deki LED’cilerle “Çin’le nasıl başa çıkacaksınız?” diye konuştuğum zaman; biraz önce İsmet beyin söylediği gibi niş uygulamalarla yani “Bizim LED’lerimiz şöyle daha iyi olacak, böyle daha iyi olacak, daha küçük pazarlarda ama daha yüksek katma değerler için oynayacağız” vesaire gibi cevaplar verdiler. Türkiye’de LED üreten yok tabii, LED ithal ediliyor. LED ile oynayanlar var, armatür yapanlar var; bunlar da bir ekonomi, bir teknoloji aslında; hafife almamak lazım. İşte fosforla ilgilenenler var, ama esas LED çipleri üreten kimse, en azından benim bildiğim kadarıyla yok. Ama böyle bir teknolojinin Türkiye’de üretilebilir hale gelmesi için ciddi bir ekonomik programa ihtiyaç var.

Ben size başka bir konudan örnek vereyim. Yakın zamanda duydum, sabahki oturumda da böyle bir konu vardı. Bütün arkadaşlar son dakikada duymuşlar, ilgili arkadaşlar son dakikada duymuşlar, ben hiç duymamıştım. Geçen gün duyduğum şeyi size söyleyeyim; mesela güneş pilleri de... ‘Türkiye’de 3 gigavatlık bir güneş çiftliği kurulması kararı alındı’ diye biliyoruz. Bu (Konya) Karapınar’da kurulacak.

Salondan- Kaç dönüm arazi hocam; kaç dönüm arazi içinde; en az 50 dönüm arazi...

Prof. Dr. Atilla Aydınli- Yani arazi nispeten ucuz. Arazileri alanlar zamanında aldılar zaten

Salondan- Büyük bir alan işgal edecek ama yani.

Prof. Dr. Atilla Aydınli- Tabii, büyük bir alan olacak, ama yine de arazi ucuz. Çünkü bunun kokusu çıkınca alması gerekenler arazileri aldılar. Dolayısıyla arazi sorun değil, ama teknolojiyi kim üretecek sorunu var ve şu anda Mecliste beklediğini duyduğumuz kanuna göre, teknoloji bir yerde ısmarlanmak üzere. Anlatabiliyor muyum ne demek istediğimi? Eğer tabii siz böyle teknolojileri ısmarlarsanız bir yere gidemeyiz. “İlle de bizim yapmamız gerekir” diyorsanız, o zaman o kanun değil başka bir kanunun çıkması gerekiyor. Fakat bu kanunlar da kendi kendine çıkmıyor, çıkartanlar var. İşte bu bir mücadele, ekonomik mücadele, inşallah doğru kanunlar çıkarsa doğru işler olabilir.

Salondan- Şimdi hocam; aşağı yukarı kaç milyon tane ev var bilmiyorum da; eski televizyonlar rafa kalktı, herkes “LED TV alalım” diyor artık. Belki OLED TV çıkacak, “OLED TV alalım” falan diyecekler. Sonuçta muazzam bir para gidiyor hocam. Bakın şu Samsung’un kârına... Siz İsmet hocam (Prof. Dr. Kaya) biliyor musunuz; 30 milyar dolar hocam. Belki quarter quarter veriyorlar tam bilmiyorum da. Samsung’un kârı -safı cep telefonu değil de genel anlamda- 30 milyar dolar hocam, yani düşünün bir yıllık kârı. Güney Kore’deki bir tek firmanın kârı bu. Hani “ASELSAN bir milyar dolarlık satış yaptı” diyorlar, net profil ne; sıfıra yakın, belki de eksilerde. Yani bir şey kuruyoruz, bunun kârlılık şeyi de önemli değil mi hocam? Araştırma yapıyoruz, üç tane doktoralı eleman “Üniversite kurdum” diyor, kuruyor; bir sürü doktoralı eleman alıyor falan, bir şey üretiliyor. Sonuçta bunlar üretiliyor, ama üretilen şey uygulamaya girmeyince...

Teşekkür ederim.

Dr. Volkan Özgüz- Peki, burada bir soru var.

Salondan- Merhaba. Benim sorum temel kavramlarla ilgili olacak.

Burada, nanoteknolojinin gelecek adımlarını da konuşuyoruz. Termal kameraların özellikle askeri alanda giyilebilir teknoloji olarak kullanılması mümkün mü? Yani giyilebilir teknolojiler kullanılması mümkün mü? Özellikle Doğu’da görev alan askerlerimiz için, karanlıkta gözlük veya kask sistemi oluşturarak bu termal kameraların kullanılması mümkün mü? Gelecekte bununla ilgili çalışmalar yapılacak mı?

Teşekkür ederim.

Dr. Selçuk Özer- Tabii, aslında giyilebilir kask tipi şeylerde kullanılabilmesi için bu detektörlerin hafif olması gerekiyor. Çünkü baş kısmında ciddi bir ağırlık, özellikle belli bir süreden sonra sıkıntı oluşturmaya başlıyor.

Az önce bahsettim soğutmasız detektör teknolojide de halihazırda buna uygulanabilir gibi veya SWIR

teknolojisi özellikle. Pilotajda olsun veya illa pilotajda olması gerekmiyor, yani kaska entegrasyonu yönünde çalışmalar var şu aşamada. Tabii, bu teknolojiler küçüldükçe, hafifledikçe, ucuzladıkça aynı zamanda, bu tarz çok sayıda detektör her askere verilebilecek, herkesin kullanabileceği seviyeye zaman içerisinde gelecektir. Yani nanoteknolojideki çalışmalarda da aslında bu yönde hassasiyetini, özellikle piksel yapılarını artırmaya yönelik –nanoantenalar veya plazmonik yüzeyler kullanılarak- o tarz çalışmalar var. Gittikçe bunları daha yaygın bir şekilde görebiliyor olacaksınız.

Tabii, MEMS teknolojisi; burada daha küçük piksel boyutlar...daha küçük kamera anlamına geliyor aynı zamanda. Piksel boyutları da küçüldükçe daha yaygın bir şekilde kullanılabilir hale gelecektir. Zaten bilginiz vardır herhalde, bu cep telefonlarında takılabilen özellikle soğutmasız kameralar geliştirilmeye başlandı. Sivil piyasanın da özellikle talepleri doğrultusunda gittikçe teknoloji ucuzluyor, yaygınlaşıyor, bu anlamda kullanılabilir hale geliyor

Dr. Volkan Özgüz- Son soruyu alalım.

Salondan - Aydınlatmada biliyorsunuz ampulün içinde hem çip var hem de elektronik olan besleme ünitesi aynı ampulün içerisinde. Bunların acaba maliyet oranları nedir, yani çip ve bunu besleyen elektronik sistemin?

Prof. Dr. Atilla Aydınli- Yani bizim projemizde lamba yapımı yok, ama bildiğim kadarıyla çipin toplam maliyete oranı çok küçük, yüzde 10 falandır yani daha çok olduğunu sanmıyorum. Çip, o anlamda lamba üretiminde oldukça düşük bir maliyete sahip. Ama diğer aksam; işte güç kaynağı ve diğer işler oldukça yüksek maliyet tutuyor. Paketleme çok önemli.

Dr. Volkan Özgüz- Arkadan da bir son soru alayım.

Gözde Tütüncüoğlu- İsmet hocam; hatta sizin üniversitenizden, sizin öğrencinizim. Şimdi doktora yapıyorum yurtdışında. Bu araştırma projelerini incelediğimde görüyorum, ASELSAN büyük işler yapıyor, tamam, çok destek oluyor, ama Türkiye’de nanoteknoloji ve yarı iletkenler alanında ordu ve devlet desteği olmadan bir şey yapmak mümkün değil mi? Ben bunu merak ediyorum. Mesela, çok büyük çapta Avrupa Birliği projeleri var TANDEM güneş pilleri üzerine. Mesela ‘ERC European ERC Research Council’ diye büyük proje fonları var. Ya da özel teşebbüs olarak da -geçen bir konferansta gördüm mesela- Osram’da galyum nitrat LED’ler üzerine çalışıyor, nanotellerden yapmaya çalışıyorlar. Bu özel şirketlerle teşebbüs ya da böyle büyük araştırma projelerine katılıyor muyuz ya da ben mi bilmiyorum? Bunu sormak istedim.

Prof. Dr. Ekmel Özbay- Ben yanıtlayayım. Sanırım bütün hocalar için de şey yapacağım.

Tabii ki katılıyoruz, katıldık, katılmaya da devam ediyoruz. Fakat Avrupa Birliği projesi olsun, TÜBİTAK projesi olsun bunlar bir seferlik; başlıyorsunuz, bitiyor. Devamına yönelik bir devlet şeyi olmayınca... Sonuç olarak bir pazar oluşturmak, bir endüstri oluşturmak istiyorsanız, bir projeye bir kişi olmuyor hiçbir zaman. Bu bahsettiğiniz projeleri yapan büyük şirketler zamanında gerçekten konsorsiyumlar kurmuşlar, şey yapmışlar. Bizden 30-40 yıl önce başlamışlar. Bir-iki projeyle olacak şey değil. Yani ben kendimden söyleyeyim 20 tane böyle proje yaptım ancak bir-iki tanesinde bu üretim zincirini yakalayabildik; o da sanayiye arkamıza aldığımız zaman. O yüzden, hem Amerika’da, hem Avrupa’daki şu an bildiğimiz büyük teknolojilerin çoğu yine zamanla devlet desteğiyle... En şeyi Airbus mesela, devlet desteği ile yapılan bir şeydir. Amerika’daki çoğu şey de II. Dünya savaşında başlamış olan askeri destek ve sonunda onun ‘sivil’ dediğimiz uygulamasına geçmesi. Kaçınılmaz bir süreçten bahsediyoruz. Çin de aynısını yapıyor, Çin de devlet desteğiyle yapıyor.

Dr. Volkan Özgüz- Ben her şeyden önce dinleyicilere teşekkür edeyim bizi dinledikleri için. Ayrıca tüm katılımcılara da teşekkür edeyim.

Bunu Türkiye’nin geleceği için yeni bir fırsat olarak, biz hepimiz, burada oturanlar görüyoruz. Birkaç kere kaçırdığımız bir fırsatı bu sefer yakalamak istiyoruz ve birtakım başarı öykülerinin belki bugün pırıltılarını duyurmuşsunuzdur, daha büyüklerini de umarım yakında duyacaksınız.

Çok çok teşekkürler.

ELEKTRONİK SANAYİ OTURUMU – 1

Oturum Yöneticisi: Mahir Ulutaş (EMO)

Mahir Ulutaş (Oturum Yöneticisi)- Değerli konuklar, sayın katılımcılar; Elektronik Sanayi oturumunun birincisini başlatıyorum.

Bu oturumda dört konuşmacımız var. İlk konuşmacımız, Sayın Davut Yılmaz. Sayın Yılmaz bize, “Siber Güvenlik” konulu bildirisini sunacak.

Buyurun.

Siber Güvenlik

Davut Yılmaz (STM)- Siber güvenliği sağlarken, çok ciddi veri toplamak zorundayız. Çünkü saldırı gerçekleştikten sonra alınan tedbirler bir yana, saldırı olmadan tedbir alabilmek esas marifet. Bu topladığımız verilerden tahmin yapılmalı ve olabileceği görüp, buna göre tedbir alabilmeliyiz. Bu verileri analiz ederek, bizim data science dediğimiz, veri bilimi dediğimiz konularda yatırım yaparak, bu işleri engellemeye çalışan grubun 2018’de harcayacağı para 3,22 milyar Dolar olarak tahmin ediliyor.

Siber tehditlerin gelişimine baktığımızda, nereden nereye geldik? Aslında bugün modern anlamda anladığımız ilk siber saldırı 1977’de gerçekleşti. Bu, kaynaklardan kaynaklara değişiyor; ama önemli kaynakların çoğu, 1977’de ARPA’da, yani ARPA Net’te, Advance Search Project Agency’de gerçekleştiğini söylüyorlar. Biliyorsunuz, daha sonra bunun adının başına D geldi Amerika’da, DARPA oldu. İlk 1977’de. Zaten bilgisayarlar daha yeni yeni birbirine bağlanıyordu. 1977’de bir virüs ortaya çıktı. Sonra, 1990’lı yıllarda web siteleri çok popüler olmaya başladı, internet yavaş yavaş kendini göstermeye başladı. Tabii, bununla birlikte, insanlar, kurumlar kendilerini internette ifade etmeye başladılar ve duvarlar kırılmaya başlandı, web siteleri ele geçirildi. Bunlar çok basit saldırılardı. Sonra, 2000 yılında, hepiniz duymuşsunuzdur belki, “Melisa” zararlı kodu çıktı, bayağı bir hasar bıraktı. Artık internet vardı ve yaygınlaşmaya da başlamıştı. Sonra bir “I love you” krizi oldu 2003-2004’te. O da aslında çok basit bir Truva atı olmasına rağmen ciddi kurumlarda ciddi zararlara yol açtı. Sonra kimlik hırsızlığı başladı, 2000’li yılların ortasında, 2005-2006. Sonra yavaş yavaş iyice sofistike hale gelmeye başladı, kompleks hale gelmeye başladı; 2007’de, 2008’de artık organize olmaya başladı. Artık sadece bilgisayarın, ağın güvenliği değil, verinin güvenliği sorgulanmaya başlandı. Zira internetin gelişmesiyle çok ciddi trendler oldu. 1990’lı yılların sonundan itibaren her şeyi sayısal hale getirme trendi başladı; kamuda da, özelde de. Ama çoğu zaman olduğu gibi, sadece bizde değil bu, Türkiye’de değil, dünyada da öyle, çoğunlukla işlevsellik güvenliğinin önünde yürüdü. Yani ‘İlk önce biz bu kabiliyeti elde edelim, sonra bakarız’ mantığıyla yaklaşıldı. Bu, sadece bizim mantığımız değil, dünyada da böyle. Öyle olunca, sistemler saldırılara açık halde genişlemeye devam etti ve ondan sonra saldırılar, hacker grupları, organize suçlar derken, 2010’da artık bizim APT dediğimiz, (Advanced Persistent Thread) “Hedef Odaklı Saldırı” gelişmiş kalıcı tehditler çıktı. Stuxnet bunlardan bir tanesi, mutlaka duymuşsunuzdur. İran’daki nükleer programın engellenmesi amacıyla. (ABD ve İsrail’in kullandığı solucan yazılım)... Aslında temelinde çok basit bir USB memory ile yani en azından basit görünen bir USB memory ile yapılan bir saldırı. Çünkü sistem

kapalı; ama zararlı kod bir şekilde oraya, açık noktasından, USB memory vasıtasıyla girdi ve söylenen o ki, İran'ın nükleer programını 7-10 yıl geriye götürdü. O kadar basit bir şey aslında.

Günümüzde siber tehditler nereden nereye geldi, biraz onlarla ilgili bilgi vermek istiyorum.

2010 ve 2013 arasındaki basit bir karşılaştırma. Mesela, Amerika'da, 2010'da her hafta şirket başına düşen başarılı sızma girişimi 1,1 iken, 2013'te bu 2'ye çıkmış. 'Ne var bunda?' demeyelim; çünkü iki katına çıkmış aslında. Ondan sonra, bu sızmalara karşı alınan siber güvenlik tedbirlerinin zamanları artmış. Nereden nereye çıkmış? 14 günden 32 güne çıkmış. Ortalaması 32'den biraz daha fazla hatta. Bu, aslında şunu gösteriyor: Ataklar da sofistike hale geliyor, yani tedbir alması zorlaşıyor. Bunun bir de maliyeti var tabii. Yine şirket başına yıllık maliyeti 3,8 milyon Dolardan, 3 sene içerisinde 11,6 milyon Dolara çıkmış.

Peki, sanayi açısından baktığımızda, hangi sektörler daha çok hedef alınıyor? 2003-2014 karşılaştırması var. Tabii, 2015 verileri henüz gerçekleşmedi. İlk sırada daha çok paranın olduğu yerler; finans, sigorta ... sektörü. Ve de sanal paranın olduğu yerler aslında. Çünkü siber, sanal gerçeklik dedik. Yani sanal olan şeyi sanal ortamda hack'lemek, çalmak daha kolay. Hacker'ler ne yapacağını biliyor veya sadece hacker olmayabilir bunlar, devletler de var bazen bu işlerin arkasında.

2013'te ikinci sırada üretim varmış, üretim sanayi varmış, manufacturing. Onun yerini 2014'te bilgi ve haberleşme teknolojileri almış, üretim üçüncü sıraya düşmüş.

2014'te radara enerji girmiş. Enerji, bundan sonra, 2015'te, benim tahminim, çok daha önlerde olacak. Yani en azından payı yüzde 5 olmayacak. 31 Mart 2015 tarihi sizin için bir şey ifade ediyor mu, bilmiyorum; Türkiye'nin önemli bir kısmının karanlıkta kaldığı bir gün. Allah'tan gündüz oldu, gece olmadı ve de Allah'tan, çok uzun sürmedi. Sebebinin ne olduğu resmi olarak açıklanmadı; ama biraz bu konuya akıl yoranlar, basit bir sorun olmadığı konusunda hemfikir, ben de dahil olmak üzere.

Siber saldırıların şöyle de bir yanı var: Özellikle bizim gibi, biraz daha Doğu'ya yakın toplumlarda bunlar kusur olarak görüldüğü için, bunları açıklamaktan biraz imtina ediyoruz. Batılılar da aslında ilk başladığı zaman bu işleri öyle yapıyordu. Ama sonra baktılar, gizlemekle olmuyor. Gizlememek lazım; tabiri caizse, 'Kral çıplak' demek lazım, bilgiyi paylaşmak lazım. Aksi takdirde, bu tehditle mücadele etmek gerçekten çok zor.

Peki, nereye doğru gidiyoruz?

Hepinizin elinde cep telefonları, akıllı telefonlar var. Benim cebimde iki tane var, işim gereği, mecburen; birini özel, birini iş için taşıyorum. Bizim evde 5-6 tane var, dört kişilik bir ailede. Tabii, bu işle ilgilenenler, yani bu işi kendine meslek tutanlar da görüyorlar. Amerika'dan örnek veriliyor genelde; çünkü bu konudaki hem teknolojiyi yaratan, hem de kullanan öncü ülke olduğu için. İlk defa, 2014'te, desktop bağlantılarını geçmiş mobil bağlantılar. Yani bilgisayarlar üzerinden bağlantı mobil bağlantının gerisinde kalmış. Dolayısıyla, bu çok açık bir trend. Bir de internet of things (IOT) diye bir şey çıktı, duyuyorsunuz. Rakamlar çok enteresan. Rivayet muhtelif bu konuda. Bazı yerlerde 8 milyar, bazı yerlerde 25 milyar cihazın bağlı olduğunu söylüyorlar şu anda. 8 milyar diyelim. Dünya üzerinde 8 milyar cihaz da ciddi bir rakam ve buna şu anda 8 milyar cihaz bağlı diyen kaynak, 2016 yılı için günde 55 milyon cihazın daha bu IOT'ye dahil olacağını söylüyor. Her gün 55 milyon cihaz!

Tabii, ne oluyor? Bu işle ilgilenenler de, baktılar, siber saldırıları daha çok nereye yoğunlaştırmaları gerekiyor; mobil uygulamalara. Bir de bu mobil uygulamalar üzerinden para transferi de artık ciddi bir rakama ulaştı. 2015'te 400 milyar dolara çıkmış. Finans dedik, sigorta dedik; yani sektör orada, ortam orada, oraya doğru gidiliyor.

Bu zamana kadar hep Microsoft falan hackleniyordu; şimdi Apple'ın da hacklenmeye başladığını duyduk. Open source da tehdit altında. Bir kaynak 25 milyar diyor, ama başka bir kaynak 8 milyar diyor. Mesela, 2014'ün 1. çeyreğinden 3. çeyreğine kadar, online banka işlemlerindeki zararlı kod sayısı yüzde 34 artmış, yani 6 ay içerisinde yüzde 34 artıyor. Yani finansın ne kadar ciddi tehdit altında olduğunun göstergesi.

Nereye doğru gidiyoruz? Biraz önce dediğim gibi, büyük veri ve veri bilimi uygulamalarıyla yenilikçi çözümlere gitmemiz lazım. Biraz daha olayı duvara çarpmadan, öğrenerek, öncesinde tespit edip tedbir almamız lazım.

Kiralık hacker bulabiliyorsunuz; yani kiralık katil gibi, gidip, 'X kişinin elektronik postasını bana şu kadar paraya hack'ler misin?' dediğinizde, bu işin belli bir piyasası var. Pasaport bile yaptırabiliyorsunuz. Yani tahmin edeceğiniz gibi, en pahalı pasaport Amerikan pasaportu. Bizim pasaport listeye girmemiş. Büyük ihtimalle üstüne para bile veriyor olabilirler.

Bu, gayet organize gerçekten. İlk önce sizi izliyorlar, yani sisteminizi. Tek bir bilgisayarsa, ağ ise veya ağdaki herhangi bir bilgiyse, ciddi olarak gözetliyorlar, ondan sonra sisteminiz hakkında bilgi topluyorlar, sonra saldırıyorlar; ama siz hâlâ bilmiyorsunuz. İçeride belki 1 sene kalıyorlar, 2 sene kalıyorlar. Tabii, eğer ki kompleks bir sistemse; nereden, hangi bilgiyi alacaklarını veya nereye ulaşacaklarını daha önceden planladıkları için, o içeride kaldıkları sürece o yolları buluyorlar. Gidiyorlar, keşfediyorlar hedeflerini, ondan sonra alıyorlar, çoğunlukla da iz bırakmadan çıkıyorlar. Target hack'lendi. 10 milyon küsur kişiydi galiba. Amerika'da ciddi bir zincir Target. Kendisinin haberi yoktu hacklendiğinden, FBI bir şekilde haber verdi. Dedi ki, 'Hacklendiniz. Sizin üzerinizden 10 milyon kişinin kredi kartı çalındı.' Ondan sonra tabii, Target'ın CEO'su işinden oldu. Bu ciddi bir şey. 30 tane ülkede 100'e yakın banka ve finans kuruluşundan toplam 1 milyar dolar para çekmişler. Fark edilmemesinin nedeni de kendi kendine para basıyor ATM, başında kimse yok. Ondan sonra 'Ne oluyor?' dediklerinde bakmışlar ki, yaklaşık 2 senedir devam eden bir atak neticesinde sanal hesaplara paralar aktarılmış, 100'den fazla kuruluştan -bunların arasında ciddi bankalar da var- 1 milyar Dolar toplanmış.

Kritik altyapılar var burada; bunlar çok önemli. Artık bundan sonra sadece savunmada değil, saldırıda da kullanılacak. Dolayısıyla kritik altyapılarımızı, enerji altyapılarımızı... Sağlıkta ciddi kişisel bilgiler var. Finanstan bahsettik. Ulaşım çok önemli. Akıllı şehirler, bütün her şeyi sinyalizasyona bağlıyoruz internet üzerinden. Zaten Estonya'nın başına gelenler belli. Gürcistan'da, Rusya'nın harekâtı sırasında önce tamamen Telekom altyapısını çökerttiği, Gürcistan'ın bütün haberleşme imkânını sıfırladığı ve ondan sonra askeri harekâta başladığı zaten malum.

Hep siber tehditlerden bahsettik. Siber güvenlik neyle ilgili; teknolojiyle ilgili, süreçle ilgili. Sadece teknolojiyle ilgili değil; insan da var bunun içerisinde, mevzuat da var. Neyin güvenliğini alıyoruz; bilgisayarların, ağların ve verinin. Peki, neye karşı güvenlik alıyoruz; yetkisiz erişim, açıklıklar ve saldırılara karşı. Farkındalık çok önemli, yani eğitim şart diyoruz. Amerika'da Başkan Obama'nın direktifiyle her yıl ekim ayı 'Farkındalık Ayı' olarak ilan edildi. Bunu Avrupa Birliği de izledi. Farkındalık eğitimlerinin dünyada ulaştığı pazar 1 milyar Amerikan Doları. Sadece üniversitelerle bu işi çözemeyiz. Farkındalık eğitimi, artık çocuklar bile cep telefonu veya akıllı telefon kullanıyorsa, onlara kadar yaygınlaştırmalıyız; çünkü burada sadece kurumlar değil, kişiler de tehdit altında.

İnsan gücü... Amerika'da 209 bin açık kadro olduğu biliniyor şu anda. Türkiye'de bizler bu işlerle uğraştığımız için, nitelikli insan gücü bulmakta ve istihdam etmekte gerçekten çok zorlanıyoruz. İşyerlerinde de hizmet içi eğitim kapsamında siber güvenliğin önemini fark ettirmeliyiz.

Birçok alanda olduğu gibi, mevzuatımız maalesef burada da uygulamanın gerisinde geliyor. Mevzuatı yenilememiz lazım. Savunma, siber saldırı konseptini gündeme getirmemiz lazım. Kurumlar arası eşgüdüm, kamu ve özel sektör arası sıkı işbirliğine ihtiyacımız var.

Teknoloji olarak, ürünler olarak endüstride bizler neler yapmalıyız? Yerli ve uygun çözümler geliştirme ihtiyacımız var; çünkü kendi imkânlarımızla ancak kendi siber güvenliğimizi sağlayabiliriz. Milli güvenliğin bir parçası olarak bakmalıyız buna. Dediğim gibi, önleyici ve proaktif siber güvenlik çözümlerine ihtiyacımız var. Artık eskiden olduğu gibi, sadece bir tane anti-virüs uygulaması koyup, bilgisayarların, ağların ve verimizin güvenliğini sağlama devri maalesef geçti. Uygulama seviyesinde de önleme ve tespit yapmamız lazım. Yazılım kod güvenliğine mutlak suretle vurgu yapmamız ve bu konuda tedbir almamız gerekiyor.

Umarım, zamanında tamamlayabilmişimdir. Teşekkür ediyorum.

Mahir Ulutaş- Teşekkür ediyoruz.

Soru yöneltmek isteyen var mı acaba?

Salondan- Anlattıklarınızda kafama takılan çok önemli bir şey söylediniz. Bunlardan bir tanesi, hackerların giderek enerji sektörüne doğru yöneldiğini ve saldırıların da daha ciddi boyutlara geldiğini söylediniz. Ne kadar önlem alınıralsa alınsın, artık geline nokta kalıcı hasarlara gidilebiliyor. Hatta çok basit bir USB girişinden, sistem kapalıyken, İran'ın nükleer programında 7-10 sene geriye gittiğini söylediniz. 'Eyvah!' dedim ben, çünkü şu anda bizde kurulan 3 tane nükleer santral var. Bu nükleer santrallara yapılacak bir hacker saldırısı bir faciaya yol açabilir mi? Çünkü bu, başka şeye benzemez, yani enerjinin diğer kollarına.

İkinci olarak da, bunu yabancı ülkelere yaptırıyoruz. Biraz evvel yine örnek verdiniz; Rusya'nın, Gürcistan'ın ve Estonya'nın haberleşme sistemlerini önce felç ettiğini, sonra girdiğini söylediniz. Şu anda biz, nükleer santrallarımızı bildiğimiz kadarıyla 3 ayrı ülkeye, birini Rusya'ya, birini Japonya'ya -diğerinin de Fransa olup olmayacağı şu anda tartışılıyor- ihale etme durumundayız. Bir, hacker'lar saldırırsa, buna karşı alınacak önlem ne derece bunu koruyacak? İki, bu ülkelerle ticari veya siyasi anlamda bir kriz yaşarsak, onlar burada olmasa bile, siber bir saldırıyla bizim santralları gümlerler mi? Gümlmekten kastettiğim de sadece devre dışı bırakmak değil. Devre dışı bırakırsa, çözümünü bulursunuz.

Davut Yılmaz- 'Evet' cevabı vermek de zor, 'hayır' cevabı vermek de zor. Yani benim enerji sektörüyle ilgili çok tecrübem yok maalesef, ben bilgisayar mühendisiyim; ama evet, böyle bir risk var. Ama şöyle bir şey söyleyeyim: Bu sistemlerin kuruluşuna nüfuz edebildiğimiz oranda, ürettiğimiz teknoloji, bilgi birikimimiz oranında işin içerisinde olmaya çalışacağız tabii ki. IBM'in 2014 yılı incelemesinde, siber güvenlik açıklarının yüzde 94'ünün insan faktöründen kaynaklanan zafiyetlerle ortaya çıktığını vurgulanıyor. Yani aslında dediğim gibi, tamamen internetten bağımsız -Türk Silahlı Kuvvetleri başta olmak üzere, uygulayan kurumlar var- ağ kuruyorlar. Siz, internet üzerinden fiziksel olarak erişemezsiniz. Yani bu olasıdır, sizin söylediğiniz olasıdır; ama baktığınızda, evet, nükleer santrali yabancılar yapıyor, ama biz hâlâ daha F16 kullanıyoruz, yani müttefikimiz olan ülkelerin silahlarını kullanıyoruz, platformlarını kullanıyoruz. Dolayısıyla bu teknolojiyi sıfırdan kendimiz üretmediğimiz sürece, tedbirler almak şartıyla bunlardan sakınmanın mümkün olmadığını düşünüyorum. Ama risk var mı; evet, var.

Salondan- Söylemek istediğim şu: Bir uçağımız düşer, bu çok kötüdür; ama bir nükleer santral bombalamak için kendi uçaklarımız bile kullanılabilir bu çok çok kötüdür; ama bir nükleer santralin basit bir siber saldırıyla havaya uçurulması çok büyük bir tahribata yol açmaz mı?

Davut Yılmaz- Tabii, şöyle bir şey var: Bu çok ciddi politik bir olay. Şu anda saldırı konseptine bu konuda en ileri ülkeler dahi yeni yeni bakmaya başladılar. Sadece nükleer santral değil, geçen konulardan bir tanesi de şu: Çok büyük havzalardaki barajların kapaklarını açarak, on binlerce insanın sel altında yok edilmesinden filan bahsediliyor. Yani artık savaşların topla tüfekle yapılmayacağı... Bunlar konuşuluyorsa, bunlarla ilgili bazı şeyler bir yerlere de yazılıyordur diye tahmin ediyorum. Dolayısıyla bundan kaçış yok. Bizim çok daha fazla çalışmaya ihtiyacımız var.

Zamanım kısıtlı olduğu için, SCADA sistemlerinden hiç bahsedemedim. Şu anda Türkiye'de çok bir şey olmuyormuş gibi olması, ya olmadığı ya da bizim güvenlik tedbirleri aldığımız anlamına gelmiyor. Bir kere hedef olmaya görün, hedef olmaya başladığınız zaman, yani durumumuz çok parlak değil.

Endüstri açısından başka bir şey söyleyeyim. Cyber security lounges diye bir site var; 3 ayda bir dünyadaki en iyi 500 siber güvenlik şirketini yayınlıyorlar. Türkiye'den hiçbir tane şirket yok. Yunanistan'dan 2 tane şirket var, Türkiye'den yok, sıfır. İnşallah olacak. Yani biz geriden geliyoruz; çok hızlı koşmamız lazım. Dediğiniz gibi, çok dikkatli olmamız lazım. Ama korkunun da ecele faydası yok. Eğer enerjiye ihtiyacımız varsa, bu nükleer olur, elektrik olur, bunları da karşılamak zorundayız. Akıllı ve uyanık olmamız lazım.

Mahir Ulutaş- Sayın Davut Yılmaz'a çok teşekkür ediyoruz.

İkinci sunumumuzu, Bilkent Üniversitesinden değerli hocamız Prof. Dr. Levent Onural gerçekleştirecek. Konusu, Holografik Video Gösterim Teknikleri.

Buyurun hocam.

Holografik Video Gösterim Teknikleri

Prof. Dr. Levent Onural (Bilkent Üniversitesi)- Her şeyden önce, bu değerli davet için, çok kıymetli arkadaşım Prof. Dr. Sıddık Yarman'a teşekkürlerimi sunarım. Kendisini görmekten de çok mutlu oldum.

Ben Bilkent Üniversitesinde profesörüm. 28-29 yıldır Bilkent Üniversitesindeyim. Daha önce doktoramı Amerika'da, New York Eyalet Üniversitesinden aldım. ODTÜ'den mezunum. Çok uzun zamandır da üç boyutlu televizyonla uğraşıyorum. Bunların içinde de araştırmalarımı yoğunlaştırdığım yer, gerçek anlamda holografik televizyon. Her şeyiyle, ama daha çok gösterimiyle ilgili.

Biraz önce bir sunum izledik. Çok keyifliydi. Teşekkürlerimi sunarım. Sanal uzaydan bahsettik, sanal saldırılardan, sanal finanstan, sanal paradan, sanal hırsızlıktan bahsettik. Aslında benim de anlatacağım konu bu bağlamda bir önceki sunumla uyumlu. Ben de tamamen sanal görüntülerden, ortamlardan ve bunları nasıl üretebileceğimizden bahsedeceğim. Hayaletten bahsediyorum tam anlamıyla, 'Kelimenin tam anlamıyla hayalet üretebilir miyiz, hayalet ortamlarda bulunabilir miyiz?' falan.

Sunuma geçmeden önce, çok arkadaşça bir ortam gördüğüm için, biraz daha rahat konuşup sunumun dışına çıkmak isterim. Sunumumda biraz matematik var, ama can sıkıcı olmayacağı kanaatindeyim. Biliyorsunuz mühendis, bir yönüyle matematik, bir yönüyle tasarım; bu ikisini iyi birleştiren kişidir. Eğlenceli bir matematik sunumu yapacağımı düşünüyorum. Ama ondan önce, holografik herhangi bir şeyden ne anlıyoruz, bunu bir de ben özetlemek isterim.

Bu terim çok çekici. Bütün çok çekici isimlerde olduğu gibi, herkes kendi yaptığı işi bu ismin altına sokmaya çalışıyor. Biliyorsunuz, bazı mahalleler iyidir, orada oturanlar daha bir göğüslerini gere gere otururlar; bir bakarsınız, mahalle büyüdükçe, etraftaki herkes o isimle mahallelerini anmaya başlarlar. Bu, bunun gibi bir şey. Onun için ilk önerim, etrafta holografik diye size sunulan şeylerin holografik olduğuna inanmayın, bunların pek çoğu değil gerçek anlamda. Gerçek anlamda holografi şu, anlatması da kolay. Hepimiz buradayız, birbirimizi de görüyoruz diye düşünüyoruz. Acaba görüyor muyuz? Zannedersen, herhalde hepiniz benimle hemfikir olacaksınız. Benim gördüğüm şey kesinlikle sizler değilsiniz -bu besbelli- sizin gördüğünüz şey de ben değilim. Neyi görüyoruz peki? İki tane küçücük gözbebeğimiz var ve iki tane gözbebeğinden içeri giren ışığı görüyoruz hepimiz. Dolayısıyla hepimiz şu anda bir ışık, üç boyutlu hacmi dolduran bir ışık, odanın her yerini dolduran bir ışık denizinin içinde yüzmekteyiz. Hareket ettikçe, gözümüze değişik yerlerden bu içinde bulunduğumuz ortamın ışığı girmekte. Işığın kaynakları var. Ampuller, pencereden giren ışık filan, bunlar etraftan yansıyor, etrafın optik özelliklerini taşıyarak uzaya yayılıyor, biz de o uzayın içine girdiğimizde gözümüze giren ışığı görüyoruz. Beynimiz muhteşem. Bu gözümüze giren ışıktan, her nasılsa sizleri ve ortamı çıkartmayı biliyor. Bu da aslında kolay bir konu değildir, ama oraya girmeyeceğim.

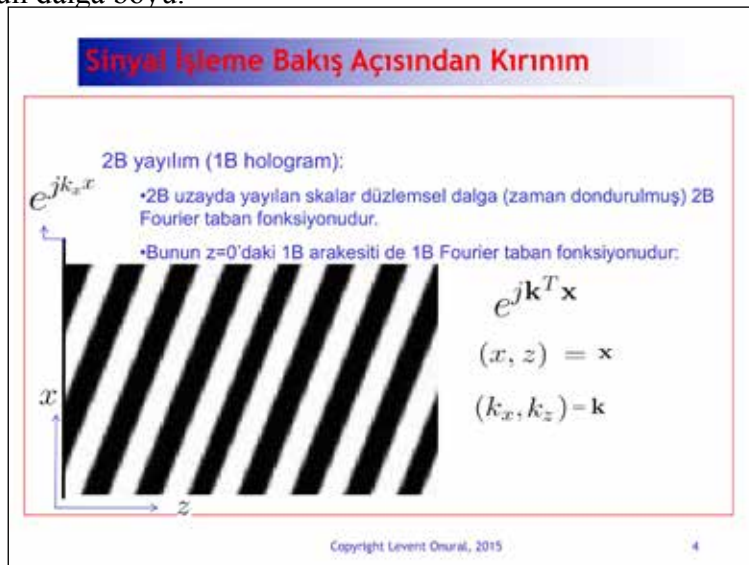
Holografik gösterim şu: İçinde bulunduğumuz bir üç boyutlu ortamdaki ışığı bütün gerekli özellikleriyle kaydedebilirsek, bu kaydettiğimiz bilgiden de başka bir ortamda veya başka bir zamanda aynı ışığı, tıpkısını üretebilirsek ne görürüm? Şimdiki ışıkla aynı ışık gözümde girdiğine göre, tamamen şu anda ne görüyorsam, onun aynısını görürüm. Holografik prensip bu. Işığı, ama uzayı dolduran üç boyutlu ortamdaki ışığı -ki, üç boyutlu çekim de şart değildir, o bilgi başka yerlerde de bulunur- bir biçimde kaydedip tekrardan gösterebilmemiz lazım. Bu mümkün. İsterseniz, hemen normal video kameralardan ve normal televizyon gibi bir ekrandaki gösterimlerden farkı da vurgulamakta yarar var.

Şimdi kullandığımız bütün video algılayıcılar ışığın şiddetini çekiyorlar. Çok sayıda piksel var, iki boyutlu ortamda dizilmiş bir piksel var. Şu anda zaten 2K televizyonlar yaygın. Çok sayıda piksel var, ama sadece ışığın şiddetini kaydediyorlar. Şu anda içinde yüzdüğümüz ışığın tıpkısını üretebilmek için, her pikselin üzerinde sadece şiddeti değil, yön dağılımını da bilmemiz lazım. Yani bir piksele ışık geliyorsa, şu anda her yerden gelen ışığın toplamının karesi, şiddeti kaydediliyor. Onun yerine, bizim her yönden o piksele gelen ışığın dağılımını kaydedebilmemiz lazım. Her pikselde bunu yaparsanız, her pikselde, ‘Şu yönden şu kadar kırmızı, öbür yönlerden şu kadar’ falan, bütün pikseller üzerinden bunu becerebilerseniz, üç boyutlu ortamı tekrardan kurmak için gerekli bilgiyi oluşturabilirsiniz. Bu metot, ışınlara dayalı bir gerçek üç boyutlu gösterim türü.

Bu arada, terim olarak gerçek üç boyutlu gösterimi kullandım. Gerçek üç boyutlu teknik, tam size söylediğim şey; ortamdaki ışığın gerekli bütün fiziksel özelliklerini -ki, o şiddetten daha fazla- kırılım temelli sinyal işlemede düşünürsek, ışığın fazı diyelim. Fazı ve yönü esasen eşdeğer bilgilerdir. Her piksel üzerinden ışığın yön dağılımını da bilmeniz gerekir.

Ben size bugün, ilk önce biraz matematikten bahsedeceğim. Sebebi de şu: Benim anlatacağım holografik gösterimler kırılımla ilgili. Dolayısıyla ışık sizden bana doğru gelirken kırılıma uğrayarak geliyor. Ben burada, bu ortamdaki üç boyutlu bilgiyi kaydetmek istersem kırılım kaydetmek durumundayım. Eğer üç boyutlu ışığı başka bir ortamda veya başka örneklemede tekrar geriye getirmek istersem, kaydettiğim bu kırılımdan tekrar bir kırılım yaratarak o üç boyutlu ortamı geriye getirmem lazım. Dolayısıyla kırılımın matematiğinden birazcık bahsetmek isterim. Bahsetmemin sebebi de şu: Hepinize esasen bu optikteki en zor konunun -ki, kırılım, optikte en zor konudur, derslerde falan anlatması da zordur, benim diyen kişilerin anladığından da emin değilim- kırılımın matematiksel ve özellikle benim konum olan sinyal işlemeye bakıldığında ne kadar rahat anlaşılabilceğini sizlere göstermek için yürüyeceğim. Hemen başlayalım.

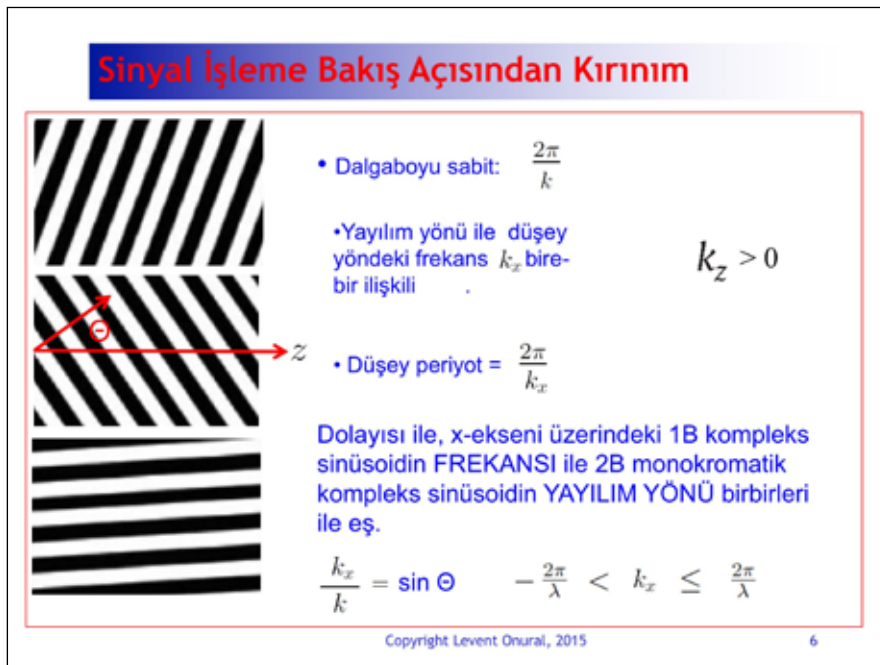
Hepimiz elektrik mühendisiyiz. Dolayısıyla uzayda yayılan dalgaları biliyoruz. Bir tane düzlemsel dalga düşünelim. Bu düzlemsel dalga, elektromanyetik dalga; ama ben, elektromanyetiğin 3. boyutundan bahsetmeyeyim. Uzayda bir yönde yayılan düzlemsel bir dalgadan bahsediyoruz. Kolay olsun diye iki boyutlu bir şekil çizdim. Bu, iki boyutlu uzayda şöyle yayılıyor, o tarafa doğru gidiyor. Bunu aldık, kompleks iki boyutlu uzayda yayılan basit düzlemsel dalgayı yazdık. Tek renkli ışıktan bahsediyoruz kolay olsun diye. Bunu geliştirebilirsiniz. Tek renkli ışıktan bahsettiğimiz şey, uzayda yayılan dalga boyunun, yani şu iki tepe arasındaki dalga boyunun sabit olduğu -o sabitin de ne olduğu belli- Z pozitif yönünde giden dalgalarla ilgilenelim, çünkü kafamızı karıştırmak istemiyoruz. Sizin dikkatinizi çekeceğim yer şurası. İki boyutlu uzayda olduğuna göre, dalga boyu sabit, değişik yönlerde yayılan bir dalga düşünelim; yani bu dalga böyle dönebilir, şöyle dönebilir falan. Dönerken, şu ekseninde bir ara kesitini alırsak ne oluyor? Göreceksiniz ki, orada da bir sinüs dalgası var. Yalnız, bu sinüs dalgasının buradaki dalga boyu ışığın dalga boyundan farklı. Bakın, şuradan başlıyor, şurada bitiyor, çok daha uzun dalga boyu.



Bunu göstermemin sebebi şu: Eğer tek renkli ışıktan bahsediyorsak, bu ışık uzayda değişik yönlerde gidiyorsa, yön, eşittir şuradaki dalga boyu. Bu iki bilgi birbirine denk. Eğer ki ışık tam olarak karşıya doğru giderse, buradaki dalga boyu çok büyüyecek, sonsuza doğru gidecek veya tam yukarı ya da tam aşağı gidiyorsa, X eksenindeki dalga boyu da ışığın monografik dalga boyuna eşit olacak. Aradaki her bir değeri de alabilir.



Burada buna değişik örnekler var. Bakın, bu dalga aşağı doğru gidiyor. X ekseninde kestiğiniz zaman çok sık aralıklar var. Şuradaki dalga şu yönde yayılıyor. Yine şurası sabit, çünkü tek renkli. Frekansa baktığımız zaman değişmiş. Şurada yüksek, burada daha düşük, burada daha düşük.



Bu ilişki, esasen anahtar bir ilişki. Şurada, demin size gösterdiğim ışığı yazdım. Onun genliğini değiştirdik, sadece genliğini değiştirdik. Sinyal işlemeciler hemen farkındalar. Bahsettiğim bu iki boyutlu kompleks sinüs dalgası Fourier dönüşümünün temel fonksiyonları. Herkes zaten sabah akşam bu fonksiyonlarla yatıp kalkıyor.

Sinyal İşleme Bakış Açısından Kırınım

Bu gözlemi 3 boyuta taşımak kolay:

$$\mathbf{x} = [x, y, z]^T \quad \mathbf{k} = [k_x, k_y, k_z]^T$$

uzamsal frekanslar

$\mathbf{k}$ yönünde yayılan bir düzlemsel dalga :

$$A_{2D}(k_x, k_y) \exp(j\mathbf{k}^T \mathbf{x}) dk_x dk_y$$

Düzlemsel dalganın genliği

3B Fourier taban sinyali

Copyright Levent Onural, 2015

7

Aldım dalgayı, değişik yönlere gittikçe, benim o X yönündeki frekansım değişti. Her frekansta değişik bir genlik koydum, hepsini birden topladım. Üç boyutlu, içinde yüzdüğümüz ışığı yazdım şurada. Tek renkli yalnız. Gördüğünüz gibi, model kolay ve ayrıca, hepimizin bildiği ters Fourier dönüşümlü.

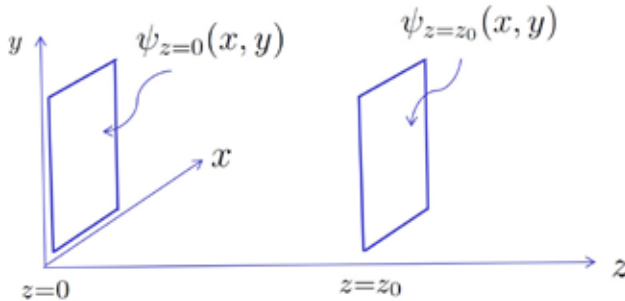
Sinyal İşleme Bakış Açısından Kırınım

$$\psi(\mathbf{x}) = \int_K A_{2D}(k_x, k_y) \exp(j\mathbf{k}^T \mathbf{x}) dk_x dk_y$$

Işığı düzlemsel dalga
bileşenlerine ayrıştırma

3B hacimdeki ışık

düzlemsel dalga bileşenlerinin toplanması



Copyright Levent Onural, 2015

8

Şurada, bu üç boyutlu ışığın bir bu düzlemde ara kesitini aldım, bir de uzaktaki bir düzlemdeki ara kesitini aldım.

Ne yaptım? Şu grafik, benim Fourier fonksiyonum. Genliklerini değiştirdim, bütün olası frekanslar üzerinden topladım, sonra da ilk düzlemde kestirdim, önüme böyle bir şey çıktı. Fourier dönüşümüydü zaten bu, ters Fourier dönüşümü. Uzakta bir yerde kestirdim. Uzakta bir yerde kestirdiğim zaman, yerine koyduğum zaman şunlar çıktı. İşte size sinyal işlemecilerin her gün kullandığı bir formül.

İki boyutlu uzayda bir Fourier dönüşümü al, genlikleri bul, uzağa taşı, ters Fourier dönüşümünü al, bitir. Bu, zamanla değişmeyen doğrusal bir sistem gösteriyor bize, iki boyutlu sadece. Gerçek hayatta da bunun üç boyutlusu var. Yalnız, 3 boyutlusunu ekrana yazmak istemedim karışık olur diye. Kolay da ayrıca. Bakın, bütün frekanslar da aynı biçimde geçirgen; çünkü şiddeti değişmiyor, genliği değişmiyor, sadece bir faz filtresi. Yalnız, faz filtresinin şu değişken kısmı biraz bizim çokça sevdiğimiz bir matematiksel gösterim değil; yani integralleri filan zor, ama yapılıyor.

Sinyal İşleme Bakış Açısından Kırınım

$$\psi_{z=0}(x, y) = \int_{k_x^2 + k_y^2 \leq k^2} A_{2D}(k_x, k_y) \exp[j(k_x x + k_y y)] dk_x dk_y$$

$$A_{2D}(k_x, k_y) = \frac{1}{4\pi^2} \mathcal{F}_{2D} \{ \psi_{z=0}(x, y) \}$$

$$\begin{aligned} \psi_{z=z_0}(x, y) &= \iint_{k_x^2 + k_y^2 \leq k^2} A_{2D}(k_x, k_y) e^{jz_0 \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2}} \exp[j(k_x x + k_y y)] dk_x dk_y \\ &= \mathcal{F}_{2D}^{-1} \left\{ \mathcal{F}_{2D} \{ \psi_{z=0}(x, y) \} e^{jz_0 \sqrt{k^2 - k_x^2 - k_y^2}} \right\} \end{aligned}$$

Transfer fonksiyonu

Copyright Levent Onural, 2015

9

Sinyal İşleme Bakış Açısından Kırınım

•Dolayısı ile, iki paralel düzlem arasındaki girdi-çıkı ilişkisi 2B bir zamanla değişmeyen doğrusal bir sistem olarak karşımıza çıkar:

•Yalnızca yayılabilen dalgalar dikkate alındığında, bu sistemin transfer fonksiyonu:

$$H_z(k_x, k_y) = \exp \left[j(k^2 - k_x^2 - k_y^2)^{\frac{1}{2}} z \right] \quad \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \leq k$$

•Buna karşı gelen dürtü tepkisi (Sherman, 1967, Lalor 1968):

$$h_z(x, y) = \frac{1}{j\lambda} \frac{\exp(jk\sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \cos \theta.$$

•Böylece

$$\psi_{z=z_0}(x, y) = \psi_{z=0}(x, y) ** h_z(x, y)$$

Bu ilişkiye Rayleigh-Sommerfeld kırınım ilişkisi denir.

Copyright Levent Onural, 2015

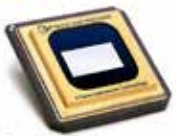
10

Çok ufak bir yaklaştırmayla bu arada, uzayda yayılan dalgalarla ilgili ve birkaç dalga boyunun ötesindeyseniz bu formül geçerli. Zor olan girdi çıktı ilişkisinin hiç de zor olmadığını anladık ve bildik sinyal işleme kavramlarıyla da kolay anlaşılabilirliğini anlattık. Matematiği bitirdim.

Holografik 3DTV

Sadece faz SLM'i

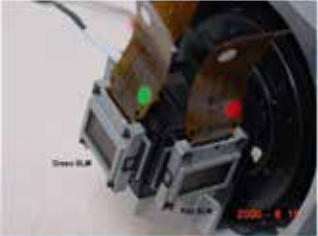
- SLM nedir?



DMD – Texas Instruments



Holoeye – Phase-only SLM



Projektörün içi

Copyright Levent Onural, 2015

11

Gelelim mühendisliğin öbür ucuna. Bu matematiği biliyoruz; ama bunu kullanarak neyi, nasıl yapacağız? Etrafta uzun yıllardır var olan ve gittikçe daha da düzgünleri çıkmakta olan, İngilizcesi spatial light modulator, Türkçesi belki uzamsal ışık modülatörü diyebileceğimiz bazı aygıtlar var. Esasen bu aygıtlar da tanidik. Bakın, bu projektörün içi bu, tipik bir iç görünüm. Üç tane var, her renk için ayrı. Yukarıdaki cihazlardan bahsediyoruz. Bunları çıkarırsanız şöyle bir görünümü var. Etrafta bunların yenileri de vardır. Bunlar biraz eskide kaldı. Bu aletler piksellerden oluşuyor. İçinden ışık geçerken, bir tarafından verdiğiniz ışığı öbür tarafına aktarırken, ışığın hem genliğini, hem fazını ya da bu ikisinden birini değiştiriyor. Etrafta bulunanlar genellikle bunlardan bir tanesini değiştiriyorlar; ama değişik tekniklerle hem fazını, hem de genliğini değiştirebilir şekle getirmek de mümkün.

Bizim Bilkent Üniversitesinde geçtiğimiz yıllarda -bunlar biraz eski sonuçlar- neler yaptığımızı anlatayım. Biz Bilkent Üniversitesinde hayalet video üretebiliyoruz, aşağı yukarı 6-7 yıldır. Gerçek anlamda biraz önce anlattığım tekniklerle, demin bahsettiğim matematiğin devamlarını falan kullanarak, uzaya hayalet yazıp gösterebiliyoruz. Bu gösterimlere örneklerden sunacağım sizlere. Yalnız, bunlar küçük. Biraz sonra boyutunu sizlere göstereceğim videoyla beraber.

Real 3D Projesi

Real 3D

Bilkent Üniversitesinde geliştirilen holografik gösterici:



(a)



(b)

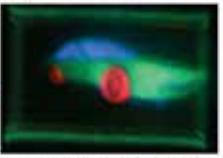


(c)

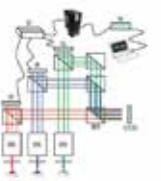
L. Onural, F. Yaraş and H. Kang, "Digital Holographic Three-Dimensional Video Displays", *Proc. of the IEEE*, vol 99, no 4, pp 576-589, Apr 2011.



(a)



(b)



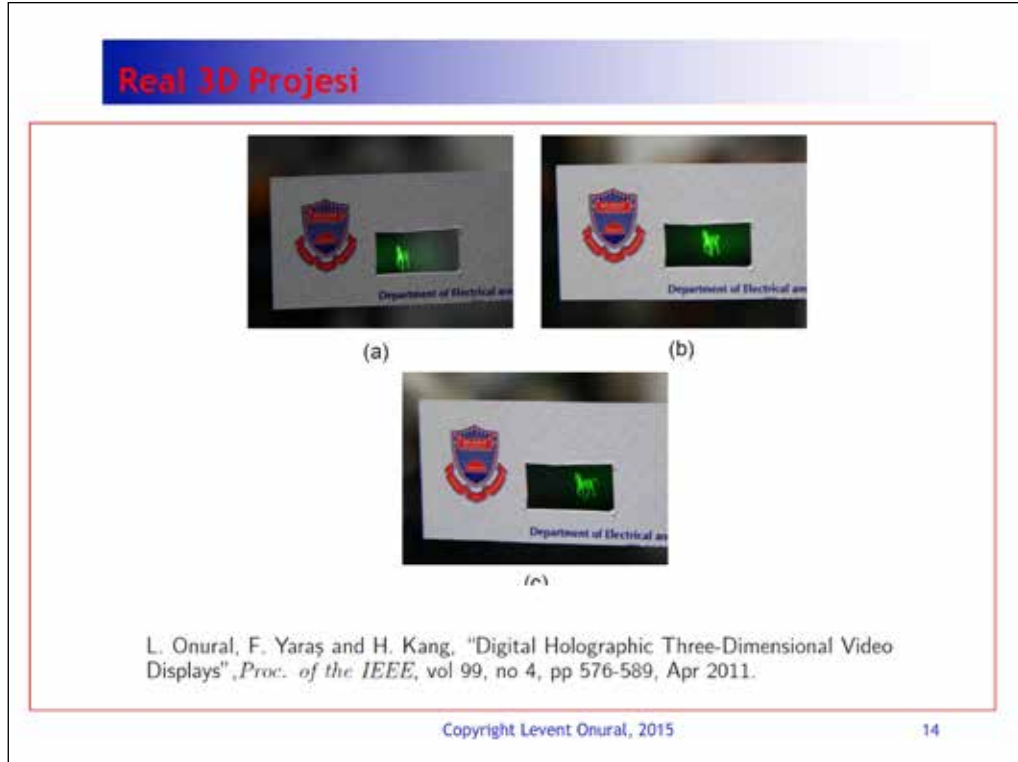
F. Yaraş, H. Kang and L. Onural, "Real-Time Phase-Only Color Holographic Display System Using LED Illumination", *Applied Optics*, vol 48, no 34, pp H48-H53, December 2009.

Copyright Levent Onural, 2015

12

Burada, telden bir fiziksel cisim var; bu cisim bir piramit. Aşağı yukarı 2 santim size doğru, birer santim de tabanı. Yani piramidin 1 santimlik bir tabanı var, 2 santimlik de yüksekliği var. Video değil bu, duran bir görüntü. Bir tane bizim ürettiğimiz hayalet üç boyutlu görüntüyü koyduk, görüntüyü koyduktan sonra da değişik açılardan her ikisinin birden fotoğraflarını çektik ki, bulunduğumuz yer orada mı, gerçek ile uyumlu mu diye anlayalım istedik. Gördüğünüz gibi, bizim yarattığımız hayalet piramit orada, uzayda üç boyutlu olarak gayet güzel duruyor ötekinin yanında. Bir tanesi, elle dokunabileceğiniz moleküllerden oluşan bir piramit; öteki ise, rengi dışında görsel olarak ayırt edemeyeceğiniz, ama hiçbir zaman elleymeyeceğiniz, çünkü molekül olarak orada olmayan, sadece bir ışık duplikasyonu ile yanında duran hayalet.

Aşağıda, yıllar önce yaptığımız bir renkli, üç boyutlu holografı görünümü var. Şu, bizim fiziksel olarak elde ettiğimiz, etrafında dolaşılabilir. Bu orijinali.



Şimdi size, yine aşağı yukarı 4 yıl önce laboratuvarımızda kurduğumuz bir video gösterim düzeneğinden bahsedeyim. Holografik gösterime iyi örneklerden bir tanesi bu. Burada, demin gösterdiğim spatial light modulator'dan 9 tane var. Bunların her biri HD büyüklüğünde, 2K'ya 1K pikselleri var. Sadece ışığın fazını değiştirebiliyor. 9 tanesini dizdik. Şurada 4 tane, şurada da 5 tane var. Arada, zor görünen -ki, öyle olması gerekir- şurada biraz daha hissedilen bir yarıgeçirgen cam var, ayna. Yani bu, hem arkasındaki ışığı geçiriyor, hem de yansıtarak önündeki ışığı da alıyor. Orada olmasının sebebi, şu 4 taneyi bunların aralarına doldurup, hiç eksiksiz, arada boşluk kalmaksızın 9 tane spatial light modulator'ı dizmek için. Arada bilgisayarlar var; bunların üzerine yazılacak kırılım desenlerini hesaplayıp yazıyorlar. Bir lazer ışığı geliyor, bunlara çarpıyor, çarptıktan sonra oradaki kırılım bilgisini taşıyarak uzayda yayılıyor, bizim önceden söylediğimiz o üç boyutlu hayalet videoyu oluşturuyor; yani bir anlamda ışık heykeltıraşlığı diyebilirsiniz.

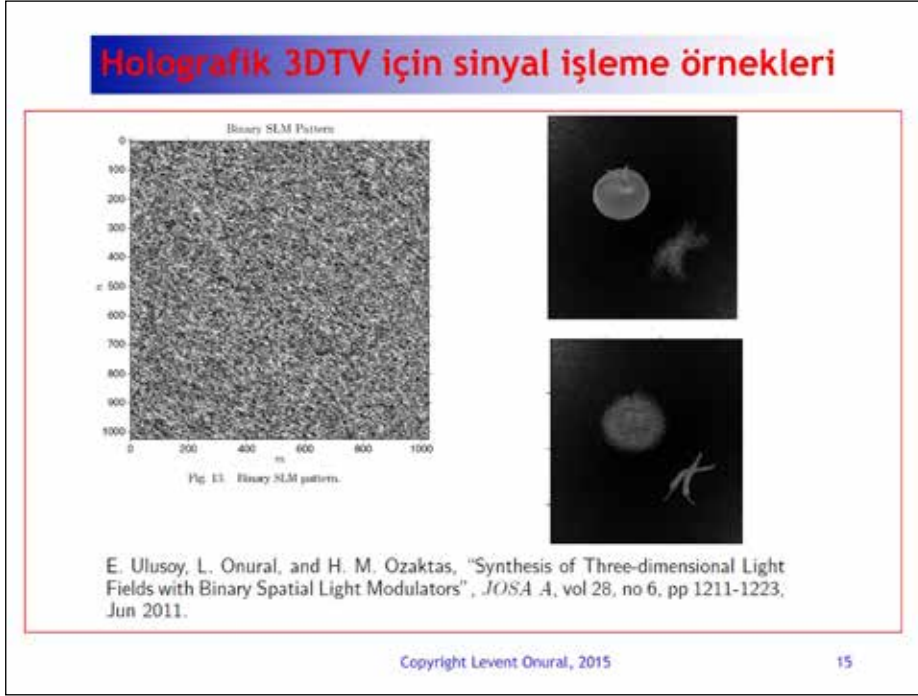
Buradan elde edilen bir-iki sonuç göstereyim.

Gördüğünüz gibi, hayalet video orada. Videosunu da göstereyim size. Yalnız, küçük bu. Bunu yapan doktora öğrencim Fahri. Bu, onun kartviziti. Kartvizitinde de 2 santime 1 santimlik kesilmiş bir boşluk o, boşluğun arkasında da koşan bir at var. Eğer gösterebilirim şu videoyu koyayım.

Bakın, kamera sağdan sola doğru oynuyor ki, atı yanlarından da görebileceğimizi size göstermek için. O at orada hayalet olarak tamamen boşlukta koşmakta. Küçük bir at boyu, 2 santime 2 santim bir küp içinde. Fakat atın resolution'u fena değil, yani bugünkü normal televizyonlarda ulaşabileceğiniz

resolution'da. Burada küçük olduğu için ve optik ortamdan gerçek bir görüntü çıktığı için biraz bozukmuş gibi hissedilebilir, ama değil. Bakın, yandan görüyorsunuz şimdi atı. Öbür tarafa doğru kayınca da tekrar bir geriye doğru döneceğiz.

Dolayısıyla, 'Hayalet gösterilir mi, var mıdır?' falan gibi sorulara, 'Evet, gösterilir, vardır' da diyebilirsiniz, hayaletler etrafımızda dolaşabilir.



Bu son bir-iki dakikada, eğer daha fazla bilgi isterseniz, bizim grubun yıllar içinde ürettiği bazı yayınlardan ufak tefek bilgiler vermek istedim. Fiziksel olarak bu işlemi yapabileceğiniz aletler kısıtlı. Örneğin, etrafta sayısal aynalar var. Bilirsiniz Texas Instruments'in bir aynası var, televizyonda kullanılıyor. Her bir piksel ışığı ya size doğru yansıtıyor, ya yansıtmıyor. İkili bir piksel dizisinden, ikili olmayan analog tekrar bir hayalet görüntü elde edilebilir mi; edilir. Cevabı burada. Bir hologram görüntüsü elde etmişiz üç boyutlu, değişik uzaklıklara da odaklamışız. Önde biberler var, arkada da domates var. Değişik sinyal işleme teknikleri kullanarak, ilgili matematiği kolaylaştıran yöntemlerimiz var, çıktı. Bir de bu kırılımda yıllar içinde bazı temel problemler var. Matematiği etrafta pek yok; ona da bazı katkılar yaptık.

İsterseniz, sunumumu burada bitireyim. Şöyle bir yorumla bitireceğim: Hayalet üç boyutlu video gösterilir mi; evet, gösterilir. 'Şimdi ne durumda?' derseniz, laboratuvar prototiplerinde küçük hayalet videolar oynatabilecek durumdayız yıllardır. Büyükleri olmaz mı, bugünkü teknolojiyle yapılır mı; yapılır. O konuda da çalışmalarımız sürmekte. Fakat tüketici elektroniği olarak evlerinize girer mi derseniz, bu, daha bir 10 yıldan önce olmaz. 10 yıl içinde olur mu, ondan da emin değilim. 10 yıl önce de 10 yıl diyorduk. Çocuklarım da bana diyor, 'Baba; 10 yıl önce olur demiştin, hâlâ olmadı' falan diye. Bunun sebebi şu. Fiziksel olarak bu alet yapılabilir, buna benim inancım tam. Bir gün de evlerimize mutlaka girecek ve öbür televizyonları da yok edecek, bu da kesin; çünkü ileri bir cihazdan bahsediyoruz, insanların seveceği bir şeyden bahsediyoruz. Fakat televizyonculuk ya da video, büyük çaplı standardizasyon çabalarından sonra ortaya çıkmakta. Bunu yürütecek çok büyük örgütlenmelerin çok uzun yıllar boyunca çalışmaları sonucunda, çekimden, video yapımcılığından, oynatımdan, iletimden gösterime kadar her şeyin değişmesi lazım. Bu kolay olmayabilir. Bu nedenle uzun sürebilir.

Teşekkür ederim.

Mahir Ulutaş- Hocamıza teşekkür ediyoruz.

Soru yöneltmek isteyen var mı acaba?

Memduh Yıldız- Hayalet videoyla ilgili bir sorum olacak. Eminim, duymuş olduğunuz bir video var; Kâbe’de gerçekleşen bir melek inme sahnesi var. Bu sahnenin insanlar için riskli olacağını düşünür müsünüz?

Prof. Dr. Levent Onural- Sahneyi bilmiyorum, ben görmedim. Fakat bu arada, internette dolaşan sahte videolar da var; ilk başta sizin dikkatinizi çekmeye çabaladım, ‘Herkesin holografik dediğine inanmayın’ falan diye. Mesela, arabada, yanında holografik bir kişiyle konuşan bir video var; o sahtedir. Etrafta, benim size gösterdiğimden daha öteye fiziksel olarak yapımı yok bunun, bulamazsınız. Bunun teknolojisi şimdilik bu. Fakat hayal gücü geniş insanların... Zaten biliyorsunuz, sinemalarda filan da onlarca yıldır, hayaletle konuşan insanlar, Uzay Yolu filmlerinde filan şeyler var. Onun cevabını bilmiyorum, ama şöyle söyleyeyim: Yıllar önceki, yani 20 yıl kadar önceki bir Ortadoğu savaşında -Irak’tan bahsediyoruz- ‘Şöyle bir şey olsa, savaşta avantaj sağlamaz mıydı?’ falan diye fıkra anlatılıyordu etrafta. Bir gün, orada insanlar bir şehirde dolaşırlarken, birdenbire gökyüzüne bakacaklar, beyaz sakallı birisi bir şeyler diyor, ‘Hemen evinize kaçın!’ falan gibi. Hayal gücü hepsi, fıkra ortamında anlatılan şeyler. Etkisi olur mu? Yapılırsa etkisi olur. O kadar büyük yapılabilir mi; şimdiki teknolojiyle olmaz, ama bir gün belki olur.

Mahir Ulutaş- Buyur hocam.

Salondan- Bize Orlando’da yıllar önce üç boyutlu hologramlarla, çok gerçekçi hologramlarla bir oyun oynadılar. Oradaki teknoloji farklı bir teknoloji mi acaba?

Salondan- Biraz farklı. Ben, Orlando’da yıllar önce başka üç boyutlu sinema seyretmiştim. Bunlar genellikle ışığın fiziksel duplikasyonuna yönelik değil; çünkü o, hâlâ daha zor bir iş. Onun yerine, stereo videonun biraz daha gelişmiş gerek. Normal bildiğimiz video kameralarla, ama çok fazla sayıda video kamerayı küresel bir kubbe gibi bir yerin içine dizerek her yönden çekilmiş 100’e yakın, belki daha fazla videoyla çekilmiş iki boyutlu gösterimlerin bir araya getirilmesinden oluşan ve algılama yanılgısı yaratarak bir üç boyutlu hissini veren ortamlar onlar. Bir sıkıntı yok, gayet de güzel çalışır; fakat algılamayı yanıltarak. Ki, stereo filmler de öyledir. İnsan beyninin özelliklerini bilip insanı yanıltarak üç boyutlu his üreten sistemlere holografik denilmemesi yerinde olabilir. Holografıyı ayıran özellik, insan algılaması olmasa bile; yani hayvan da baksa, kamerayla da bakılsa, hâlâ daha fiziksel olarak ışığın duplikasyonuna dayandığı için gerçek üç boyutu veren sistemlere holografik denilmesinde yarar var. O örnek, teknolojinin ulaştığı üst düzeylerden bir tanesini gösteriyor ve gerçek üç boyutlu gösterimde, kameraların sayısı arttıkça yaklaşır; çünkü değişik yönlerden ışığı çekebilme özelliğine sahip, fakat holografik değil. Holografik yöntemler hâlâ daha biraz uzakta maalesef.

Prof. Dr. Sıddık Yarman- Çok teşekkür ediyorum sevgili Levent.

Benim de sorum çok benzerdi. Kaliforniya’da, yine benzer, ama karanlık ortamda oynatılan dinazorlar, kelebekler, canavarlar vesaireler vardı. Ama sen şimdi onun cevabını vermiş oldun. Çok çok teşekkür ediyoruz. Gerçekten çok ciddi bir katkı. Her ne kadar salon çok kalabalık değilse de, bence çok faydalı oldu, öğrenmek isteyenler öğrenmiş oldu. Sağ ol, var ol.

Prof. Dr. Levent Onural- Ben teşekkür ederim.

Mahir Ulutaş- Buyurun.

Hakkı K. Ocakaçan- 1973’te bir şey yapmıştı hocalarımızdan bir tanesi lazer teknolojisiyle bir şov yapmıştı. 1973’ten bugüne geldiğimizde, bir 40 yıl daha gider mi, bilmiyorum, ama çok mu pahalı şu anda? Bunu teknolojik olarak laboratuvarda üretmek ayrı bir şey tabii; ama bunu seri üretip almaya kalktığımızda, çok inanılmaz büyük yatırımlar mı gerekiyor, o yüzden mi buna ilgi gösterilmiyor? Çünkü konuştuğumuz şey 3 senelik, 5 senelik bir şey değil. Bir cep telefonu da 2-3 senelik bir şey ve ciddi teknolojik gelişmeler hayata geçiyor.

Prof. Dr. Levent Onural- Bugünkü hızlı dünyada bile bizim üniversitelerde düşünüp taşınıp, bilinmeyen biliniyor yapıp -üniversitelerde yaptığımız araştırmalardan bahsediyorum- prototiplerini

geliştirip, hatta standardizasyon adımlarını atıp -bütün dünyadaki ilgili kişiler, yüzlerce kişi ve şirket, bazen hükümetlerin ilgili kişileri falan da var- standartlaşma işlerinin yapılması bile ürüne dönüştüğünde aşağı yukarı 20 yıl alıyor. Onun için, o cep telefonları son bir-iki yılın ürünü falan değil, 20 yıl önce yapılmış işlerin bugünkü görüntüleri. Buna örnek olarak, mesela 1990'ların başında, laboratuvarın önemli bir katkısıyla MPG 4 standardını bitirdik. 25 yıl öncesinden bahsediyorum. Şimdi, evlerimizdeki televizyonlarımızda geliyor, sayısal ortamlarda ve 4-5 yıldır var. 20 yıllık bir gecikme var. Endüstriyel ürüne dönüştürme çok değişik faktörlere bağlı. Bunlardan bir tanesi maliyet, ama ben maliyeti önemli bir unsur olarak görmüyorum üretimde. Çok sayıda üretildiği zaman, bunun üstündeki fiyat esasen fikri mülkiyet haklarından ibaret. Geri kalan her şey seri üretimle çok ucuza üretilebilir.

Bir, burada teknolojik darboğazlar var. İkincisi de, bütün televizyon ve sinemacılık ortamında toptan bir devrimsel değişim söz konusu. Tabii ki, eski sistemin kendi momentumuyla tutuculuğu gündemde.

Teknolojik sıkıntı şurada: Çok sayıda piksel lazım, şimdikinden çok daha fazla. Şimdi televizyonlar, en iyileri 4K, 8K'dan bahsediliyor filan. Benim bahsettiğim şeyler 32 megayla filan olacak şeyler değil; bunların 100 katı, 1000 katından filan bahsediliyor. Çok sayıda piksel lazım. Olmaz mı; olur. Geçmişe bakarsanız, kaç pikselle ne yapıyorduk?

İkincisi, optik teknolojisi, kırılım ve buna hâkimiyet. O hâlâ daha birtakım çabalar gerektiriyor. Benim laboratuvarımdan mesela geçen yıl çıkmış iki tasarım var, patent müracaatları yapılan. Şimdiki teknolojiye yakın, bildiğimiz likit kristal displaylerden, ama çok sayıda dizerek. Hani şu yüksek rezolusyonlu cep telefonlarının şeyini çıkarıp çok sayıda dizerek filan birtakım sistemlerle mümkün bunlar. Üretilemez mi; bir gün üretilir, evlerimize de gelir; ama hâlâ daha uzun zaman var.

Salondan- Gözlüksüz üç boyutlu televizyonlar üretiliyor, önümüzdeki günlerde gelecek, prototipleri var. Orada kullanılan teknolojiyle bu aynı değil.

Prof. Dr. Levent Onural- Değil, tamamen farklı. Oradakiler de hâlâ daha insan görsel sistemini yanıltmaya dayanan sistemler. Bunlarda hâlâ daha çoklu videolar var. Aşağı yukarı o etraftaki prototiplerinde 7-8 video var. Çok değil bu sayı. 7-8 videodan sonra 2 tane sistem var. 2 tane LCD var, birbirinden şöyle aralıklı duruyor, bir tanesi kafes gibi. Bir gözle bakınca başka pikseller, öbür gözle bakınca başka pikseller görünüyor. Gözlüksüz olarak iki göze başka başka video gittiği için, üç boyutlu algı mümkün. Bazılarında da önünde silindirik çok ince lensler var; eskiden çıkletlerden çıkardı şöyle oynatınca falan bir şeyler. Elinizi sürünce tırtıklı bir şey var üzerinde. O tırtıklıdan yapıştırılıyor normal televizyonun üstüne. Aynı biçimde, ışığı değişik yönlerde başka kırarak, arkadaki piksellerin değişik setlerinin sol göze, başka değişik piksellerin sağ göze gitmesini sağlıyorlar. Onun için gözlüksüz görünüyor ve iki göze ayrı görüntü getirdiği için üç boyutlu algılanıyor, algılanıyor sadece. Fotoğrafını çekemezsiniz mesela.

Salondan- Son bir soru soracağım. Türkiye'de televizyon üreticileri var. İki tane büyük konu var şu anda. Bir defa, muhteşem bir çalışma bu. Türkiye'de de teknolojinin önündeki bu çalışmaları görmek hakikaten keyif verici. Sizde de birtakım teklifler, istekler, danışmanlıklar, konuyla ilgili neler yaptığınızı merak eden bir tecessüs, o yaklaşımlar var mı?

Prof. Dr. Levent Onural- Bu şirketlerde çalışan değerli arkadaşlarım -pek çoğu da öğrencim bu arada- konuyla ilgileniyorlar ve zaman zaman da iletişimimiz oldu; fakat daha organik bir bağlantı geçmiş yıllarda Kore Samsung'la oldu. Samsung'un kendi araştırma merkezinde bununla çalışan bir grup var; onlar benim çalışmalarım ile yıllardır ilgilenirlerdi. Bir 2 yıllık danışmanlık yaptık onlara, epey bir bilgi alışverişimiz oldu.

Salondan- Çok teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Levent Onural- Ben teşekkür ederim.

Mahir Ulutaş- Çok teşekkür ederiz hocam.

Hocamızın sunumu karşısında bütün hologramla ilgili bilgilerimiz altüst oldu, hepsini resetlemiş

olduk. Hologram farklı bir şeymiş. Televizyonlarda, sinemalarda gösterilen şey gerçek hologram değilmiş; bunu anlamış olduk.

Teşekkürler hocam.

Şimdiki sunumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesinden Sayın Prof. Dr. Tayfun Akın gerçekleştirecek. Bildiri konusu, Türkiye'deki MEMS Teknolojilerinin Dünü, Bugünü, Yarını.

Biraz özgeçmişinizden bahsederseniz memnun oluruz.

Prof. Dr. Tayfun Akın (ODTÜ)- Teşekkürler.

Benim çalıştığım konunun adı yok diyeceğim. Çünkü Levent hocam bahsetti o kadar, Texas Instruments dedi, DNB dedi, bir tek bunun MEMS'le yapıldığını söylemedi. Benim teyzem nanoteknoloji duydu, çocuğum duydu; ama MEMS'i ben hâlâ her seferinde anlatmak zorunda kalıyorum, ne olduğunu.

1987 yılında ODTÜ Elektriği bitirdikten sonra Amerika'ya gittim, Michigan Üniversitesi'nde master ve doktora yaptım. Çalışmalarımdan bir tanesi çip tasarımıydı. Çip tasarımının nasıl olduğunu öğrendim. Çok şanslıydım diye düşünüyorum. Çipin nasıl üretildiğini de öğrendim, kendi çipimi kendim de ürettim. Ama bunun yanında bir şey daha öğrendim; bu çiplerin içinde sadece elektronik yapılmıyormuş, bir taraftan da mekanik de yapılmıyormuş. Bunu gördükten sonra onun da nasıl yapıldığını laboratuvarlarda gördüm, kendim yaptım birtakım şeyler. Sonra, 20 sene önce Türkiye'ye geldim ve 20 senedir, MEMS nedir, bunu anlatıyorum, mikro elektromekanik sistemler. Bununla ilgili önemli gelişmeler sağladık, güzel bir altyapı kurduk. Onunla ilgili hızlı bir geçiş yapacağım. Transistorlardaki gelişmeyi herkes biliyor. Bu bize beyin fonksiyonu sağladı gibi düşünüyorum ben.

Nedir beyin fonksiyonu? Sizin beyniniz var, sinyali alıyorsunuz, sinyali aldıktan sonra çok güzel işleyebiliyorsunuz; ama dışarıdan sinyal almanız lazım, görmeniz lazım, duymanız lazım, tat almanız lazım. Ona göre işleyeceksiniz. Bu gelişmelerin yanında, çiplerin içinde başka bir şey daha yapılmaya başladığını görüyoruz. Yani elektronik var burada, bunun yanında mikro mekaniği de koyarsanız, o zaman mekanik ve elektroniği bir çipin içine koyuyorsunuz; buna da mikroelettronik mekanik sistemler deniliyor, yani MEMS olarak adlandırılıyor.

Nedir buradaki mekanik? Mesela buradaki mekanik, aslında arabalarda hız ölçen bir yapı. Bir mekanik yaylı sistem var; herkes bilir. Aniden frene basarsanız, bir fors oluşuyor. Bir de yaylı sistemlerde $f = kx$ diye bir kavram vardır. O fors da bunu hareket ettiriyor. Hareket ettirince, parmaklar iç içe geçiyorlar, böylece kaza olduğunu anlıyoruz; çünkü kapasitans artıyor. Kapasitans arttığını buradaki elektronik devreyle anlayabiliyoruz. Bu yapıyla mesela 150 dolar olan bu algılayıcılar 5 dolara indirildi ve böylece bütün arabalara girdi. Hava yastıkları bunun algılaması sayesinde açılıyor. Hava yastıklarıyla başladı. Sonra bunlar bir müddet sonra cep telefonlarına girdiler. Herkesin cebinde var. Resmi alıyorsunuz, telefonu çeviriyorsunuz takla atıyor resim. Niye? Çünkü yerçekimini anlıyor bu ivmenin gelişinden, dolayısıyla o resmi hareket ettirebiliyor. Bunun gibi, aslında hayatımıza girmiş birçok örnek var. Bu projeksiyon cihazları da bunlardan bir tanesi.

Bunun otomotivde çok uygulaması var. Bugün ben, en az 40-50 tane algılayıcı var diyordum otomotivde, ama bu sayı daha da artmış durumda ve bunların çoğu MEMS teknolojisiyle yapılıyor. Yine optical sensors var; optical network için kullanılıyor, RF MEMS için kullanılıyor. Ama hocamın söylediği şey aslında 1 santime 1 santim içinde 1 milyon mikro aynanın olduğu bir yapı. Siz bunu el değmeden üretebiliyorsunuz çip üretim teknikleriyle ve bugün Boeing'de bile bu kadar mekanik parça yok. Bunu 1 santime 1 santim içinde yapabiliyorsunuz.

Renkli yazıcıların çok ucuzlaması yine bu sayede oluyor, MEMS'le yapılıyor. Bir taraftan deminki dediğim oyuncaklar bunlarla yapılmaya başlandı. Bugün de cep telefonunda ivme ölçerler, hatta odaklama yapan mekanik yapı aslında MEMS sayesinde yapılıyor. Bu deminki projeksiyon cihazı örneği de bir müddet sonra cep telefonunun içine girecek, direkt cep telefonunuzdan duvara yansıtacağınız projektörler çıkmaya başlayacak derken, çıktı herhalde. Onların bir-iki tane örneğini

piyasada görmeye başladık.

Son bir şey de bio uygulamaları. Burada da mesela küçük bir kandan algılama yapmak, yani bir çipin içinde laboratuvarı oluşturmak mümkün ya da acısız iğne yapmak mümkün olacak. Bu, mesela beyne verdiğiniz bir elektrot. Takabiliyorsunuz beyne ve buradan sinyallerden gelen akımları alabiliyorsunuz. Bu bir iğne deliğinden geçmiş durumda; yani genişliği 60 mikron, kalınlığı 10 mikrometre. Yani saç çapının 5'te 1'i kalınlığında bir iğneyle bunların bir sürüsünü koyup, direkt beyinle interference yapmaları da mümkün olacak. Mesela, hafızamın şuradan bir USB bağlantısıyla artacağını ümit ediyorum, gerekli olduğunu düşünüyorum.

Ben bu konuda 1989 yılında çalışmaya başladım, 26 yıldır MEMS'te çalışıyorum. 1994'te doktoramı aldım, 1995'te Türkiye'ye geldim. Şu anda çok hızlı artan bir marketi var bunun buradaki ürünler bazında, ama bio konularında özellikle çok artış olacağı da görülüyor. Burada ünitelerin sayısı da enteresan. Yani şu anda 12 milyar ünite satılıyor bunlardan, ama gittikçe fiyat düşüyor tabii çok satıldıkça. Dolayısıyla marketteki hız bu kadar değil, ama yüzde 25 artan bir kullanımı var dünyada.

Biz 1990'da başladık bu konuyla ilgili. Belki bildiğiniz bir hikaye vardır; TESTAŞ diye bir tesis vardı çip üretimi için Ankara'da kurulmuş, Türkiye'nin ilk ve tek çip fabrikası olarak. Biz burayı devraldık. Burada, çip üretimi için geciktiğini hissettik ama MEMS olabileceğini, üretilebileceğini düşündük. Şu anda bir merkez haline döndük. 100 küsur mezunumuz var. Bundan biraz daha geçmiş sayılar patentlerimiz. Yaptığımız bir sürü proje var ve aslında bunların sanayileşmesi için de çalışmalarımız var. Yani bir taraftan büyük savunma şirketleriyle çalışırken, baktık ki, onlarla çalıştığımızda ürüne geçmek biraz gecikiyor, dolayısıyla kendimiz kurmaya başladık. Çünkü bu teknolojiyi dünya çapında satılabilir hale getirmek istiyoruz. Altyapımızı gerçekten çok iyileştirdik. Şu anda 3 inç olarak işleyecek altyapıyı 8 inç kadar getirdik ki, şu anda MIT'de zaten yok; ama Berkeley'de, Stanford'da bile daha 6 inçlerdeler. Onlarla yarışacak bir altyapıyı kurduk. Hatta Intel ziyaret ettiğinde çok ilgilenip, bize, ilk defa Amerika dışında bir üniversiteye bağışta bulundu. Intel tarafından bağışlanmış cihazlarımız oldu böylece.

Ne çalışıyoruz? Biz konsantre çalışmak istedik. Yani önceden birtakım şeyler yaptık, ama ürüne gitmek istiyorsanız, gerçekten konsantre olmanız lazım. Hedef olarak savunma sanayiini seçtik ilk başta, çünkü oradan belki kuruluşlarımızı daha motive edeceğimizi düşündük bütçe almak için. Ama bir müddet sonra başka sanayilerde de ürün yapabileceğimizi düşündük, onlara yoğunlaştık. Şu ana kadar 65 milyon dolarlık proje yaptık. Bu, sonradan bize bir zarar olarak gelmeye başladı. Benim söylemeye çalıştığım şeydi bu rakamla aslında: Bu projelerde somut bir ürün, prototip önerdik ve bunu başardık. Yani TÜBİTAK'tan aldığımız prototiplerde, 4 sene içinde, 6 ayda bir her türlü heyetin geldiği, ama sonunda hedeflediğimiz prototipi çıkartıp gösterdiğimiz spect'lere uygun ürünler oldu. Sadece DPT'ninki biraz daha altyapı gibi bir projeydi. Ama tabii, 65 milyon dolar aldık dediğimiz zaman, bir müddet sonra bu aleyhinize işliyor. 'Onlar yeterince para aldı' deyip, hiçbir projemiz artık onaylanmaz hale geldi. Son 5 senedir hemen hemen hiçbir büyük projemizi onaylanmamaya başladı.

Para aldığımız yerlerden bir tanesi Avrupa Birliği. Küçük gibi gözüküyor, ama 2,7 milyon Euro verdiler bize. Bizi bir mükemmeliyet merkezi olarak gördüklerini belirlediler ve Avrupa'daki yerlerle çalışmamız için bize 2,7 milyon Euro verdiler. Bu, yarışma sonucunda, sadece yüzde 5 kabul olan bir çağrıda kabul edildi ve kabul edilen tek MEMS projesiydi. Her konunun girdiği bir çağrıydı bu.

Başarılarımızı göstermek açısından, MEMS Konferansını İstanbul'da düzenledik. Çok güzel oldu. Çırağan Sarayı'nda, 650 kişinin katıldığı ve 450 kişinin dans ettiği bir konferans olarak hatırlanabilir. Hâlâ en hatırlanır konferans seçildi. Detaylara girmeyeceğim.

Dünyada bunu yapabilen 6. ülke olduk, Avrupa'da 4. ülke olduk. Her sene bir kategoride yapılıyor bu konferans. Bunun gibi, yine tanınırlığımızla ilgili bir Mikro Nano Science Çalıştayı yapıldığı zaman, dünyada 4 kişi çalışıyorsa, bir tanesi de bizim merkezimizden çağrılıyor.

Ne yapıyoruz? Çalıştığımız konular, infrared, ivmeölçer, RF MEMS, biyo MEMS, power MEMS. Bunlarla ilgili kısa kısa, ne yaptığımızı, nerede olduğumuzu anlatacağım.

Gece görüş detektörleriyle ilgili bir çalışmamız var. Burada önemli bir yere geldik hakikaten. Darphin'ın gizli bir projeyle, 1983-92 yılları arasındaki 9 yılda desteklediği bir projeyle, pahalı olan gece görüş kameraları ucuzlatılmaya başlandı. Buradaki yöntem de, MEMS'le yapılmaya başlandı. Yine foton gelecek, ama fotonları ısıtacak bir köprü yapısı yapıyorsunuz. Isıttığı zaman da ne kadar ısındığını anlarsanız, o zaman her pikseldeki ısınma miktarına göre tekrar görüntü oluşturuyorsunuz. Bunu anlamak için de bir özel malzeme geliştirmişler. Bunun özelliği de, aslında bir direnç, ama sıcaklık da çok değişiyor. Biz tasarımcılar sevmeyiz normalde sıcaklıkla direncin değişmesini, ama burada böyle bir malzemeye köprü yapısını yapmışlar. Biz de bunu yaptık. Yani 2009 yılında aldığımız görüntü, ama 2006'dan itibaren görüntüler almaya başladık bu teknolojiyle. Aynı köprü yapısını yapıp, zifiri karanlıkta bu tip görüntüler alabilir hale geldik.

Amerika'dan sonra, Fransa tarafından yine 9 yılda görüntü alınmaya başlandı. Japonya'da bir çalışma var. Bir de İsrail, Amerika'dan teknoloji transferiyle yapmıştı. İsrail'i de katarsak, biz bunu dünyada yapabilen 5. ülke olduk. 2006 yılında ilk siparişi aldık ve bunu dünyada yapabilen tek üniversite olarak çıktık. 2006'dan beri biz bunu yapıyoruz, yaptık diyoruz, çıkıyoruz oraya buraya falan, kullanılmıyoruz. Bir türlü kullanılmıyor Türkiye'de. Böyle bir sıkıntı var, yani ürüne geçmek gerçekten çok zor. Çünkü infrared kameranın kimin tarafından yapılacağı belirlenmiş durumda Türkiye'de, o da eğer hazır varsa hazır almayı ve kullanmayı tercih ediyor. Niçin kullanılmıyor? Çünkü bizde Darphin'ın hedeflediği 50 mikron pikseli yaptık ilk başta, yani saç çapına 4 tane sığdırdık. Saçınızın çapını düşünün; bunlardan 4 tane sığdırdık. Kolay bir iş değil bu. Ama "Bunlardan 8 tane sığdıran var" denildi. Onu da yaptık. Ama o sırada bir de 25 mikronu çıktı. O zaman 16 tane sığıyor saç çapına. "Tamam, onu biz de yaparız" dedik, "Para verin, yapalım." Bir daha cihaz almamız lazım, çünkü bu konuları daraltmanız lazım. Bunu tek katlı yapamazsınız 25 mikron için; çünkü çok uzuyor, o zaman sinyal absorbe edecek yer kalmıyor. O zaman iki katlı yapmanız lazım. 2009'dan beri bir türlü bu bütçeyi bulamadık. Ama ASELSAN'ın desteklediği bir SANTEZ projesiyle iki katlı da yapabileceğimizi gösterdik.

Şimdi bakıyoruz, ne bahane gelecek diye. "Bunun 17 mikronu var" dediler. Yaptığınız az iş mi; değil, ama bunlardan da görüntüler aldık, yani 25 mikronlarla da alabildiğimizi gösterdik. Şunu bugün için alabiliyoruz. İnşallah, ülkeni kaderini değiştireceğiz. Ama 18 platformda Türkiye'nin ihtiyacı olan, kullandığı bu sistemi halen hiçbir platforma sokabilmiş değiliz henüz Türkiye'de. Biz de bunu görünce baktık ki, savunma sanayiinden başka yerlerde de kullanımı var ve de gittikçe artıyor, onun üzerine, infraredin her yere gireceğini hissettik; ama ucuzlaması gerekiyor. Yani 10 bin dolarlar değil de, şuralara düşmemiz gerekiyor. Bunun üzerine, bizim başka bir çalışmamız vardı. Yani ilk başladığımızda infrared için para bulmaya çalıştığımızda paramız yoktu, "7 milyon dolar verirsiniz, bunu yaparız" demiştim ben. 7 milyon yerine, 3 sene bekledikten sonra 450 bin liralara inmiştik, onun da 3'te 1'i döner sermaye kesintisine gitmişti. O parasızlık içinde, acaba onu nasıl farklı yapabiliriz, daha ucuz yapabiliriz diye bir fikir gelmişti aklımıza. Biz, o fikre çalışmaya devam ettik. O fikir de şöyle: Mikro köprü yapısına böyle yüzeyde oluşturmak yerine, alt taraflarını aşındırarak CMOS üretiminden sonra, yine köprü yapısı oluşturmak. Bu belki 2-3 kilometre geliyor, ama bunun 2 kilometre gelmesine gerek yok; 200 metre görse, 500 metre görse yetecek, hatta 2 metre görse yetecek. Dolayısıyla biz çipi tasarladık, bu tasarladığımız çipi üretime gönderdik. Sadece aşındırmalar yaparak, gördüğünüz gibi, mikro köprü yapısını oluşturabiliyoruz. Dünyadaki en düşük maliyetli infrared detektör yapma yöntemi. Bununla ilgili 2011 yılında bir şirket kurduk ve Teknoloji Yatırımı adlı şirketinden bir para alarak, risk sermayesiyle bu şirketi kurduk.

Şu anda hedefleri gösteren görüntüler.

Ben varım, Selim var, diğer arkadaşlarımız.

Hedefimiz, yüksek kameralar değil, ama düşük maliyetli. Burada enteresan yerler var, otomotiv gibi ya da yangın algılamakla ilgili. Ama daha da ilginç, bir yerde ışık var mı, yok mu, bunu algılayan tek piksel sensörler var. Tuvalet gidiyorsunuz, ışık yanıyor; ama hareket etmezseniz, o ışık sönüyor, sonra elinizi kolunuzu sallamak zorunda kalıyorsunuz. Halbuki, bunu bizim yaptığımız yöntemlerle daha ucuza yapabilirsek, bunlar her yerde kullanılacak. Amerika'da mesela kocaman salonlar vardır, saat

5'ten sonra bir kısmı gider insanların, diyelim ki 100 kişinin 5 tanesi kalır; ama bütün her yerde ışık yanar. Onun yerine, sadece insanlar neredeyse orada ışık yakacak sistemler. Mesela, klima sistemi, sizin bu odada kaç kişi olduğunu anlayıp ona göre ısıyı ayarlayacak. Burada infrared için çok vakit var ve bunlar savunma sanayiinden gelenler. Bunlar da yavaş yavaş o uygulamaları hedeflemeye başladılar. Biz farklı bir şekilde yapıyoruz. Bize benzer yapan yerler var; ama kompleks bir üretim yöntemiyle yapıyorlar, bizim gibi basit bir yöntemle yapmıyorlar. Yaptığımız işleri konferanslara gidip, mesela bir konferansta, Türkiye'den buraya iki tane şirket katılım gösterdi; infrared görüntülerinin olduğu, kameraların gösterildiği yere. Mikro science ve mikro tasarım olarak iki şirketimiz burada. Bizimle ilgili haber yapıyorlar; yani yeni ürün diye değil de, Türkiye'den iki tane infrared şirketi çıktı diye çok şaşıyorlar. Bunlarla ilgili detayları gösteriyorlar. Tabii, o yüksek performanslıları, deminki gösterdiklerimi saklıyoruz, onları kimseye söylemiyoruz. Şu anda bunları cep telefonlarına takmaya başladık. Çok kolay olduğunu gösteriyorum.

Nasıl bu şekli çıkarıyoruz? İçine gömüyoruz ve farklı aşındırma süreçlerinden sonra bunu elde edebiliyoruz. Burada değişik ürünler yaptık. Şu anda bir finans arıyoruz, ikinci bir finans. Piksellerimizi daha düşüreceğiz, bir piksel koyduğumuz yere 4 tane koyacağız. Bunun örneklerini yaptık. Amerika'da bu tür görüşmelerim de oldu.

Diğer şirket de çok enteresan. Birkaç dakikanızı daha alacağım, çünkü bu şirket de çok önemli. Farklı bir dalga boyunda özellikle kamera yapma işine girişti. Bu farklı dalga boyuyla siz resmin içini görebiliyorsunuz. Buradaki yaptığımız şeyler 5 elektrona kadar iniyor, yani gelen foton sayısı 5'ten fazlaysa görebiliyoruz. Bu, dünyadaki en iyi rakiplerle, baktığımızda, 50-60'larda, 40'larda. 150'lerde olanını Türkiye'deki şirketler alıyorlar, bizden 5 olanını almıyorlar. Bunların 4 katı, 1280'e 1024. Bizim 5 elektron görüntülü kameralarımız var. Deminki ivmeölçerleri çok hassas yapıyoruz. Bunların 1 mikron hassasiyetle mekanik parçalarını çipin içinde yapabiliyoruz.

Burada biz, dünyanın 10 yılda ulaşacağı hedefe çok geç başlayarak, yine 10 yıl içinde ulaştık. Şu anda 1 derece/saatin altında performans yapabiliyoruz. İvmeölçerlerde de birkaç mikro c'lik hassasiyetle bunların hem elektroniğini yapabiliyoruz, hem mekanik parçasını.. Bunların üç boyutlu olmasıyla ilgili çalışmalarımız var.

Bu altyapıyı kurduktan sonra dedik ki, bio işlemlere girelim. Burada da kandan kanser algılamayla ilgili bir çalışmamız var. Kanda kanser varsa, kanser hücrelerinin tutunacağı bir yüzey oluşturuyoruz, o tutunduğu zaman da bu rezonansa getiriyoruz bunu ve rezonanstaki kaymaya göre, ne kadar hücrede tutunmuş, ona bakabiliyoruz. Bununla ilgili bir şirket kurduk şu anda ve yatırımcılardan aldığımız bir fon var. O sayede bunu yakında göstereceğiz ürünler olarak.

Bir de mesela duymayla ilgili yaptığımız bir şey var. Dışarıya bir mikrofon konuluyor, frekanslarına ayrılıyor ses, sonra ilgili yer stimüle ediliyor. Bizim ise, hareketten enerji alan bir çalışmamız vardı. 1 kilohertz maksimum rezonans olursa 1 kilohertz bölgesi stimüle ediliyor. Yani dışarıda bir sistem gerek kalmadan, direkt kendi kendine çalışan bir sistem oluşmuş oluyor. Bir de RF MEMS'te farklı siviçler yapabiliyoruz. Oyun olsun diye değil bunlar, 9,5 milyar kere çalıştığını gösterdik bu mekanik parçanın.

Bu yeni kuruldu, bu şirket yeni kuruldu.

Bir de uydu, uzay için yapabileceğimiz şeyler var dedik. Hocamız söyledi; 4K'lar, 6K'lar, 8K'lar çıkıyor. Bununla ilgili de bir şirket kurduk. Yıllardır, 2008'den beri şey deyip duruyoruz, "Türkiye'nin uydusu gidiyor, ama 2.5 metre görüyor. 20 santim yapalım" diye. Türkiye'deki çalışma sistemini bir türlü aşamadık. Dolayısıyla 2.5 metreye razı oluyorlar, çünkü yurtdışından alması kolay; ama 20 santimi kabul etmiyorlar. Burası HD'dir. Çok daha büyük alanda sensörleri yapabilecek durumdayız. Tabii, güzel bir gelişme olarak da şu anda bir proje aldık ilk defa, Türkiye'nin uydusu için bir kamera sistemi geliştirmek üzere bir çalışma başlattık.

Çok teşekkür ederim.

Mahir Ulutaş- Teşekkür ediyoruz hocam.

Soru var mı acaba?

Hakkı K. Ocakaçan- Eğer ticari bir sır değilse -çünkü “Türkiye’den kolay kolay proje alamıyoruz” dediniz- hangilerinde bir proje geliştirildi?

Çok güzel şeyler yaptığınızı görüyoruz, hatta uluslararası çapta en önde gittiğinizi görüyoruz. Türkiye’de belli nedenlerle sizin ürünlerinizin kabul edilmediğini anlattınız. Peki, yurtdışındaki ülkelerdeki rekabet durumu nedir?

Prof. Dr. Tayfun Akın- İlk TESTAŞ’ı aldığımızda, oranın altyapısı basınç sensörüne çok uygundu. Basınç sensörü yapalım dedik ve Arçelik’ten, o zaman için çok yüksek bir rakam olan 200 bin Dolar para aldık, onları yaptık. Ondan sonra dediler ki, “Biz, tanesini 1 dolardan 1 milyon tane istiyoruz aynı performansta ve yurtdışıyla yarıştıracacağız.” Onun üzerine savunma sanayiine döndük.

Diğer konuda da şöyle bir şey var: Mesela, infrared ile ilgili çipi satamıyoruz, çünkü savunma sanayiyle ilgili; ama diğer çipler, 5 elektron çiplerini şu anda satıyoruz. Şu anda Amerika’ya satıyoruz çipi, Türkiye’ye satamıyoruz; yani öyle bir durum var. Farklı ülkelere de satmaktayız. Ama dikkatliyiz tabii, her ülkeye de vermiyoruz. Bu önemli bir şey. Konferansın bir tanesinde birisi geldi, ‘Kime satıyorsunuz, siz kimsiniz, nasıl yapabiliyorsunuz bunları?’ falan diye. Şu anda Amerika’ya satıyoruz, ama Amerika’nın defence sektörü almıyor; çünkü Türkiye’yle ilişkilerin ne olacağı belli değil bir-iki sene sonra. Yani ona güvenerek size şey vermiyorlar. Almak isteyen yerler var, Rusya, oraya da biz satmıyoruz. Böyle bir arada kalmışlığımız var, ama gittikçe artıyor. Şu anda yazıştığımız bayağı bir ülke var, 14 küsur ülke. Böyle ufak ufak satmaya başladık, ama bunun şey getirmesi vakit alacak. Türklere güvenmiyorlar. Ne yazık ki böyle bir şeyimiz var.

Prof. Dr. Sıddık Yarman- Çok çok teşekkür ederim sevgili Tayfun. Bana göre, dinlemiş olduğumuz sunum da, Türkiye’nin yüzünü ağartan fevkalade önemli sunumlar. Önümüzdeki hafta Elektrik Mühendisleri Odasının bir konferansı var biliyorsunuz, açılış konuşmasını yapacağız.

Aslında cevabını da biliyorum, ama farkındalık yaratmak için söylüyorum. Özellikle teknoloji ağırlıklı çalışmalarda sürdürülebilirlik, yani altyapıların yenilenmesi esas. Sizler inanılmaz büyük başarı gösterdiniz. O 65 milyon doların içerisinde aslında bir 40 milyon dolar var, yine Kalkınma Bakanlığından aldığınız bir para. Haklı olarak ASELSAN’a bir eleştiri getirdin. Ben hayretler içinde kaldım; neden almamışlar? Çünkü teknolojinin gelişmesi, ASELSAN gibi benzer büyük firmaların bu teknolojiyi destekleyip ürünlerine yansıtması. Versiyon 1, versiyon 2, versiyon 3, versiyon 5, böyle olacak. Onu da ayrıca herhalde bir şekilde biz de duyuracağız platformlarımızdan. EMO da bunlardan bir tanesi zaten. Bu toplantının amaçlarından bir tanesi de o.

Arkadaşım; sen bunu kayıtlarımıza geçir. Çok önemli bir mevzuu.

Prof. Dr. Tayfun Akın- Çok uzun süre, 20 senedir ASELSAN’la hem beraber çalışıyoruz, hem de onları eleştirenlerden bir tanesiyim. Şu anda farklı bir yönetim var son 1-2 senedir ve onunla birlikte bu bakış açısı değişmeye başladı, ama her konuda değil. Bir de ben, eskiden vakıf şirketlerine şaşıyordum, niye kullanmıyorlar diye; fakat sisteme bakınca, konunun vakıf şirketinden gelmediğini, Türkiye’deki oturmuş sistemden olduğunu görüyorum. Çünkü Savunma Sanayi Müsteşarlığı bir proje verdiği zaman vakıf şirketine, “Alt ürünlerini kimden alırsan al” diyor, yani zorlamıyor. İkincisi, Türkiye’deki küçük bir şirketten alırsa bunu, hiçbir mücbir sebep tanımlı getirmiyor; ama yurtdışından alınan her şeyde bir mücbir sebep şeyi var. Bize geliyor mesela, ‘Ne kadar sürede yaparsın?’ diyor, ‘12 ay’ diyorsun, ‘Yok, ben projeye göre 6 ayda istiyorum’ diyor. Sonra 1,5 senede alınsa bile fark etmiyor, mücbir sebep var. 2.5 metre yerine 1 metre, ‘2,5 aldım’ diyor. Ama sistemde, yurtdışından alınmış bir SAP komponentin mücbir sebep sayılması diye bir şey yok. Doğal olarak, risk almayacak, işi bitirecek, cezaya girmeyecek bir yönteme gidiyorlar. Dolayısıyla aslında konunun üstten çözülmesi lazım. Biz gerçekten yerli istiyor muyuz, istemiyor muyuz? Siz her parçayı yurtdışından alarak “Yerli yaptım” diyorsanız, bu yerli değildir, bu toplama bilgisayardır.

Salondan- Fazla detaya girmek istemiyorum malum sebeple, ama sürdürülebilir olması güzel. Sizin en son kurmuş olduğunuz bu şirketler dizisi bence muhteşem. RF MEMS'leri kime satıyorsunuz; yine ASELSAN'a satıyorsunuz, değil mi?

Prof. Dr. Tayfun Akın- Onlarla güzel bir işbirliğimiz var RF MEMS konusunda devam eden.

Salondan- Çok çok teşekkür ederim.

Prof. Dr. Tayfun Akın- Sağ olun. Teşekkürler.

Mahir Ulutaş- Buyurun.

Salondan- Bir soru sormak istiyorum. Mikro iğneleme derken aynı şeyden mi bahsediyoruz?

Prof. Dr. Tayfun Akın - Acı vermeyen mikro iğneleme mi?

Salondan- Evet. Şu an eczanelerde satılıyor. Bu yöntem mi kullanılıyor.

Prof. Dr. Tayfun Akın- Tabii. MEMS'le yapılıyor bunlar da. Kocaman bir tane iğne yerine, 100 tane koyuyorsunuz. Nasıl 1 santime 1 santime 1 milyon tane ayna yapıyoruz ya, onun gibi ufak ufak şeyler. O zaman deri altına girerken, sizin sinirinize dokunmadığı için acıtmıyor.

Salondan- Anladım.

Prof. Dr. Tayfun Akın- Hayatımıza girmeye başladı bunlar.

Salondan- Teşekkür ederim.

Mahir Ulutaş- Teşekkür ederiz hocam.

Oturumumuzun son sunumuna geldik. Lozan Federal Politeknik Okulundan Sayın Gözde Tütüncüoğlu, "Nanotellerin Fotovoltaik Uygulama Alanları" konusunda sunum yapacak.

Buyurun.

Gözde Tütüncüoğlu (Lozan Federal Politeknik Okulu)- Günaydın. Lozan Politeknik Üniversitesinde doktora öğrencisiyim.

Öncelikle EEMKON'un tüm organizasyon ekibine teşekkür ediyorum. Çok güzel bir kongre oldu. Ben size, tez çalışmamın bir parçası olan nanotellerin fotovoltaik uyulama alanlarından bahsedeceğim. Bu, aslında önceki konuşmalardan biraz farklı olacak. Duran hocanın ilk gün bahsettiği bir elektronik ürünün pazara gelmesindeki 5 fazdan biraz ilkinde tekabül ediyor, çünkü daha temel bilimler ve şu an markette değil. Ama ben, nanotellerin güneş enerjisi alanında potansiyeli olduğunu düşünüyorum.

Öncelikle Nanotelin tanımıyla başlayalım. Nanoteller, bir saç telinin milyonda 1'i kalınlıkta olan, uzunluk-çap oranı 1000 ve üstü olan filament şeklinde kristal yapılar. Bunlar metal, yarıiletken ya da süper iletken olabiliyorlar ve boyutları ve dağılım geometrileri hem büyütme parametreleriyle hem de litografi yoluyla çok etkili bir şekilde kontrol edilebiliyor.

Biz neden nanotellerle ve bizim örneğimizde bileşik yarıiletkenlerden, yani grup 3 ve grup 5 yarıiletkenlerden yapılmış nanotellerle çalışıyoruz? Çünkü silikonun indirekt bant aralığına karşılık olarak birçok bileşik yarıiletkenin doğrudan bant aralığı var bu grupta. Bu demek oluyor ki, elektron yayılım, minimum ve maksimum enerji aralıkları aynı momentumda ve ışık efektif bir şekilde soğurulup tekrar yansıtılabilir. Bu, optoelektronik aygıtlar ve güneş enerjisi araçları için istenilen bir özellik. Yüksek kırılma katsayısı da bu nanotellerin, 3 ve 5 yarıiletkenlerden yapılan materyallerin yine ışığı etkili bir şekilde hapsedmesini sağlıyor. Yüksek absorpsiyon katsayısından zaten bahsettik. Yüksek mobilite benim konumla direkt ilgili değil, ama daha hızlı yapılacak transistörlerde bu maddelerin kullanılmasının sebebi. Güçlü spin orbit etkileşiminden ise birazdan bahsedeceğim.

Biz nano yapılar kullanıyoruz; çünkü birçoğumuzun bildiği üzere, malzemelerin boyutları küçüldüğünde ve nano boyuta getirildiğinde özellikleri değişiyor -kuantum fiziğinin hakim olması

nedeniyle- ve bu boyutlar fabrikasyonla da değiştirildiğinde, malzemelerin çeşitli özellikleri boyutla kontrol edilebiliyor. Mesela, bizim nanotelleri çalışmakla ilgili en büyük motivasyonumuz, normalde kafes katsayıları farklı olan, bu nedenle örgü uyumsuzluğu. Örgü uyumsuzluğu dediğim, Galyum Arsenid ve Silikonun arasında kristal yapılarının yüzde 10 civarında bir farklılık var. O yüzden, Galyum ya da Silikonun üzerinde bir birim katman katman büyütülemiyor, çok fazla kusur oluyor. Ama nanotellerde bu kesişim alanı çok küçük olduğu için ve nanotellerin büyük yüzey alanları olduğu için, bu gerilim o yüzey alanlarında rahatlatılabilir. Bu teknoloji aynı zamanda grup 3 ve grup 5 yarıiletkenlerini silikon teknolojisiyle de kombine etmeyi mümkün kılıyor. Sonuç olarak nadir olan optik özellikler elde edebiliyoruz ve bu yapılar optoelektronik aygıtlar için umut vaat ediyor.

Nanotellerin birkaç ilginç özelliğinden bahsedeceğim. Bunlar biraz daha temel bilimlerle ilgili. Galyum arsenid 3 boyutta yani bantta Zinc Blende kristal yapısını gösterir. Bu kübiktir. Ama nano boyuta indirildiğinde hekzagonal kristal yapısını da sergiliyor. Bu yüzden nanoteller -5 sene önce bu konuda çok fazla yayın yapıyordu.

Bunlar yine az önce bahsettiğim silikon üzerine büyütülmüş Galyum Arsenid nanoteller. 5 mikrometre civarında. Bunlar elektron e-line litografiyle yapıldığı için, istenildiği boyutlarda, birbirine uzaklıklarda yerleştirilebiliyor ve bu nanotellerin herhangi bir kusuru yok; sadece multiple Zinc Blende ve iki fazla birlikte olduğu için, birden fazla faz barındırabiliyorlar. Bu da büyütme parametreleriyle kontrol edilebiliyor.

Elektronik aygıtlar ve güneş enerjisi için de katkılandırma çok önemli. Katkılandırma nedir; bir yarıiletkenin iletkenliğinin artırılması. Elektron ekleyerek ENTAL katkılandırma olabilir ya da Hol ekleyerek olabilir. Nanotellerde iki geometrik şekilde yapılabilir; çekirdek ve çevresi ya da nanotel boyunca katman katman. İki geometrinin de avantaj getirdiği yapılar var, ama bu tip bir katkılandırma güneş telleri için çok ideal; çünkü bu sayede oluşturan elektron ve hollar nanotel boyunca birbirinden uzaklaşıp devreye katılabilirler. Son olarak da büyütme parametreleri ve çeşitli maske yöntemleriyle değişik geometriler oluşturulabiliyor nanotellerden ve değişik nano yapılardan.

Gösterilmiş nanotellerin sadece özelliklerinden değil, uygulamalarından bahsedeceğim biraz da.

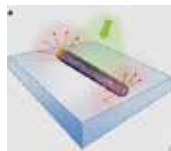
Bu, 2012'de Science dergisine kapak oldu. İlk defa indium antimonide nanotellerinde majorana fermiyona ölçüldü. Bu biraz daha temel fizik konusu. Majorana fermiyona, kendi anti parçacığı olan bir fermiyon. Teorik olarak hesaplanmıştı, ama deneysel olarak gösterilememişti. Etkileşimi yüksek olan bir nanotelde, bir tarafı süper iletkenle, bir tarafı da altınla kaplanarak, bu fermiyonun ölçümü gerçekleştirildi. Aynı zamanda, az önce MEMS'te de gördük; nanoteller geniş yüzey alanları sebebiyle biyosensör olarak da kullanılabilirler, gaz sensörü de olabilirler. Bu geniş yüzey alanları nedeniyle çevreyle etkileşim halindeler ve çevredeki değişiklikler iletkenliklerini ya da diğer özelliklerini değiştirebiliyor. Bu sayede biyosensör olarak da büyük potansiyele sahipler.

Nanotellerin önemli uygulama alanları



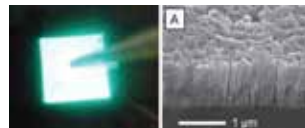
Majorana Fermion'unun ölçümü

Science 25 May 2012:
Vol. 336 no. 6084 pp. 1003-1007

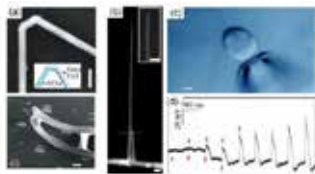


Nature Photonics 7,
963-968 (2013)

Lazer ve LED Uygulamaları



Nanotechnology 21 (2010) 195202



1/4/2017

Biosensörler

Nano Lett., 2012, 12(3)
1711-1716

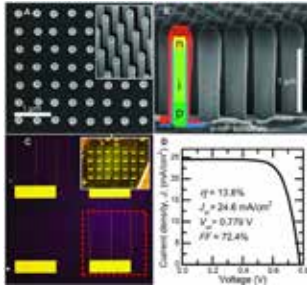
EEMKON 2015

5

Bunun dışında, bizim yarıiletkenlere tercih etmemizin de motivasyonlarından biri olan lazer ve LED uygulamaları var. Bunlar yine önemli dergilerde yayınlanmış yayınlar. Bu galyum arsenid nanotel. Nanoteller hem geometrileri itibarıyla, hem malzemeleri itibarıyla lazer olarak ölçülmeye çok uygun malzemeler. Burada farklı bant aralıklarında rezonanslar gösteriliyor. Altta da galyum nitrat nanotelden oluşturulan bir LED gösteriliyor. Bu, sadece laboratuvarında gösterilen bir çalışma değil, bunun üzerine kurulmuş bir şirket de var ve OSRAM'ın da bu konuda çalışmaları olduğunu biliyorum. Şimdilik nanotellerin pazara en yakın uygulama alanı galyum nitrat bazlı diyotlar.

Nanotellerin Önemli Uygulama Alanları

Fotovoltaik



Dikey olarak katkılandırılmış InP nanoteller güneş hücresi yüzeyinin sadece %12'sini kaplamalarına rağmen %13.8 verimle çalışmaktadır.

Science, Vol. 339 no. 6123 pp. 1057-1060

1/4/2017

EEMKON 2015

6

Konumuzun asıl önemli motivasyonuna gelelim; fotovoltaikler. Bu, yine Science dergisinde çıkmış önemli bir makale. Bunda, bant aralığı 1.3 elektron volt olan Indium Fosfat nanoteller kullanılarak, yüzde 13.8 verimli bir güneş pili oluşturulmuş. Yüzde 13.8 aslında çok büyük bir verim değil, şu an mesela silikonlarla bile bunun üstüne çıkılabiliyor; ama burada önemli olan, bunun sadece deneysel bir çalışma olmasına ve nanotellerin yüzeyin yüzde 12'sini kaplamasına rağmen yüksek bir verim yakalanmış olması. Burada, size az önce bahsettiğim nanotel boyunca değişik katkılandırma var.

Bu, büyütülen nanotellerin bir elektron mikroskobu görüntüsü, bu da en son devrenin hali.

Bu çalışmadan sonra, nanotellerin fotovoltaik alandaki önemi daha da fazla ortaya çıktı ve daha temel çalışmalar yaptık. Nanoteller neden bu kadar efektif çalışıyor güneş enerjisinde, bunu araştırdık. Bunu yapmak için, ışıqla nanotellerin ilişkisi simüle ediliyor, yani Maxwell denklemlerini çözüyoruz.

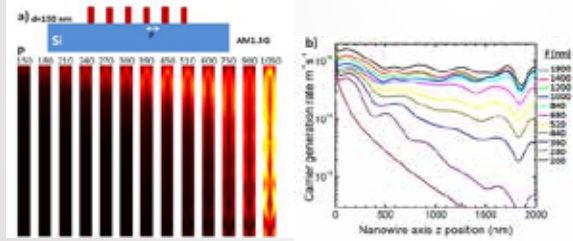
Burada gördüğümüz simülasyonda bir tane film var. Bu filme de ışık geliyor, nanotele de ışık geliyor. Filmin bir kısmında ışık absorbe ediliyor, kırmızı noktada, çok derine gidemiyor; ama nanotelde, tüm nanotelde soğuruluyor ve hatta bazı yüzeylerde rezonanslar oluşturuyor. Bunun sebebi, nano yapıların boyutlarının ışığın dalga boylarına yakın olması. Tabii ki ışığın dalga boyu geniş bir spektrum. Bizim görebildiğimiz, mesela 300 ve 800 nanometre. Ama nanoteller, bizim çalıştıklarımız 100 ve 300 nanometre arasında değişiyor ve bu boyutlarda ışıqla daha değişik bir etkileşime giriyorlar. Biz buna tekrar baktık, daha geniş simülasyonlar yaptık.

Neden güneş enerjisi için nanotellere ihtiyacımız var ?



Nanoyapıların boyutları dalga boylarından küçük olduğu için, nanotelin içinde ışık bükülür ve sınırlandırılır.

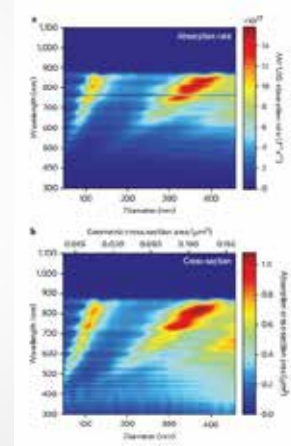
Film NW E. Alarcon



1/4/2017

Heiss et al, Nanotech. 25, 1, 014015 (2014)

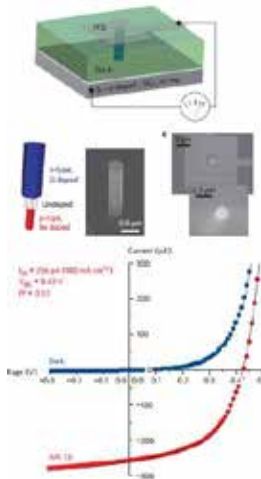
EEMKON 2015



Nature Photonics 7, 306–310 (2013)

Mesela burada, tam göremiyorsunuz, ama nanotelin çapı, X ekseninde de dalga boyu var. Gördüğünüz gibi, bazı çaplarda çok büyük bir iyileştirme var nanotelin soğurmasında. Alttaki grafikte de, yine çap burada, burada dalga boyu, burada da nanotelin soğurma birim alanı var. Gördüğünüz gibi, nanotel, yine belli çaplarda ışığı çok etkili emdiği gibi, kendi yarıçapından daha geniş bir alandaki ışığı da toplayabiliyor. Bu, nanotelin sadece boyutuyla ilgiliydi. Bunun bir de şöyle bir değişkeni var: Bu nanotellerin birbirine olan uzaklığı kontrol edilebiliyor çeşitli yöntemlerle. Bu da çok önemli, çünkü bu nanotellerin arasındaki uzaklık da burada 150 nanometreden 1 mikrometreye kadar değiştiriliyor. Bu da ışığın dalga boyuna yakın bir parametre. Bu kontrol edilerek de ışığın etkili bir şekilde nanotelde emilip emilmeyeceği veya hangi uzaklıkta emileceği kontrol edilebiliyor. Bu da nanotelin boyuyla taşıyıcı oluşturma hızını kontrol ediyor.

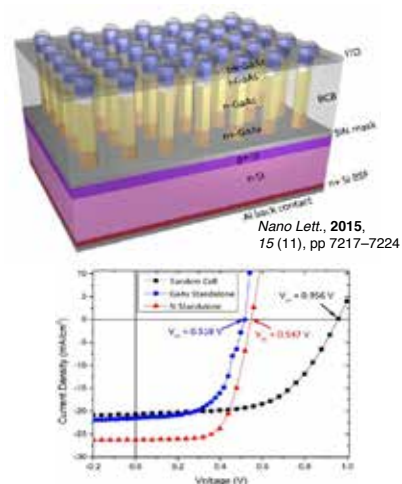
Nanoteller ile Shockley-Queisser limitini aşabilir miyiz ?



1/4/2017

Nature Photonics 7, 306–310 (2013)

40% Verim !!!



Nano Lett., 2015, 15 (11), pp 7217–7224

EEMKON 2015

8

Biz tüm bunları dikkate alarak, çeşitli araştırmalar ve çeşitli nanotellerden fotovoltaik aygıtlar yaptık. Bunda sadece bir tane nanotel var, bunda da bir nanotel boyutu var. Başlık, “Nanotellerle Shockley-Queisser limitini aşabilir miyiz?” diyor. Bu limitten kısaca bahsedeyim. Bu teorik olarak hesaplanmış bir limit. Yarıiletkenlerin bant aralığı emilebilecek güneş ışığıyla direkt alâkalı olduğu için, bu dikkate alınıyor bu limit oluşturulurken. Çünkü ısınan her cisim bir miktar kendi de ışıma yapıyor ve güneş

pilleri de ısınacak oldukları için güneşin altında, onlar da bir miktar ısıma yapacaklar. Bu da yüzde 7 bir enerji kaybına sebep oluyor. Son olarak da güneş piliinde oluşturan bu elektron hol çiftleri devreye katılmadan, kendi aralarında birleşip bir foton yayabilirler. Bu da bir kayıp. Tüm bu kayıplar göz önüne alındığında, ideal bir güneş pilinin yüzde 33-34 maksimum bir verime ulaşabileceğini söylüyor bu limit. Ama biz, tek bir Galyum Arsenid nanotel kullanarak, bu makalemizde yüzde 40 verim gösterdik. Burada bir nanotel, çekirdekten dışarı doğru P tipi katkılandırılmıştı. Arada katkı yoktu ve en dışı N tipi katkılandırılmıştı. Burada da karanlıkta ve 1.5 güneş altında bunun IV Curve olduğunu görüyoruz. Bu nanotel yüzde 40 verim gösterdi. Bu nanotelin çapı ve uzunluğu, az önce gösterdiğim simülasyonlara göre optimize edilmişti.

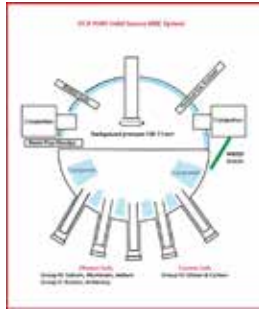
Burada Galyum Arsenid nanoteller. Üstünde ITO var, silikon üzerine büyütülmüşler, altında silikon var. Burada bir silikon güneş piliyle nanotel güneş pili üst üste konulmuş ve burada da IV Curve baktığımızda, bu iki güneş pilinin birlikte kullanılmasının verimi artırdığını görüyoruz. Bu da limiti aşmak için başka bir metot. Çünkü limiti şu iki şekilde aşıyoruz: Bir, birden fazla malzeme kullanılarak, yani güneş ışığının spektrumunun farklı yerlerinde ışık absorbe edilerek -çünkü orijinal limit hesaplamasında sadece tek materyal kullanılmış- bir de az önce size gösterdiğim nanotellerin kendi alanlarından daha geniş bir alandan ışık toplama yeteneği sayesinde nanotellerle bu limiti aşabiliyoruz. Bu yüzden nanoteller güneş pilleri için gelecek vaat eden yapılar.

Yariiletken Nanoteller Nasıl Elde Edilir ?

Moleküler Işın Epitaksi Sistemi - MBE



Saf haldeki metalller



Kimyasal Buhar Biriktirme - MOCVD



Hidrokarbon bazlı gazlar

1/4/2017

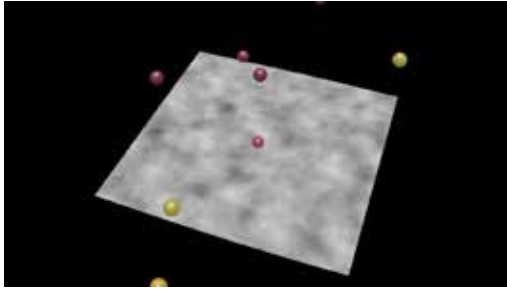
EEMKON 2015

9

Bu nanotelleri nasıl büyütüyoruz? Moleküler ışın epitaksi sistemi (Moleküler Işın Epitaksi Sistemi - MBE) kullanıyoruz; ama bunun dışında, kimyasal buhar biriktirme, metal organik kimyasal buhar biriktirme de (Kimyasal Buhar Biriktirme – MOCVD) bu alanda çok kullanılan ve daha ucuz olan bir yöntem. Biz epitaksiyi kullanıyoruz, çünkü bunda yüksek kalitede malzeme büyütebiliyoruz ve büyütme koşullarını etkili bir şekilde kontrol edebiliyoruz. Ama şöyle bir gerçek var: Bu yöntem pahalı, sürekli sıvı nitrojen kullanmanız gerekiyor ve saf metal kullanıyoruz. O yüzden, bizim yaptığımız çalışmalar biraz daha temel alanda. Ama az önce size gösterdiğim simülasyonlar ve bunun sonucunda yüksek verimliliği olan güneş pillerinin üretimi sonucunda tabii ki daha ucuz yöntemlerle de bu tarz güneş pilleri yapılabilir. Bu MOCVD’de bizim MBE’den farklı olarak, biz saf metallere kullanıyoruz demiştik; galyum, arsenik, alüminyum. Çok basit bir şekilde onları ısıtıyoruz ve füzyon sonucunda -zaten çok yüksek bir vakum ortamı var burada- bu metallere gidip, yüzeyde buharlaşıp nanotellerimizi büyütüyor. Ama bu MOCVD’de hidrokarbon bazlı gazlar kullanılıyor saf metallere yüzünden.

Burada bir video var, çünkü çoğumuzun nanotellerle ilgili çok bir arka planı olmadığını tahmin ediyorum. Çok popüler bir konu değil. O yüzden, sadece nasıl çalıştığını göstermek için minik bir video yaptım.

Yariiletken Nanoteller Nasıl Elde Edilir ?



Buhar Sıvı Katı Metod

- Zerre/Damlacık oluşumu
- Damlacık içindeki Arsenik oranının doyuma ulaşması
- Eksenel büyüme

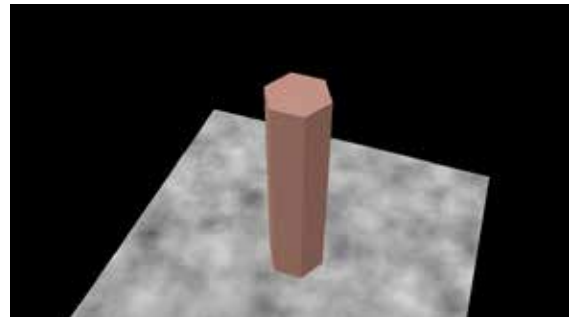
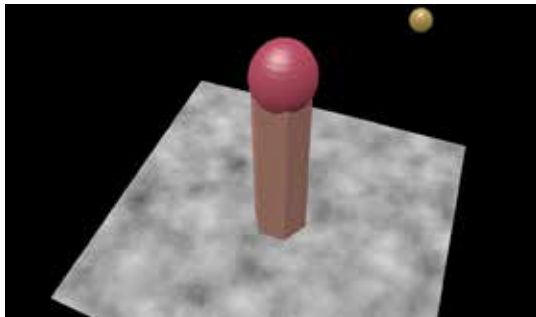
Buhar Katı Metod

- Litografi ve büyütme koşullarının optimizasyonu ile zerre olmadan büyütme

Buradaki kırmızı atomlar Galyum, sarılar da Galyum Arsenid. Kırmızı ortamlar yüzeye geliyorlar ve bir araya toplanıp bir damlacık ya da zerre oluşturuyorlar. Bunun sebebi, bizim yüzeyi Galyumun ıslatmak istemeyeceği bir şekle dönüştürmemiz. Bunu da ince bir oksit katman kullanarak yapıyoruz. Yani bu, teflon tavadaki o su damlacıkları gibi, Galyum damlacıkları oluşturuyor yüzeyde. Daha sonra Galyum ve Arsenid bu damlacığın içinde çözülmeye devam ediyor; satürasyona ulaştığında ise damlacık ve yüzey arasında çökmeye başlıyor ve çöktüğü için yukarı doğru nanotel büyüyor. Bu yöntemin adı, buhar, sıvı, katı. Çünkü sıvımız var, Galyum damlacığı; katımız var, nanotel; bir de gaz var, o da yukarıdan gelen Galyum ve Arsenid. Burada, Galyum yerine Altın da kullanılabilir. Hatta literatürde, altında büyütülen çok fazla nanotel örneği var; ama biz, Altından kaçınmak istiyoruz, çünkü silikon endüstrisinde altın çok fazla tercih edilmez.

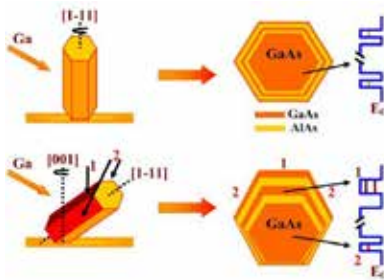
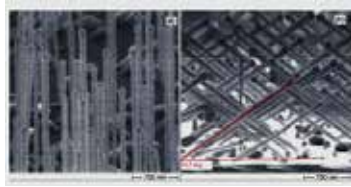
Bunun dışında, damlacık olmadan, zerre olmadan da, sadece buhar-katı metoduyla büyütülebilir. Bunda da litografiyle delikler açılıyor, Silikon ya da Galyum Arsenid açık kalacak şekilde, büyütme koşulları değiştiriliyor ve o açıklıklarda da yine nanoteller büyütülebiliyor.

Yariiletken Nanoteller Nasıl Elde Edilir ?



Biz Galyum zerreciği kullandığımız için, eğer sonraki aşamalarında bu zerreciği istemiyorsak, onu çok basit bir şekilde tüketebiliyoruz; sadece galyumu kapatıp Arsenik kullanıyoruz. Bu Arsenik yine damlacığın içine çözünmeye devam ediyor ve Galyum Arsenid oluşturuyor üstünde. Buna neden ihtiyacımız var; çünkü Silikon alfatonik bir dopant. Yani grup 4 olduğu için, hem grup 3'ün yerini alıp, hem grup 5'in yerini alıp N ya da P tipi katkılandırma yapabilir. Orada zerreciği bırakırsak, o zaman daha çok galyumun yerini alıp N tipi katkılandırma yapıyor.

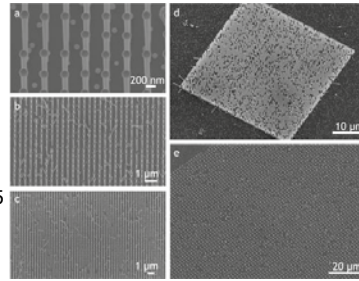
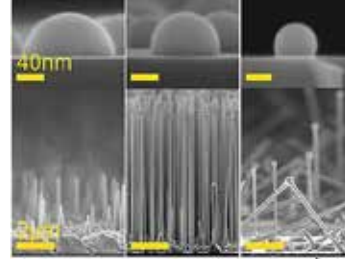
Yariiletken Nanotellerin boyutlari nasıl kontrol edilir ?



APL 92, 063112 2008

Cryst. Growth Des., 2015, 15 (7)

Nano Lett. 2015, 15 2869–2874



1/4/2017

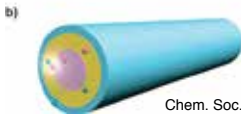
EEMKON 2015

12

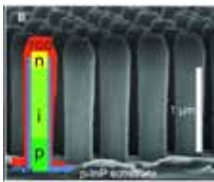
Nanotellerin boyutlarını da hem alt taşının oryantasyonunu değiştirerek, hem en baştaki galyum zerreciğinin boyutlarını değiştirerek litografiyle kontrol edebiliyoruz.

Nanotellerden oluşan güneş hücreleri nasıl yapılır ?

Eksenel ve radyal katkılandırma

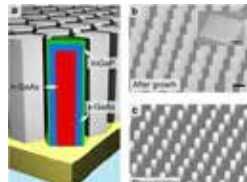


Chem. Soc. Rev., 2009, 38, 16-24



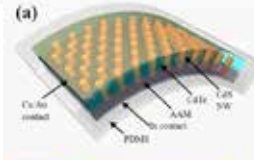
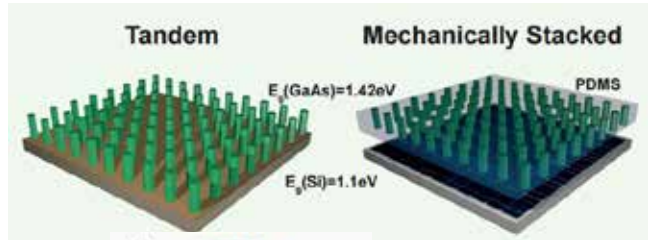
Science, Vol. 339 no. 6123 pp. 1057-1060

1/4/2017

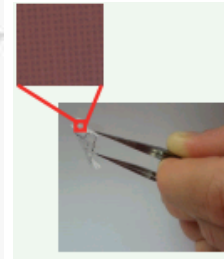
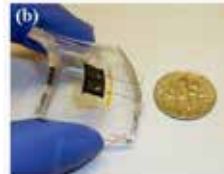


Nature Communications 4, 2012

EEMKON 2015



J. Vukajlovic & D. Mikulij

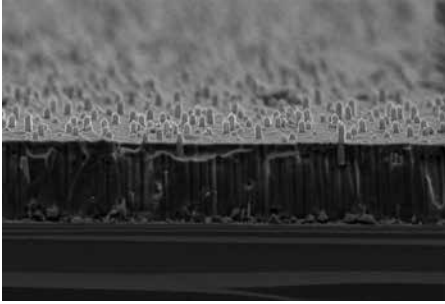


Nature Materials 8, 648 - 653 (2009)

13

Bu da oluşturulan güneş pilleri. Nanoteller büyüdüktan sonra katkılandırılmış olarak üzerinde ITO (indium tin oxide) var, altında metal var. Böyle iki kontak arasında güneş pili fabrike edilmiş oluyor. Tandem ve mekanikler üst üste konulmuş güneş pilleri de yapılabilir. Çünkü nanoteller büyütüldükten sonra bir polimer katmanın içine gömülüp, o polimer yüzeyden sıyrılabilir. Böyle esnek güneş pilleri de yapılabilir. Biz de bunun üzerinde çalışıyoruz son zamanda.

Sonuçlar



D. Mikulij

- Nanoteller güneş pilleri için yüksek potansiyeli olan bir malzemedir.
- Halihazırda yüksek verimlilikle çalışan III-V yarı iletkenler nanotel boyutuna getirildiğinde daha az malzeme kullanılarak daha yüksek performanslı güneş pilleri üretilebilir.

1/4/2017

EEMKON 2015

14

Bu da bir örneğimiz. Burada nanoteller var. Altta hâlâ silikon var, yani yüzeyden ayrılmamış. Tandem güneş pilleriyle bunun üzerine çalışıyoruz.

Sonuç olarak, umarım sizi, nanotellerin güneş pilleri için gelecek vaat eden bir malzeme olduğuna ikna edebilmişimdir. Halihazırda zaten verimli olan grup 3 ve grup 5 yarıiletkenler nanotellerle birleştirildiğinde, güneş pilleri için hem malzeme kullanımını azaltıp hem de verimi artırabilecek uygun materyaller oluyorlar.

Dinlediğiniz için teşekkür ediyorum.

Mahir Ulutaş- Teşekkürler.

Soru var mı acaba? Buyurun.

Feyzullah Bozkurt- Bu bahsettiğiniz nanotellerin giyilebilir tekstil ürünlerinde kullanılabilme imkânı var mıdır?

Gözde Tütüncüoğlu- Bence var. Çünkü size gösterdiğim örneklerde, o nanotel, esnek bir polimer katmanın içine gömülmüş. Bu da herhangi bir şeye kolayca entegre edilebilir.

Feyzullah Bozkurt- Bir de özellikle İsviçre pratiğini öğrenmek istiyorum. Savunma sanayiinden bahsedildi, ama ben buraya gelmeden önce 3 oturuma katıldım beşer dakika. Akademisyenlerin, uygulamacıların biraz daha savunma sanayiinden bahsetmeleri, ona yönelik elektronik tasarımlarda bulunmaları... Ben şahsi olarak ziraatla ilgilenmek istiyorum. Özellikle. MEMS'lerin veya elektronik sistemlerin sürdürülebilir, sağlıklı ziraat ürünlerine dönüştürülebileceğini düşünüyorum. Türkiye, artık radyoaktif kirli bir memleket olabilir. O şartlar altında bile sağlıklı, güvenilebilir gıdalar üretebilecek miyiz?

Gözde Tütüncüoğlu- Size katılıyorum. Projenin fonunu aldığımız grupları göstereyim size.

Teşekkür



Mesela şu yeşil grup. Bunun adı, Quantum Science Information Technology. Mesela, bunun pek bir İsviçre ordusuyla alâkası yok. Bu, İsviçre'nin TÜBİTAK'ı. TÜBİTAK da var hatta bunun içinde. Bu, Rusya ve Avrupa'nın bilim işbirliğini güçlendirmeyi amaçlayan bir grup. Bu da İsviçre bazlı, enerji üzerine daha çok para yatıran bir kuruluş.

Ben, Amerika'daki Epitaksi Kongresine gittim. Oraya gidene kadar, daha önce hiç orduda epitaksiyle uğraşan sunumlar dinlememiştım mesela. Amerika'da da bu biraz böyle, orada da 2.6 yarıiletken çalışıyorlar; ama İsviçre'de ya da Avrupa'da bir nanotel ya da nano teknolojiyle ilgili bir kongreye gittiğinde, ordu tarafından desteklenen projeler çok gözüme çarpmadı açıkçası.

Hakkı K. Oçakacan- Benim sorum şu: Silisyumu bu akadar rahat kullanabilirken neden Galyum Arsenid kullanılıyor?

Gözde Tütüncüoğlu- Çünkü galyum arsenidin silisyuma karşı daha iyi özellikleri var. Mesela, gösterdiğim Galyum Arsenid nanopillerin yüzde 40 verimliliğe ulaşma ihtimali var. Biz o yüzden, Galyum Arsenidin bu özelliklerini kullanarak, ama silisyumla karşılaştırılmayacak şekilde çok pahalı olduğu için nanoteller kullanmaya çalışıyoruz. Çünkü mesela, bizim sistemimizde, 15 gram Galyum yüklemesi yaptığımız zaman, o, bizi 2 ya da 3 sene idare edebiliyor ki, çok fazla numune yapıyoruz. Nanotel kullandığımızda, o kullanılan malzeme miktarı çok çok azalıyor.

Hakkı K. Oçakacan- Bu, teknolojiye tekelleşmeyi getirmeyecek mi? Çünkü silisyum işleyebilecek çok fazla teknolojik kuruluşla çalışabiliriz; ama Galyum Arsenid dediğiniz zaman, bunlar tekelleşmeyi getirmeyecek mi?

Gözde Tütüncüoğlu- Bence getirmeyebilir; çünkü özellikle MOCVD sistemleri o kadar pahalı değiller, daha çok genelleşiyor, birçok laboratuvarı var. Ben, daha iyi bile olabileceğini düşünüyorum, ama göreceğiz.

Mahir Ulutaş- Başka soru var mı acaba? Yok herhalde.

Teşekkür ederiz.

Gözde Tütüncüoğlu- Ben teşekkür ederim.

Mahir Ulutaş- Değerli konuklar; oturumumuzun sonuna geldik.

ELEKTRONİK SANAYİ UYGULAMA BİLDİRİLERİ-1

Oturum Yöneticisi: Necdet Oğuz (EMO)

Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı Kullanarak Konuşmacı Tanıma Sisteminde Ayırık Dalgacık Dönüşümü Temelli Gürültü Arındırmanın Etkisi

The Effect of Denoising in Speaker Recognition System Based on Discrete Wavelet Transform Using Multilayer Perceptron Neural Network

Kübra Tancı¹, Mahmut Hekim²

¹⁻²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziosmanpaşa Üniversitesi
kubra.tanci@gop.edu.tr, mahmut.hekim@gop.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, gürültü içeren ses kayıtlarına ayırık dalgacık dönüşümü (ADD) yöntemi kullanarak gürültüden arındırmanın, çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (ÇKASA) ile konuşmacı tanıma işleminde etkisi araştırılmaktadır. 5 konuşmacının günün 5 farklı saatinde 10 ayrı cümle okunmasıyla oluşturulmuş veri seti kullanılmıştır. Bu amaç için ilk olarak ses işaretleri örnekleme yapılarak ayrıştırılmış, eşit uzunluklarda segmentlere bölünen ses işaretlerini oluşturan her bir segmentin istatistiksel parametreleri konuşmacı tanıma için bir ÇKASA modeline giriş olarak kullanılmıştır. İkinci olarak, ses işaretlerini oluşturan her bir segment ADD yöntemi ile gürültüden arındırılmış ve aynı istatistiksel parametrelerle elde edilen özellik vektörleri aynı sınıflayıcı modeline giriş olarak uygulanmıştır. ADD temelli gürültü arındırma yaklaşımında dalgacık türleri karşılaştırılmış ve konuşmacı doğru sınıflandırma oranı ortalamaları, gürültülü işarette %72.60, db2 dalgacığı kullanılan yaklaşımda %90.26 ve coif2 dalgacığı kullanılan yaklaşımda %97.70 oranlarına ulaşılmıştır. Sonuç olarak, ses işaretlerinden konuşmacı tanıma işleminde ADD ile gürültü arındırmanın önemli derecede katkısı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: konuşma tanıma, özellik çıkarma, çok katmanlı algılayıcı sinir ağı, ayırık dalgacık dönüşümü.

Abstract

In this study, the effect of denoising in speaker recognition system based on discrete wavelet transform (DWT) using multilayer perceptron neural network model (MLPNN) is investigated. The data base which is used is formed 10 sentences that 5 speaker was read at 5 different times in a day. For this aim, firstly the audio signals are discretized by sampling and divided into equal length segments, used the statistical features obtained by means of this approach as the inputs of multilayer perceptron neural network (MLPNN) model. Secondly, each segment that obtained audio signals, are denoised with DWT and the same statistical features are used as the inputs of the same MLPNN model. The wavelet types of the denoising approach based on DWT are compared and the speaker correct classification ratio in noisy signal is %72.60, in the approach used db2 wavelet type is %90.26 and the

approach used coif2 wavelet type is %97.70. As a result, denoising with DWT has serious contribution in speaker recognition systems with audio signals

Key Words: speech recognition, feature extraction, multilayer perception neural network, discrete wavelet transform.

1. Giriş

Konuşmacı tanıma sistemi, ses işleme alanının bir alt dalıdır ve konuşmacı belirleme ve onaylama esaslarına dayanmaktadır. Konuşmacı işareti, söylenen sözcüklerin anlamı dışında konuşmacının cinsiyeti, yaşı, lehçesi ve ruh hali gibi özelliklerini taşıyan nitelikli bir işarettir. Sesin modellenmesi, ses işaretine ait özellik ve parametrelerin çıkarılması, ses sıkıştırma/açma işlemleri, sesin kodlanması ve gürültüden arındırılması haberleşme sistemlerinde ve sinyal işleme uygulamalarında genellikle kullanılan yöntemler haline gelmiştir [1][2].

Konuşmacı tanıma yöntemi kullanım alanı oldukça geniş bir yöntemdir. Güvenliğin ve gizliliğin önemli olduğu durumlarda, gizli bir binayı, veriyi koruyup kontrollü giriş yapılması gerektiğinde, veri tabanı erişim hizmetlerinde, bilgisayarlara uzaktan erişim işlemlerinde, kriminal laboratuvarlarda, sesli tarama işlemlerinde, telefon üzerinden sele kontrol uygulamalarında, bankacılık işlemlerinde ve engelli kişilerin çeşitli cihazlara kolaylıkla erişebilmesi gibi durumlarda kişiye ait olan DNA, el yazı stili, yürüyüş şekli, el ve parmak izi, retina izi, ses izi, şifre, kart ya da anne kızlık soyadı gibi bilgilere kolay ulaşım sağlanabiliyor olması nedeniyle özel donanım gerektirmeyen ve maliyeti diğerlerine göre daha az olan konuşmacı tanıma sistemlerinden yararlanılmaktadır [1].

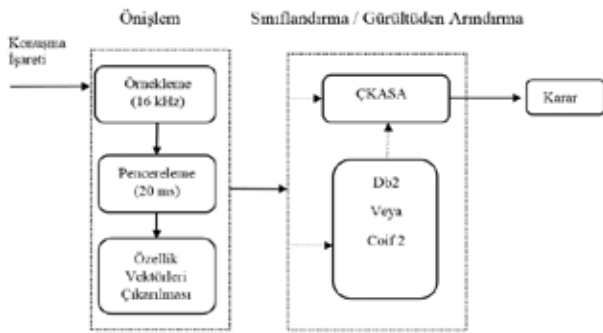
Konuşmacı tanıma uygulamalarında birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan sıklıkla kullanılanları, örüntü eşleme, Vektör Niceme (VN), Saklı Markov Modeli (SMM), Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (MFKK), Ağırlıklı Mel Frekans Kepstrum Katsayıları (AMFKK) ve Gauss Algoritması (GA) yöntemleridir [2][3].

Bu yöntemlerden MFKK, konuşmacı sayısına bağlı olarak değişik başarı oranlarının elde edildiği, öznel özellik vektörlerini kullanan VN tekniklerine dayalı bir konuşmacı tanıma sistemidir. Öznel özellik olarak MFKK, tanıyıcı olarak ise SMM

kullanılarak yapılan testlerde yüksek oranda doğru tanıma yüzdelere ulaşılmıştır [4] [5] [6].

Performans artırmak amacıyla SMM'nin kullanıldığı Wavelet (Dalgacık Dönüşümü) uygulamalarında hesaplamaların daha hızlı ve güvenilir olması için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir [6].

Bu çalışmada geliştirilen ADD temelli konuşmacı tanıma sistemi blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. ADD temelli konuşmacı tanıma sistemi

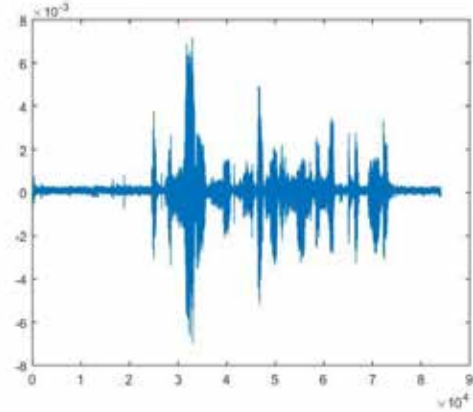
İlk olarak, gürültü arındırma işlemi olmadan ses işaretlerini oluşturan her bir segmentin maksimum, minimum, ortalama ve varyans istatistiksel parametreleri kullanılarak özellik vektörleri elde edilmiştir. Özellik vektörleri konuşmacı tanıma işlemini gerçekleştirmek için ÇKASA'ya giriş olarak kullanılmıştır. İkinci olarak, ses işaretlerini oluşturan her bir segmenti gürültüden arındırmak için ADD yöntemi kullanılmış ve gürültüden arındırılmış segmentlerden aynı istatistiksel parametrelerle elde edilen özellik vektörleri aynı sınıflayıcı modeline giriş olarak uygulanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

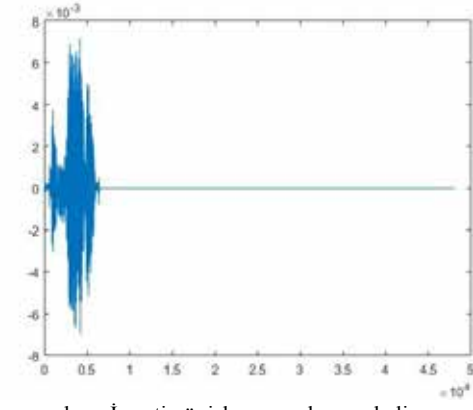
2.1. Veri Seti

2002-2003 yıllarında Yasunari Obuchi tarafından Carnegie Mellon University (CMU)'de kaydedilmiş olan veriden ilk 5 konuşmacı seçilmiş ve işleme alınmıştır [7]. Bu konuşmacılara 10 ayrı cümle, günün farklı saatlerinde 5 kez tekrarlatılmıştır. .wav uzantılı olarak kaydedilmiş olan ses sinyalleri GoldWave programı yardımıyla en kısa cümle uzunluğu olan 3 saniyeye kısaltılmıştır. Kayıtlar, farklı ortamlarda yapıldığından çeşitli ortam gürültüleri barındırmaktadır.

Ses işareti öncelikle örnekleme frekansı 16 kHz olan 20 ms'lik segmentlere ayrılmıştır. Bu segmentlerdeki veriler tek taranarak 0 değeri olan kısımlar ve çok düşük genliğe sahip gürültü içeren kısımlar çıkarılmıştır. Bu aşamadan sonra doğrusal hale gelmiş sıfır noktaları da devre dışı bırakılarak işlenecek olan işaret elde edilmiştir. Şekil 2' de ham konuşma işareti örneği ve işaretin ön işlem uygulanmış hali gösterilmektedir.



a. Ham konuşma işareti örneği



b. İşaretin ön işlem uygulanmış hali

Şekil 2

2.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı (ÇKASA)

ÇKASA yapısı spektral analiz ve sınıflandırma yöntemlerine ek olarak bu sınıflandırma için çözüm üreten bir yapay sinir ağı tekniğidir. Birden çok kez eğitilebilir özellikte olması kısa sürede tanımlama ve sınıflandırmada yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Temel amacı ağı beklenen çıktısı ile ürettiği çıktı arasındaki hatayı en aza indirmektir [8] [9].

ÇKASA'nın girişine hem giriş örnekleri hem de hedef örnekleri verilmesi gerekmektedir. Sistem kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak problem uzayını temsil eden bir çözüm uzayı üretmektedir. Daha sonra gösterilen benzer örnekler için bu çözüm uzayı sonuçlar ve çözümler üretebilmektedir.

Ara katmandaki her işlem elemanı girdi katmanındaki bütün işlem elemanlarından gelen bilgileri bağlantı ağırlıklarının ($A_1, A_2, \dots$) etkisi ile alır. Önce ara katmandaki işlem elemanlarına gelen net girdi (NET_j^a) şu formül kullanılarak hesaplanır:

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n A_{kj} C_k^i \quad (1)$$

Burada A_{kj} , k . girdi elemanını j . ara katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık değerini göstermektedir. j . ara katman

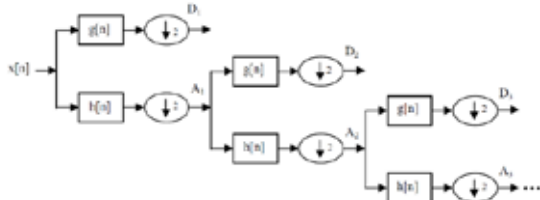
elemanının çıktısı ise bu net girdinin aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle hesaplanır. C_k^i ise giriş katmanındaki k . işlem elemanın çıktısıdır. Ara katmandaki elemanlara eşik değeri eğitim sırasında ağ tarafından belirlenir. Ara katmanın bütün işlem elemanları ve çıktı katmanının işlem elemanlarının çıktıları aynı şekilde kendilerine gelen NET girdinin hesaplanması ve sigmoid fonksiyonundan geçirilmesi sonucu belirlenirler. Çıktı katmanından çıkan değerler bulununca ağı ileri doğru hesaplama işlemi tamamlanmış olur [10].

Bu çalışmada kullanılan model, 4 giriş katmanı, 10 gizli katman ve 1 çıkış katmanı içermektedir. Tanıma işlemi yapılacak olan konuşmacıya ait tüm veri 50 adet olduğundan diğer tüm konuşmacılara ait toplam 50 adet ses işareti içeren veri oluşturularak ÇKASA yapısına uygulanmıştır. Ses işaretinin %50'si eğitim, %15'i onaylama ve %35'i de test aşamaları için ayrılmıştır.

2.3. Ayırık Dalgacık Dönüşümü

Değişik frekans değerleri için dar veya geniş pencere boyutları barındırmasından dolayı dalgacık dönüşümü diğer spektral analiz yöntemlerine göre kolaylık göstermektedir [11]. Ayırık dalgacık dönüşümünün sürekli dalgacık dönüşümüne göre üstünlükleri vardır. Sürekli dalgacık dönüşümü, ana dalgacığın zaman düzleminde ötelenmiş ve ölçeklenmiş durumuyla çarpılan sinyalin tüm zaman boyunca toplamıdır. Bu işlemler sonucu dönüşüm katsayıları elde edilir. Kullanılan bu ölçekleme ve öteleme bir öncekinin üssü şeklinde seçilirse ayırık dalgacık dönüşümü işlemi yapılmış olur ve daha doğru sonuca yaklaştırır [12].

Herhangi bir $x(n)$ işareti için ayırık dalgacık dönüşümü alt bantlara ayırışım işlemi Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. ADD alt bantlara ayırışımı

İlk yüksek geçiren ($g[n]$) ve alçak geçiren ($h[n]$) filtreye ait olan örneklenmiş çıkışlar sırasıyla ayrıntılı D1 ve yaklaşık A1 alt batlarını oluştururlar. Buna göre A_1 yaklaşım katsayıları, sinyalin yüksek ölçekli alçak frekans bileşenlerini göstermektedir. D_1 ayrıntı katsayıları ise sinyalin düşük ölçekli yüksek frekans bileşenlerini göstermektedir. Bu katsayılar aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$A_1 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[2n-k] \quad (2)$$

$$D_1 = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n-k] \quad (3)$$

Bu çalışmada, dalgacık türleri karşılaştırması sonucu Daubechies 2 (db2) ve Coiflet 2 (coif2) dalgacıklarının 5. seviyelerinde orijinal işareti en iyi temsil ettiği görülmüş ve bu iki tür dalgacık arasında karşılaştırma yapılmıştır.

2.4. Geçerlik Ölçütleri

Bir sınıflandırma yönteminin güvenilir ve gerçekçi sonuç vermesi için gerçekliğini ölçen bir istatistiksel bir karar verme yöntemi gerekmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan yöntem ROC analiz yöntemidir ve bu çalışmada da bu yöntemden yararlanılarak veri analizleri yapılmış ve doğru sınıflandırmaya varılmıştır. Konuşmacı tanıma ve sınıflandırma işleminde Tablo 2'deki gerçeklik ölçütleri esas alınmıştır [4].

Tablo 1. Karşılaştırma yapılırken kullanılan geçerlik ölçütleri

Doğru Pozitif (DP)	Doğru Negatif (DN)
Yanlış Pozitif (YP)	Yanlış Negatif (YN)

Doğru Pozitif Oranı (Duyarlılık): Sistemde gerçekte tanınan konuşmacılar arasında tanıma işleminin pozitif sonuç verme oranı.

Doğru Negatif Oranı (Belirlilik): Sistemde gerçekte tanınmayan konuşmacılar arasında tanıma işleminin negatif sonuç verme oranı.

Yanlış Pozitif Oranı (1-Belirlilik): Sistemin gerçekte tanımadığı konuşmacılar arasında tanıma işleminin yanlışlıkla pozitif sonuç verme oranı.

Yanlış Negatif Oranı (1-Duyarlılık): Gerçekte tanınan konuşmacılar arasında tanıma işleminin yanlışlıkla negatif sonuç verme oranı.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, mevcut veri setindeki ses işareti 16 kHz frekansta örnekleme yapılarak ayrıştırılmış ve 20ms'lik segmentlere bölünmüştür. Gürültü arındırma işlemi olmadan her bir segmentin maksimum, minimum, varyans ve ortalama değerleri kullanılarak özellik vektörleri elde edilmiştir. Bu vektörler ÇKASA'ya giriş olarak kullanılmıştır. İkinci olarak da segmentleri gürültüden arındırmak için ADD yöntemi uygulanmış ve gürültüden arındırılmış segmentlerin özellik vektörleri elde edilmiştir. Elde edilen bu vektörler ÇKASA'ya giriş olarak uygulanmıştır. ADD temelli gürültü arındırma yaklaşımında dalgacık türleri karşılaştırılmış, db2 ve coif2 dalgacıklarının 5. seviyelerinde orijinal işaretin en iyi temsil ettiği görülmüştür.

5 ayrı konuşmacıya ait ses işaretleri gürültülü işaret, db2 ile gürültüden arındırılmış hali ve coif2 ile gürültüden arındırılmış hali olarak 3 kısımda karşılaştırma yapılmıştır. Her bir konuşmacıya ait 50 adet ses örneği olduğundan diğer konuşmacılara ait toplamda 50 adet örnek seçilerek 100 adet veri üzerinden inceleme yapılmıştır. Tablo 2'de sırasıyla tüm konuşmacılara ait karışıklık matrisi, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma (TDS) oranları gösterilmektedir.

Tablo 2. Konuşmacılara ait karışıklık matrisleri, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma oranları

a. İnci konuşmacı için karışıklık matrisi, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma oranları

	Gürültü		Db2		Coif2	
	1.Kişi	Diğerleri	1.Kişi	Diğerleri	1.Kişi	Diğerleri
1.Kişi	17	2	20	3	16	0
Diğerleri	4	12	0	12	0	19

	Duyarlılık	Belirlilik	TDS Oranı (%)
Gürültü	0.81	0.85	82.9
Db2	1	0.80	91.4
Coif2	1	1	100

b. 2nci konuşmacı için karışıklık matrisi, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma oranları

	Gürültü		Db2		Coif2	
	2.Kişi	Diğerleri	2.Kişi	Diğerleri	2.Kişi	Diğerleri
2.Kişi	11	4	16	5	17	1
Diğerleri	7	13	3	11	0	17

	Duyarlılık	Belirlilik	TDS Oranı (%)
Gürültü	0.61	0.76	68.6
Db2	0.84	0.68	77.1
Coif2	1	0.94	97.1

c. 3üncü konuşmacı için karışıklık matrisi, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma oranları

	Gürültü		Db2		Coif2	
	3.Kişi	Diğerleri	3.Kişi	Diğerleri	3.Kişi	Diğerleri
3.Kişi	15	8	14	5	16	0
Diğerleri	3	9	0	18	0	19

	Duyarlılık	Belirlilik	TDS Oranı (%)
Gürültü	0.83	0.52	68.6
Db2	1	0.85	91.4
Coif2	1	1	100

d. 4üncü konuşmacı için karışıklık matrisi, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma oranları

	Gürültü		Db2		Coif2	
	4.Kişi	Diğerleri	4.Kişi	Diğerleri	4.Kişi	Diğerleri
4.Kişi	13	5	15	1	15	0
Diğerleri	6	11	1	18	1	19

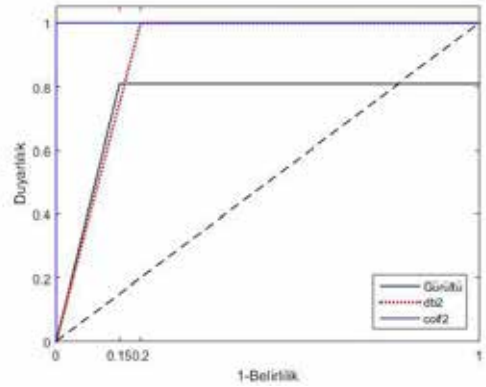
	Duyarlılık	Belirlilik	TDS Oranı (%)
Gürültü	0.68	0.68	68.6
Db2	0.93	0.94	94.3
Coif2	0.93	1	97.1

e. 5inci konuşmacı için karışıklık matrisi, geçerlik ölçütleri ve toplam doğru sınıflandırma oranları

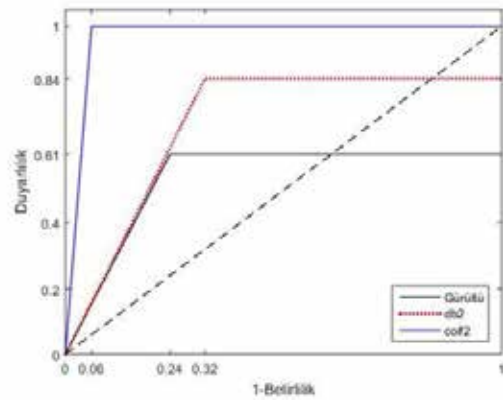
	Gürültü		Db2		Coif2	
	5.Kişi	Diğerleri	5.Kişi	Diğerleri	5.Kişi	Diğerleri
5.Kişi	15	5	21	1	18	1
Diğerleri	4	11	0	13	1	15

	Duyarlılık	Belirlilik	TDS Oranı (%)
Gürültü	0.78	0.68	74.3
Db2	1	0.92	97.1
Coif2	0.94	0.93	94.3

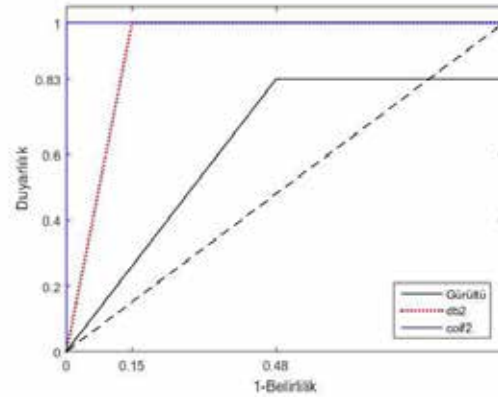
Tüm konuşmacılar için ADD temelli gürültü arındırılmış ses işaretlerinde daha yüksek oranda doğru sınıflandırma yapılmıştır. Her konuşmacıya ait ROC eğrileri çizdirilerek DP (duyarlılık) ve YP (1-belirlilik) eğrileri Şekil 4'de gösterilmektedir.



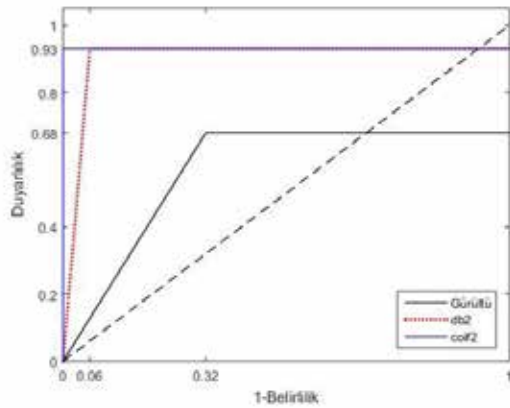
a. 1inci konuşmacı için ROC eğrisi



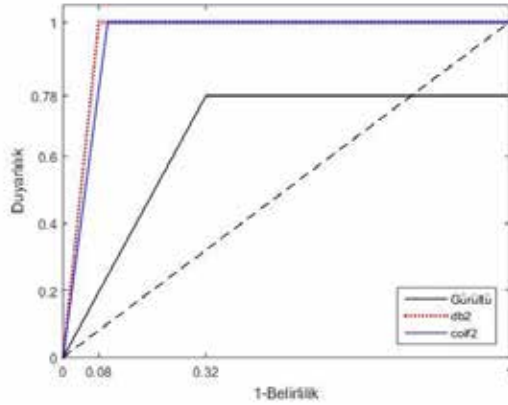
b. 2nci konuşmacı için ROC eğrisi



c. 3üncü konuşmacı için ROC eğrisi



d. 4. konuşmacı için ROC eğrisi



e. 5. konuşmacı için ROC eğrisi

Şekil 4. Konuşmacılara ait ROC eğrileri

4. Sonuç

ADD temelli gürültü arındırmaya dayalı temel istatistiksel parametreler kullanılarak elde edilen özellik vektörleri ÇKASA modeline giriş olarak kullanılmış ve konuşmacı tanıma sisteminde yüksek değerlerde sınıflandırma oranlarına ulaşılmıştır. Sonuç olarak, ADD temelli gürültü arındırma işlemi konuşmacı tanıma sistemlerinde sınıflandırma başarılarını artırmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] K. Öcal, "Otomatik Konuşma Tanıma Algoritmalarının Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [2] V.V. Nabyev, Y. Ergün, "VQ Yöntemiyle Konuşmacı Cinsiyetinin Belirlenmesi", Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, Vol.1 No.1 (2009),35-47, 2009.
- [3] O. Mut, "Konuşmacı Tanıma", Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005.

- [4] Uzunçarşılı, M., "Vektör Nicemleme Tekniklerine Dayalı Konuşmacı Tanıma Algoritmalarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [5] Başaran, S., "Yapay Sinir Ağları Kullanarak Konuşmacı Tanıma", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2007.
- [6] Aygün, O., "Konuşmacı Tanıma Sistemlerinde Dalgacık Dönüşümü", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.
- [7] <http://www.speech.cs.cmu.edu/databases/>
- [8] İ. İşeri, C. Öz, L. Dağkurs, M. Kara, "Eşit Genişlikli Ayrıştırma ve Yapay Sinir Ağı Temelli Meme Kanseri Teşhisi", International Advanced Technologies Symposium Elazığ, 2011.
- [9] M. Hekim, U. Orhan, "A Validity Measure for a New Hybrid Data Clustering", International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, İstanbul, 2007.
- [10] members.comu.edu.tr/boraugurlu/courses/ai/Presentation9.ppt
- [11] E. D. Übeyli, İ. Güler, "Dalgacık dönüşümü ile EEG İşaretlerinden Çıkarılan Öznitelik Vektörleri Üzerinde İstatistiksel İşlemlerin Gerçekleştirilmesi", Eleco'2004, Bursa, 2004.
- [12] C. Tepe, H. Sezgin, "EKG Sinyallerinde Gürültü Gidermede Ayrık Dalgacık Dönüşümünde Farklı Ana Dalgacıkların ve Ayrıştırma Seviyelerinin Karşılaştırılması", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi, Eskişehir, 2007.

Genetik Algoritma Kullanılarak Video Damgalama İçin Yeni Bir Yaklaşım A New Approach For Video Watermarking Using Genetic Algorithm

Alisher Abdulkhaev¹, Y.Doç.Dr.Sema Koç Kayhan²

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
alisher.abdulkhaev@gmail.com

²Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep Üniversitesi
skoc@gantep.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, dayanıklı En Düşük Ölçekli Bit (LSB) video damgalama metodu sunulmuştur. Her ne kadar LSB metodu video damgalama için en uygun seçim olsa da, bit düzleminin silinmesi, gaussian filtre, median filtre gibi ataklara karşı dayanıklı değildir. En uygun bit düzlemi seçimi için Genetik algoritma kullanılmıştır ve sonuç olarak gömülecek olan damga video karelerinin en uygun bit düzlemine (6., 7. veya 8.) gömülmüştür. Böylelikle, olası ataklara karşı dayanıklılığının artırılması öngörülmüştür. Seçim aşamasında damgalanmış video karelerinin Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR) ve orijinal damga ile çıkartılan damga arasındaki Normalize Edilmiş Çapraz Korelasyon (NCC) değerlerine göre karar verilmiştir. Deneyler ana video, damga ve Genetik Algoritma parametreleri (populasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, turnuva aralığı) değiştirilerek yapılmıştır. Sonuçlar gösterdi ki, sunulan/değiştirilen LSB metodu bit düzleminin silinmesine, median filtrelerine ve gaussian filtrelerine karşı dayanıklı hale gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: LSB; Genetik Algoritma; video damgalama; PSNR; NCC.

Abstract

In this paper, a robust LSB (Least Significant Bit) method for video watermarking is proposed. Although, standard LSB watermarking is good choice for data embedding, it is not robust against bit-deletion, gaussian, median filtering, etc attacks. We use Genetic algorithm to select most optimum bit plane during the embedding process and the watermark is embedded into optimum (6th, 7th or 8th) bit of host video frames, to overcome above mentioned attacks' degradations. Decision is done with respect to PSNR of watermarked frame and NCC values of the original and extracted watermark. Experiments are done by changing original watermarks, host video, and parameters of Genetic Algorithm such as

population size, number of iteration, tournament range. Results show that modified LSB watermarking scheme is more robust to bit-plane deletion, gaussian, median filtering and some other similar attacks.

Keywords: LSB; Genetic Algorithm; video watermarking; PSNR; NCC.

1. Giriş

Veri gizleme sahiplik ispatı gibi meselelerde çok büyük öneme sahiptir. Veri gizleme yıllar önce ortaya çıkmasına rağmen hala aktif araştırma alanlarından biridir. Bu alanda damgalama, parmakizi, gizli yazı, şifreleme gibi metodlar mevcuttur. Veri gizleme metodları her ne kadar aynı gibi gözükse de, kullanım amaçları açısından birbirinden ayrılırlar [1, 6].

Damgalama – Sahiplik ispatı için ana veriye damga gömme olarak düşünülebilir.

Gizli yazı – gizli haberleşmenin bir türü olup, gizli mesajın var olmasından başkalarının haberinin olmamasıdır. Başka bir deyişle, gizli yazı verinin altında gizli mesaj gönderilerek yapılan haberleşmenin adıdır.

Şifreleme – Gönderici ve alıcı arasında bir verinin güvenli şekilde gönderilebilmesidir. Güvenilirlik, ana veriye ulaşım için üretilen gizli anahtar yardımıyla sağlanır.

Parmakizi – Her bir veri içeriğinin kopyasını alarak içeriği korur ve sadece belirli bir kullanıcının kullanabilmesini sağlar.

Yukarıda görüldüğü üzere damgalama, kullanım amacı olarak diğer veri gizleme yöntemlerinden farklıdır. Damgalama sahiplik ispatları için çokça kullanılır. Diğer veri gizleme yöntemleri ise içinde bulunan bilgiyi, ana veriyi korumak, belirli kullanıcı dışındaki kullanıcıların kullanımına engel olmak amaçlı kullanılır. Dijital damgalama ise damgalamanın dijital versiyonudur ve bilginin sinyale gömülme işlemidir. Damgalamanın dayanıklılığı ise üçüncü bir kişinin gömülen damgayı çıkartamaması ile doğru orantılıdır [2]. Dijital

damgalamada, damga herhangi digital verinin – görüntü, ses, video – içine gizlenebilir (gömülebilir). Bu çalışmada dijital damgalama ele alınmış olup, video damgalama için yeni yaklaşım öngörülmüş, ve deney sonuçları sunulmuştur.

Video işleme/damgalama, imgelerden (video kareleri) oluşması açısından görüntü işleme/damgalamaya benzerdir. Ama, işlem zamanı olarak görüntü işlemeden daha farklıdır ve uygulanması açısından daha zordur. Literatürde video damgalama ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [3-5].

2. Dijital Video Damgalama

Dijital Video damgalama 3 farklı düzlemde gerçekleştirilebilir: uzamsal düzlem, frekans düzlemi, karma/hibrid düzlem. Çizelge 1'de farklı düzlemlerdeki farklı damgalama teknikleri gösterilmiştir [6]. Çizelgedeki tekniklerden olan En Küçük Değerlikli Bit (LSB) damgalama tekniğinin uygulama açısından birçok artıları olduğu için bu çalışmada LSB tekniğine yakın bir yaklaşım sunulmuştur. LSB damgalama dijital damgayı En Küçük Değerlikli Bite gömerken, sunulan yaklaşımda dijital damga 1., 2. veya 3. En Küçük Değerlikli Bite, yani sırasıyla 8., 7., veya 6. Bit düzlemine, gömülmüştür. Böylelikle LSB damgalamanın en büyük eksilerinden olan gürültülere karşı dayanıksız olmasının önüne geçilmiştir. Deney sonuçları ise Başarım Analizleri bölümünde sunulmuştur.

Çizelge 1: Video damgalama tekniklerinin artıları (sol sütun) ve eksileri (sağ sütun)

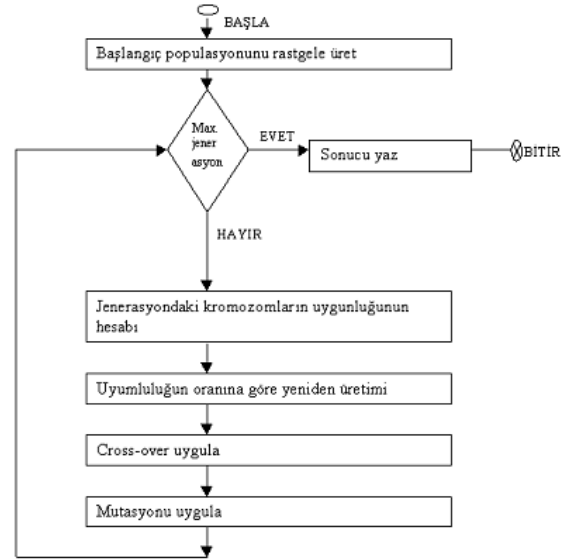
Video damgalama teknikleri	
Artıları	Eksileri
EKDB (LSB) – En Küçük Değerlikli Bit	
1. Kolay uygulanabilir	1. Dayanıklılığı az
2. Görüntü kalitesini daha az düşürür	2. Gürültülere karşı savunmasız
3. Yüksek algısal şeffaflık	
ADD (DWT) – Ayrık Dalgacık Dönüşümü	
1. Daha büyük sıkıştırma oranı	1. Daha uzun zamanda sıkıştırma
2. İnsan Görme Sistemine (HVS) daha uygun	2. Hesaplama maliyetinin yüksek olma ihtimali
AFD (DFT) – Ayrık Fourier Dönüşümü	
1. Çevirmeye, ölçeklemeye karşı değişmez	1. Uygulanmasının karmaşıklığı
2. Geometrik çarpıtmalara karşı dayanıklı	2. Hesaplama zamanının uzun olması
AKD (DCT) – Ayrık Kosinüs Dönüşümü	
1. Damga orta frekans katsayılarına gömüldüğünden, ana verinin görüntü kalitesinin değişmemesi	1. Sistemin değişmezlik özelliğini yok etmesi
	2. Yüksek frekans katsayılarının nicenleme kademesinde sıkıştırılmaya müsait olması

3. Genetik Algoritma ile Video Damgalama

Genetik algoritma bir evrimsel hesaplama metodu olup, ele alınan probleme ilişkin olası çözümler grubu (başlangıç popülasyonu) ile çalışmaya başlar. Bu çözümlerin her biri doğadaki gibi bireyleri temsil eder ve eşleştirilip çoğaltması sağlanır. Başlangıç popülasyonundaki bireylerin çiftleştirilmesi için seçilen bireyler (ebeveynler) uygunluk değerlerine göre en uygun bireyin seçilme ihtimalinin fazla olacağı şekilde belirlenir. Genetik algoritmada yeni bireyin oluşması biyolojik aşamalara benzer şekilde olur. Seçilim, çoğalma, çaprazlama, ve mutasyon işlemlerinin uygulanması ile optimal bir çözüm araştırılır. En iyi birey her zaman hayatta kalır. Genetik algoritma kullanılarak video damgalama için literatürde birkaç çalışma mevcuttur [7, 8].

Önerilen algoritmada bit düzlem derecelerinden oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturulmuş ve en uygun bireyin bulunması amaçlanmıştır. Bit düzleminin derece aralığı, popülasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyon oranları girdi olarak verilerek algoritmanın koşuturulması gerçekleştirilmektedir.

Genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonu, video karelerinin, ayrı ayrı, Normalize Edilmiş Çapraz Korelasyon (NCC) değerlerini ve çıkartılan damgaların Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR) değerlerinin bire bölümlerinin toplamalarını hesaplayacak şekilde yazılmıştır. Böylece problem bir minimizasyon problemine dönüşmüştür. Şekil 1 de genetik algoritmanın akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 1: Genetik Algoritmanın Akış Şeması

4. Başarım Analizleri

Deneylerde 3 farklı video kullanılmıştır. Damga olarak Şekil 2'deki damga kullanılmıştır. Videonun bütün karelerine genetik algoritmanın sonucuna göre damga gömülmüştür. Genetik Algoritmadaki uygunluk fonksiyonu yardımıyla PSNR ve NCC değerlerine göre en uygun bit düzlemleri çıktı olarak alınmış ve gerçekte en uygun olan bit düzlemleri ile kıyaslanmış ve Çizelge 3'te gösterilmiştir. Deneylerde, Genetik Algoritmanın daha güzel sonuç verebilmesi için parametrelerinin önemi gözlemlenmiş ve aşağıdaki parametreler en uygun parametre olarak tespit edilmiştir:

İterasyon Sayısı : 30
 Turnuva Aralığı : 5
 Çaprazlama Oranı : 0.9
 Mutasyon Oranı : 0.05
 Populasyon Genişliği : 10 * (Videodaki toplam kare sayısı)

Yukarıdaki değerleri kullanarak kaynaksız damgalama gerçekleştirilmiştir. Böylelikle taşıyıcının orijinal versiyona ihtiyacı olmamaktadır. Gömülen damgayı çıkartma esnasında önerilen genetik algoritma çalıştırılarak gömülen damgayı kaynaksız olarak çıkartmamız mümkün olacaktır. Bu durum Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Kullanmış olduğumuz videolara çeşitli gürültüler uygulanarak videonun ortalama PSNR ve ortalama NCC değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Damga, videonun farklı farklı bit düzlemlerine gömüldüğünden Bit düzlem silinmesi için de dayanıklı hale gelmektedir.

Video 1 : Handshake.avi ¹
 Video 2 : Shuttle.avi ²
 Video 3 : Shaky Car.avi ³

Çizelge 2: Videoların Farklı Gürültüler Sonucundaki PSNR ve NCC Değerleri

		Video 1	Video 2	Video 3
Median Filtre	PSNR (dB)	39.08	39.05	39.11
	NCC	0.96	0.963	0.92
Gaussian Filtre	PSNR (dB)	38.97	51.08	51.13
	NCC	0.80	0.99	1
Salt and Pepper	PSNR (dB)	51.12	51.13	51.02
	NCC	0.998	0.998	0.998

Çizelge 3: İterasyon sayılarına göre genetik algoritma performansı

İterasyon Sayıları	10	20	30
Genetik Algoritma Performansı			
Video 1 (145)	111 (%76.5)	140 (%96.5)	145 (%100)
Video 2 (121)	93 (%76.8)	120 (%99.0)	121 (%100)
Video 3 (132)	104 (%78.8)	128 (%96.9)	132 (%100)



Şekil 2: Kullanılan Dijital Damga

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaynaksız video damgalama işlemi için damganın dayanıklılık ve videonun şeffaflığının artırılması amacıyla genetik algoritma kullanılarak damgayı gömeceğimiz en uygun bit düzlemleri seçilmiştir. LSB damgalama yöntemi için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda optimizasyon yöntemlerinden olan Genetik Algoritma kullanılmıştır. Bu çalışmada işlem hızının az olması ve yüksek görünmezlik özelliğinden dolayı, literatürde var olan bit düzlem video damgalama yöntemi kullanılmıştır.

LSB yönteminin birçok avantajları olduğu gibi, dezavantajları da mevcuttur. Dezavantajlarını bir miktar azaltmak için damgayı 6,7 veya 8.bit düzlemine gömme öngörüldü. Bu şekilde videolara eklenmesi olası olan gürültülerden, çıkartılacak olan damganın daha az etkilenmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda damgalanmış videonun kalitesinin çok bozulmaması ve damgalanmış videodaki damganın görünmemesi için de optimum bit düzlemine gömülmüştür. Bu seçim de genetik algoritmadaki uygunluk fonksiyonu aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

Genetik Algoritmanın uygunluk fonksiyonu ise video karelerinin, ayrı ayrı, NCC değerlerini ve çıkartılan damgaların PSNR değerlerini de en uygun olacak şekilde seçmektedir.

PSNR – orijinal damga ile ataklardan sonra çıkartılan damga arasındaki benzerlik ölçümüdür.

NCC – orijinal video kareleri ile damgalanmış kareler arasındaki değişim ölçümüdür. NCC değer aralıkları 0 ile 1 arasında değişmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Kaur, G. and Kaur, K., "Digital Watermarking and Other Data Hiding Techniques", *IJITEE*, Volume-2, Issue-5, 181-183, 2013.
- [2] Thapa, M. and Kumar Sood, S., "On Secure Digital Image Watermarking Techniques", *Journal of Information Security*, 169-184, 2011.

- [3] Pehlivanoglu, M.K., Savaş B.K. and Duru, N., "LSB based steganography over video files using Koblitz's Method", SIU, 1034 – 1037, 2015
- [4] Venugopala P.S., Dr. H. Sarojadevi, Dr. Niranjana N., Vani B., "Video Watermarking by Adjusting the Pixel Values and Using Scene Change Detection", ICSIP, 259-264, 2014
- [5] Tian Hu, Ji Wei, "A Digital Video Watermarking Scheme Based on 1D-DWT", ICBECS, 1-3, 2010
- [6] Yalman, Y., Ertürk İ., Çetin Ö., Akar F., *Veri Gizleme*, Beta Yayıncılık, ISBN: 978-605-33-3063-9, 2014
- [7] Zhang, L. ve Li A., "A Study on Video Watermark Based-on Discrete Wavelet Transform and Genetic Algorithm", *First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, 2009, 374-377
- [8] Zhigang, S. ve Hua J., "An Adaptive Video Watermarking Based on Decomposing of Bit Planes", *Third International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, 2009, 324-326

^{1, 2, 3} Bu videolar MATLAB kaynak dosyalarından alınmıştır.

Varış Zamanları Farkı Tabanlı Verici Konumu Tespitinde Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Parametrelerinin Konumlandırma Başarımı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Investigation The Effect of The Particle Swarm Optimization Parameters on The Positioning Performance of Time Difference of Arrival Based Emitter Location Finding

Oğuzhan ÇAKIR¹, Ayhan YAZGAN¹, Ömer ÇAKIR²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
cakir@ktu.edu.tr, ayhanyazgan@ktu.edu.tr

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
cakiro@ktu.edu.tr

Özet

Elektromanyetik, akustik veya sismik bir kaynaktan yayılan sinyal, kaynağın konumu hakkında bilgi taşımaktadır. Verici konumu, alınan sinyalin gücü, doğrultusu, zamanı ve güç/zaman/frekans farkı kullanılarak tespit edilebilmektedir. Varış zamanları farkıyla (VZF) konum tespitinde, eş zamanlı alıcılar arasında oluşan zaman farkları kullanılarak hiperbolik konum hatları tanımlanmakta ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır. Literatürde, konum tespitine yönelik çok sayıda doğrusal ve doğrusal olmayan yöntem önerilmiştir. Bu tekniklerden biri olan parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), bölgesel minimumlara yakınsama olasılığı düşük, kullanımı kolay, esnek ve az parametre içerdiği için konumlandırma uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, PSO parametrelerinin (parçacık sayısı, yineleme sayısı ve ağırlıklandırma faktörleri) konumlandırma doğruluğu ve işlem yükü üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Abstract

The signal propagating from electromagnetic, acoustic or seismic source, has information about the position of the source. The position of the emitter can be determined using strength, direction, time, and strength/time/frequency difference of the received signal. Positioning with time difference of arrival (TDOA) is based on defining hyperbolic lines using time differences between synchronized receivers and positioning the target at the intersection point of these lines. Lots of linear and nonlinear methods have been presented for positioning in the literature. Among these methods the particle swarm optimization (PSO) method is used successfully because of low convergence to local minimums, easy to use, flexibility, and including less parameter. In this study the performance of the PSO

parameters (particle number, recurrence number and weighting factors) over poisoning and workload are investigated.

1. Giriş

Vericiden yayılan sinyalinin genliği, doğrultusu, geliş zamanı ve geliş zamanları/frekansları farkı hedefin konumu hakkında bilgi taşımaktadır. Literatürde, güvenilirlik, doğruluk ve karmaşıklık açısından farklılık gösteren birçok konumlandırma yöntemi önerilmiştir. Bunlardan biri olan alınan sinyal gücü (ASG) tekniğinde sinyalin genliğinin ve ortam parametrelerinin (zayıflatma, doğrudan görüş, çok yolluluk vb.) bilinmesi gerekmektedir [1]. Varış doğrultusu (VD) yönteminde ise konum tespiti, yapısında özdeş ve hassas anten/mikrofon dizileri bulunduran alıcılarla gerçekleştirilmektedir [2]. En yüksek doğruluğa ve güvenilirliğe sahip olan varış zamanı (VZ) yöntemi, eş zamanlı alıcılarına ulaşan sinyallerin geliş zamanlarını kullanarak kaynak koordinatlarını tayin etmektedir [3]. Ancak bu teknikte vericiden yayımlanan sinyalin alıcılarda bilinmesi gerekmektedir. Pasif radar uygulamaları için vazgeçilmez olan varış zamanları farkı (VZF) yönteminde ise eş zamanlı alıcılar arasında oluşan zaman farklarıyla konum tespiti yapılmaktadır [4]. Bu teknikte kaynaktan yayılan sinyalin bilinmesine gerek olmadığı gibi verici-alıcı eş zamanlamasına da ihtiyaç duyulmamaktadır. Kısaca değinilen bu yöntemlerin dışında verici ve/veya alıcıların hareketli olması halinde oluşan varış frekansı farklarıyla (VFF) da konumlandırma yapılabilmektedir [5]. Son olarak konum tespit doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak amacıyla yukarıda bahsedilen yöntemlerin birlikte kullanımı ile melez teknikler geliştirilmiştir [6].

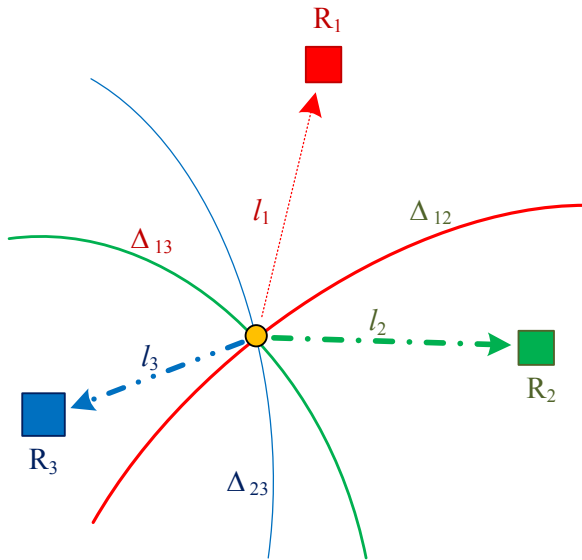
VZF ile hedef koordinatlarının konum bulunmasında ilk olarak eş zamanlı alıcılar arasında oluşan zaman farklarının en az hata ile kestirilmesi gerekmektedir. Literatürde çoklu hedef,

doğrudan görüş, girişim ve çok yolluluk durumları için fazla sayıda kestirim algoritması önerilmiştir [7]. Zaman farkı kestiriminin ardından hedef koordinatları en çok olabilirlik (EÇO), doğrusal olmayan en küçük kareler (DOEKK), doğrusal en küçük kareler (DEKK) ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) tabanlı tekniklerle bulunmaktadır [8]. Bu algoritmalara ilave olarak, yüksek doğruluğu, güvenilirliği, esnekliği, hızlı yakınsaması, az parametre içermesi ve basitliği nedeniyle parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) da konum tespitinde [9] ve değişik mühendislik problemlerinin çözümünde [10] yaygın olarak kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, PSO parametrelerinin (parçacık sayısı, yineleme sayısı ve ağırlıklandırma faktörleri) konum tespit doğruluğu ve işlem yükü üzerindeki etkisi, incelenmiş ve elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Bildiri şu şekilde düzenlenmiştir: 2. Kısımda VZF ile konum tespitinden, 3. Bölümde VZF tabanlı konumlandırma yöntemlerinden ve 4. Kısımda PSO ile hedef koordinatlarının bulunmasında bahsedilmiştir. 5. Bölümde benzetimler gerçekleştirilmiş ve 6. Kısımda elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. VZF ile Kaynak Konumu Tespiti

Birbirlerinde uzamsal olarak ayrı yerleştirilmiş eş zamanlı alıcılar arasında oluşan zaman farkları ile hiperbolik konum hatları tanımlanmakta ve hedef bu hatların kesişim noktasında konumlandırılmaktadır [11, 12]. VZF ile verici koordinatlarının tespitinde Şekil 1'de de görüldüğü gibi iki boyutlu düzlemde en az üç veya üç boyutlu uzayda ise en az dört eş zamanlı alıcı gerekmektedir. Zaman farkları (1), (2) ve (3)'deki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 1: Eş zamanlı üç alıcı ile hedef konumu tespiti.

$$\Delta_{12} = \frac{l_1 - l_2}{c} \quad (1)$$

$$\Delta_{13} = \frac{l_1 - l_3}{c} \quad (2)$$

$$\Delta_{23} = \frac{l_2 - l_3}{c} \quad (3)$$

Burada, Δ kestirim hatası olmayan gerçek zaman farkını, l

verici ile alıcı arasındaki Öklid mesafesini (*doğrusal uzaklık*) ve c ise sinyalin ortamdaki yayılma hızını göstermektedir.

VZF tekniğinin VZ yöntemine göre en büyük üstünlüğü verici ile alıcı arasında eş zamanlama ihtiyacı duymaması ve kaynaktan yayınlanışaretin alıcı tarafta biliniyor olmasının gerekmemesidir. Bu karakteristikleri yöntemi, yüksek doğruluklu pasif radar uygulamaları vazgeçilmez kılmaktadır. Buna karşın VZ tekniği VZF yöntemine göre daha güvenilir olmakla birlikte daha az alıcı ile kaynak koordinatları hakkında daha fazla bilgi sağlamaktadır.

3. VZF Tabanlı Konumlandırma Yöntemleri

VZF tabanlı teknikler doğrusal olmayan ve doğrusal yöntemler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Doğrusal olmayan en küçük kareler (DOEKK) [13] ve en çok olabilirlik (EÇO) [14] teknikleri, direkt olarak kaynak ve alıcı pozisyonlarıyla tanımlanan hiperbolik denklemler ile konumlandırma yapmaktadırlar. Bu yöntemlerin doğrulukları genellikle yüksek olmakla birlikte optimizasyon maliyet fonksiyonları çoklu moda sahip oldukları için her durumda global minimuma yakınsamazlar. Doğrusal en küçük kareler (DEKK) [15] ve ağırlıklandırılmış doğrusal en küçük kareler (ADEKK) [16] yöntemlerinde ise verici koordinatları doğrusal olmayan eşitlikler lineerleştirilerek bulunmaktadırlar. Lineer yöntemlerin en önemli üstünlüğü optimization maliyet fonksiyonları tek modlu olması ve her zaman global minimuma yakınsamalarıdır [17]. Ancak lineerleştirme işlemi konumlandırma hatalarının doğrusal olmayan yöntemlere göre nispeten daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

3.1. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PSO parçacık adı verilen bireylerden oluşan popülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemidir. (4) ve (5) numaralı eşitliklerle tanımlanan sürü, D boyutlu N_p adet parçacıktan oluşmaktadır. Parçacık boyutu çözülmek istenen probleme göre belirlenmektedir. Bu durumda her bir parçacık (*birey*), D boyutlu arama uzayında olası çözümü veren bir nokta olarak tanımlanmaktadır.

$$\mathcal{S} = \{x_1, x_2, \dots, x_{N_p}\} \quad (4)$$

$$x_p = [x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pD}]^T, \quad p = 1, 2, \dots, N_p \quad (5)$$

Burada, $\mathcal{S}$ parçacık sürüsünü, x_p p . parçacığın konum vektörünü, x_{pi} p . parçacığın i . boyuttaki koordinatını, p parçacık indisini, i boyut indisini ve $(.)^T$ devrik işlemini göstermektedir. Parçacık sayısı kullanıcı tarafından herhangi bir kısıtlama olmadan belirlenmekle birlikte, parçacık sayısının küçük seçilmesi global minimumun kaçırılmasına ve büyük seçilmesi de aşırı işlem yüküne neden olmaktadır. Her bir parçacık arama uzayında (6) ile tanımlanan hız vektörüyle hareket etmektedir.

$$v_p = [v_{p1}, v_{p2}, \dots, v_{pD}]^T, \quad p = 1, 2, \dots, N_p \quad (6)$$

Burada, v_p p . parçacığın hız vektörünü ve v_{pi} p . parçacığın i . boyuttaki hızını göstermektedir. Hız vektörü aynı zamanda bireylerin arama uzayındaki bir bölgeyi tekrarlamalı olarak ziyaret etmesine imkan vermektedir [18]. Her bir parçacığın hızı, bireyin ve sürünün o ana kadar arama uzayından topladığı bilgilerle güncellenmektedir. Her parçacık, kendisinin ve sürünün maliyet fonksiyonunu en küçük yapan

koordinatları saklı tutmaktadır. (7) ve (8)'de sürüyü oluşturan her bireylerin en iyi uygunluk değerine ulaştıkları koordinatlardan meydana gelen hafıza matrisi görülmektedir.

$$P = \{pbest_1, pbest_2, \dots, pbest_{N_p}\} \quad (7)$$

$$pbest_p = [x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pD}]^T, \quad p = 1, 2, \dots, N_p \quad (8)$$

Burada P hafıza matrisini ve $pbest_p$ p . parçacığın maliyet fonksiyonunu en küçük yapan koordinatlarını göstermektedir. P matrisindeki en iyi uygunluk değerine sahip parçacığın koordinatları problemin çözümü olup, $gbest$ olarak adlandırılmaktadır.

PSO algoritmasının hız ve konum güncelleme ifadeleri Kennedy ve Eberhart tarafından (9) ve (10) verildiği gibi tanımlanmıştır [19].

$$v_p^{k+1} = v_p^k + \varphi_1 rand_1(pbest_p^k - x_p^k) + \varphi_2 rand_2(gbest^k - x_p^k) \quad (9)$$

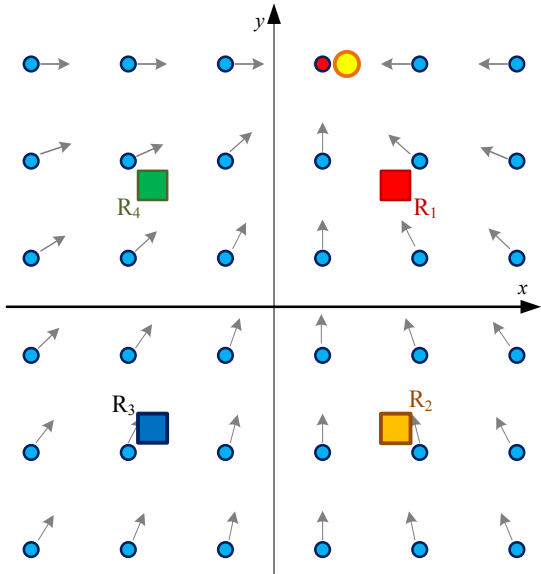
$$x_p^{k+1} = x_p^k + v_p^{k+1} \quad (10)$$

Burada, φ_1 ve φ_2 ivmendirme sabitlerini, $rand_1$ ve $rand_2$ 0 ile 1 arasında düzgün dağılımlı reel sayıları ve k tekrarlama indisini göstermektedir.

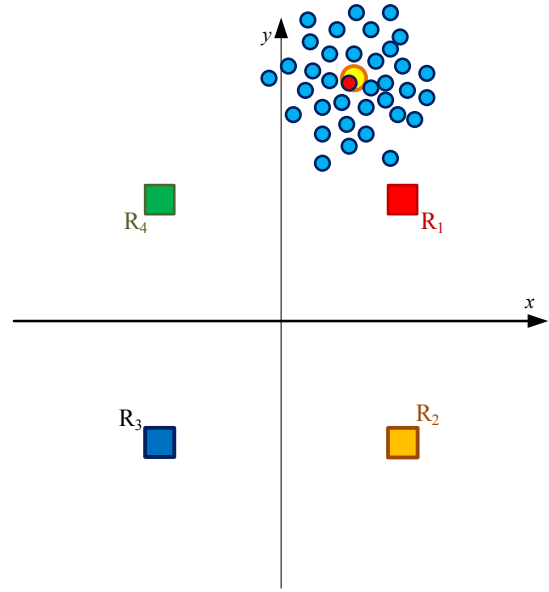
4. PSO ile Hedef Koordinatlarının Tespiti

Lokal minimumlara yakınsama olasılığının düşüklüğü ve esnekliği PSO algoritmasını konum tespitinde cazip hale getirmiştir [20, 21]. PSO ile konumlandırma, ilk olarak uygunluk/maliyet fonksiyonu tanımlanmalı ve ardından parçacıklar çözüm uzayına dağıtılmalıdır. En küçük hata değeri/değişimi elde edildiğinde veya en büyük yineleme sayısına ulaşıldığında $gbest$ verici koordinatlarını vermektedir. PSO algoritması için $f(x_p)$ maliyet fonksiyonu (11)'deki gibi tanımlanabilir.

$$f(x_p) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N (\hat{\Delta}_{ij} - \Delta_{ijp})^2 \quad (11)$$



Şekil 2: Bireylerin çözüm uzayına eşit aralıklarla yerleştirilmesi



Şekil 3: Bireylerin verici etrafında kümelenmesi.

(11) numaralı eşitlikte $\hat{\Delta}$ kestirilen zaman farkını göstermektedir. $\hat{\Delta}$ gerçek zaman farkı (Δ) ile kestirim hatasının toplamı şeklinde tanımlanmaktadır.

Şekil 2 ve Şekil3'de dört alıcılı konumlandırma sistemin hedef konumunun tespiti görülmektedir. Mavi renkli dairelerle belirtilen parçacık arama bölgesine eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Ardından her bireyin konumu için uygunluk değerleri hesaplanmış ve uygunluk fonksiyonunu en küçük yapan parçacığın (kırmızı renkli daire) koordinatları $gbest$ olarak belirlenmiştir. (10) numaralı eşitlikle tanımlanan konum güncelleme ifadesi, bireyleri $gbest$ olarak belirlenmiş parçacığa doğru yönlendirmektedir. Böylece, arama bölgesi küçültülerek daha güvenilir ve hassas konum tespiti yapılmaktadır. Durma koşulu sağlandığında, $gbest$ vericinin kestirilen koordinatlarını vermektedir.

Literatürde PSO algoritmasının lokal minimumlara yakınsama olasılığını azaltmak ve yakınsama hızını arttırmak amacıyla birçok versiyonu önerilmiştir [22, 23, 24]. Bu çalışmada, (9) ve (10) ile tanımlanan yöntemin en temel hali kullanılmıştır.

5. Benzetim Sonuçları

Bu kısımda, [20]'de verilen verici-alıcı geometrisi ve benzetim değerleri kullanılarak, PSO parametrelerinin konumlandırma doğruluğu ve işlem yükü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaynak koordinatları (8, 22), alıcı pozisyonları (0, 0; -5, 8; 4, 6; -2, 4; 7, 3; -7, 5; 2, 5; -4, 2; 3, 3; 1, 8), VZF gürültü gücü $0,001/c^2$ ve bağımsız deneme sayısı 100,000 olarak seçilmiştir. Ortalama karesel hata (OKH) (12) numaralı eşitlikle hesaplanmıştır.

$$OKH = E\{(\hat{x} - x)^2 + (\hat{y} - y)^2\} \quad (12)$$

Burada, $(\hat{x}, \hat{y})$ hedefin kestirilen koordinatlarını, (x, y) kaynağın gerçek konumunu ve $E\{.\}$ uzun dönem ortalama işlemini göstermektedir. Benzetimde, arama bölgesi $-100 \leq x$

≤ 100 ve $-100 \leq y \leq 100$ aralığında sınırlandırılmış ve parçacık arama düzlemine eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Kestirilen zaman farkları, gerçek VZF değerlerine sıfır ortalamalı ve $0,001/c^2$ değişintili korale Gausssan gürültü eklenerek elde edilmiştir. Benzetim programı Microsoft Visual Studio Professional editöründe C++ dilinde yazılmış ve Release modunda derlenmiştir. Benzetim süresi Microsoft Visual Studio Professional editörü tarafında ölçülmüş ve programlar Windows 8 işletim sistemi kullanan, Intel Core i5-4570 3.20 GHz işlemci ve 8 GB DDR3 800 MHz belleğe sahip bir masüstü bilgisayarda koşturulmuştur.

İlk benzetimde, en büyük yineme sayısı 400 ve ağırlıklandırma faktörleri $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$ olarak seçilmiştir. Parçacık sayısı 4'ten 36'ya kadar artırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Parçacık sayısının konumlandırma doğruluğu ve işlem yükü üzerindeki etkisi

Parçacık Sayısı	Ortalama Karesel Hata	Benzetim Süresi (s)
4	34.5977	44.547
9	0.0736	99.782
16	0.0547	177.955
25	0.0468	276.690
36	0.0417	402.114

Çizelge 1'de parçacık sayısının artmasıyla birlikte konumlandırma hatasının azaldığı buna karşın işlem yükünün arttığı görülmektedir. Ayrıca dört alıcı için PSO algoritmasının her zaman global çözüme yakınsamadığı anlaşılmaktadır. Gerçekleştirilen uygulamada doğruluk önemli olduğunda parçacık sayısı 36, işlem yükü dikkate alınıyorsa parçacık sayısı 9 seçilmelidir. Eğer her ikisi de önemli ise parçacık sayısı 16 olarak belirlenmelidir.

İkinci benzetimde, parçacık sayısı 16 ve ağırlıklandırma faktörleri $\varphi_1 = \varphi_2 = 2$ olarak seçilmiştir. En büyük yineme sayısı 50'den 800'de kadar artırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2: En büyük yineme sayısının konumlandırma hatası ve işlem yükü üzerindeki etkisi

En Büyük Yineme Sayısı	Ortalama Karesel Hata	Benzetim Süresi (s)
50	0.4117	23.078
100	0.1417	45.110
200	0.0799	90.204
400	0.0548	177.314
800	0.0433	353.472

Çizelgede yineme sayısı arttıkça konumlandırma doğruluğu ve işlem yükü artmıştır. İşlem yükü yineme sayısına bağlı olarak lineer bir şekilde yükselmiştir. Doğruluk ve işlem yükü dikkate alındığında yineme sayısının 400 seçilmelidir.

Son benzetimde, parçacık sayısı 16, en büyük yineme sayısı 400 seçilmiş ve ivmelenme sabitlerinin farklı değerleri için elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Çizelge 3: İvmelenme sabitlerinin konumlandırma hatası ve işlem yükü üzerindeki etkisi

En Büyük Yineme Sayısı	Ortalama Karesel Hata	Benzetim Süresi (s)
$\varphi_1 = 0.7 \quad \varphi_2 = 3.3$	0.0575	179.126
$\varphi_1 = 1.3 \quad \varphi_2 = 2.7$	0.0558	178.392
$\varphi_1 = 2.0 \quad \varphi_2 = 2.0$	0.0548	177.518
$\varphi_1 = 2.7 \quad \varphi_2 = 1.3$	0.0561	178.471
$\varphi_1 = 3.3 \quad \varphi_2 = 0.7$	0.0571	179.283

Çizelgede ağırlıklandırma faktörlerinin işlem yükünü etkilemediği görülmektedir. PSO algoritmasında, ivmelenme sabitleri 0 ile 4 arasında değer almakta olup, genelde 2 seçilmektedir. Benzetim sonuçları incelendiğinde en iyi konumlandırma başarımının $\varphi_1 = \varphi_2 = 2.0$ olduğu durumda elde edildiği görülmektedir.

6. Sonuçlar

PSO algoritması, bölgesel minimumlara yakınsama ihtimalinin düşük oluşu, uygun başlangıç değerlerine gereksinim duymayışı, az parametre içermesi ve esnekliği nedeniyle konumlandırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada optimizasyon parametrelerinin konum tespit hatası ve işlem yükü üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Gerçekleştirilen benzetimlerde, parçacık sayısındaki artışın konumlandırma doğruluğunu ve işlem yükünü arttırdığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde yineme sayısı da hem doğruluğu ve hem de işlem yükünü arttırmaktadır. Son olarak ivmelenme sabitlerinin işlem yükü üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı ve en düşük karesel hatanın ağırlıklandırma faktörlerinin 2.0 olarak seçildiği durumda elde edildiği tespit edilmiştir.

7. Kaynaklar

- [1] Xinrong, L., "Collaborative Localization with Received-Signal Strength in Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56-6, 3807–3817, 2007.
- [2] Zeng, W. J. ve Li, X. L., "High-Resolution Multiple Wideband and Non-stationary Source Localization with Unknown Number of Sources", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58-6, 3125–3136, 2010.
- [3] Chan, Y., Tsui, W., So, H. ve Ching, P., "Time-of-Arrival Based Localization Under NLOS Conditions", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55-1, 17–24, 2006.
- [4] Urruela, A., Sala, J. ve Riba, J., "Average Performance Analysis of Circular and Hyperbolic Geo Location", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55-1, 52–66, 2006.
- [5] Ho, K. C., Lu, X. ve Kovavisaruch L., "Source Localization Using TDOA and FDOA Measurements in the Presence of Receiver Location Errors Analysis and Solution", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55-2, 684–696, 2007.
- [6] Choi, H., Yang, K. W. ve Kim, E., "Simultaneous Global Localization and Mapping", *IEEE Transactions on Mechatronics*, 19-4, 1160–1170, 2014.

- [7] Benesty, J., Jingdong, C. ve Yiteng, H., "Time-Delay Estimation via Linear Interpolation and Cross Correlation", *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 12-5, 509–519, 2004.
- [8] Yan, J., Tiberius, C. C. J. M., Teunissen, P. J. G., Bellusci, G. ve Janssen, G. J. M., "A Framework for Low Complexity Least-Squares Localization with High Accuracy", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58-9, 4836–4847, 2010.
- [9] Bin, Y. Z., Yan, Q. ve Nan, L. A., "PSO Based Passive Satellite Localization Using TDOA and FDOA Measurements", *International Conference on Computer and Information Science*, 2011, 251–254.
- [10] Bergh, F. ve Engelbrecht, A. P., "A Cooperative Approach to Particle Swarm Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 8-3, 225–239, 2004.
- [11] Jean, O. ve Weiss, A. J., "Passive Localization and Synchronization Using Arbitrary Signals", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 8-15, 2143–2150, 2014.
- [12] Rui, L. ve Ho, K. C., "Elliptic Localization: Performance Study and Optimum Receiver Placement", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 62-18, 4673–4688, 2014.
- [13] Carevic, D., "Automatic Estimation of Multiple Target Positions and Velocities Using Passive TDOA Measurements of Transients", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 55-2, 424–436, 2007.
- [14] Wen, F. ve Wan, Q., "Maximum Likelihood and Signal-Selective TDOA", *Journal of Communication and Network Estimation for Noncircular Signals*, 15-3, 245–251, 2013.
- [15] Hu, X., Yinping, W., Wenguang, Z. ve Hongping, Z., "Accuracy Analysis of the TDOA Method in a Lightning Location System", *International Conference on Management and Service Science*, 2009, 1–4.
- [16] Chan, F. K. W., So, H. C., Zheng, J. ve Lui, K.W.K., "Best Linear Unbiased Estimator Approach for Time-of-Arrival Based Localisation", *IET Signal Processing*, 2-2, 156–162, 2008.
- [17] Zekavat, R. ve Buehrer, R. M., *Handbook of Position Location Theory Practice and Advances*, Wiley-IEEE Press, Singapore, 2011.
- [18] Pornsing, C., "A Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem", *PhD Thesis, University of Rhode Island*, Rhode Island, 2014.
- [19] Kennedy, J. ve Eberhart, R., "Particle Swarm Optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995, 1942–1948.
- [20] Cakir, O., Kaya, I., Yazgan, A., Cakir, Ö. ve Tugcu, E., "Emitter Location Finding using Particle Swarm Optimisation", *Radioengineering*, 23-1, 252–258, 2014.
- [21] Çakır, O. ve Kaya, İ., "Verici Konumu Tespitinde Alıcı Dağılımının Konumlandırma Hatası Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi", *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 2013, Girne, 1–4.
- [22] Li, Y. L., Shao, W., You, L. ve Wang, B. Z., "An Improved PSO Algorithm and Its Application to UWB Antenna Design", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 1239–1239, 2013.
- [23] Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M. ve Mekhilef, S., "An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)-Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27-8, 3627–3638, 2012.
- [24] Ho, S. L., Yang, S. Y., Ni, G. Z. ve Wong, K. F., "An Improved PSO Method With Application to Multimodal Functions of Inverse Problems", *IEEE Transactions on Magnetics*, 43-3, 1597–1600, 2007.

6-Giriş LUT Tabanlı Kapı Dizileri için Çift Elde-Saklayıcı Çarpma Toplama Ünitesi Tasarımı A MAC Unit with Double Carry-Save Scheme Suitable for 6-Input LUT Based Reconfigurable Systems

Olca Kurt¹, Uğur Çini²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü
Trakya Üniversitesi
olcaykurt @trakya.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Trakya Üniversitesi
ugurcini@trakya.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, alternatif bir yedekli (redundant) aritmetik tabanlı çarpma-toplama ünitesi tasarlanmıştır. Tasarımda çift elde-saklamalı (double carry-save) sayı sistemi kullanılmıştır. Tasarımın yapısı özellikle 6-giriş LUT tabanlı yeniden yapılandırılabilir kapı sistemleri için avantaj sağlamaktadır. Kısmi çarpımların indirgenmesi ve toplama işlemlerinde sadece (6, 3) sayıcılar kullanılarak, daha düşük lojik derinlik elde edilmiştir. Bu sayede pipeline olmadan yüksek performans elde edilmiştir. Önerilen sistem, yedekli aritmetik tasarımından dolayı elde ilerlemesi (carry-propagation) durumundan etkilenmez. Önerilen çarpma-toplama ünitesi 16x16 çarpma işlemine ve 40-bit genişletilmiş çıkışa sahiptir. Tasarım Altera™ Stratix III üzerinde sentezlenmiş olup standart çarpma-toplama üniteleriyle karşılaştırıldığında çok daha iyi performans sağlamaktadır.

Abstract

In this work, an alternative redundant arithmetic based fused multiply-accumulate (MAC) unit is designed. The design utilizes double carry-save output encoding. The structure is especially suitable for 6-input LUT based reconfigurable systems. By employing only (6, 3) counters in the partial product reduction and accumulate operations, least amount of logic depth is provided which results as high performance without any pipeline in the system. The proposed system is not affected by carry propagation because of redundant arithmetic scheme implemented in the MAC structure. The proposed MAC unit has 16x16 multiplier and 40-bit output. It is synthesized on Altera™ Stratix III FPGAs and provides better performance compared to conventional pipelined carry-propagate multiply-accumulate units.

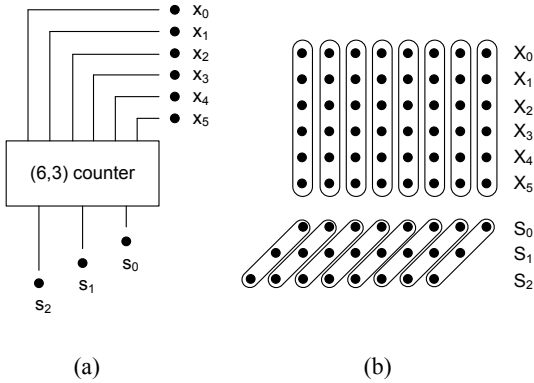
1. Giriş

Çarpma-toplama (multiply-accumulate - MAC) üniteleri matris çarpma işlemleri, konvolüsyon, filtre işlemleri gibi matematiksel işlemlerde yaygın şekilde kullanılırlar. Bu

yüzden MAC üniteleri sayısal sinyal işlemciler ve genel işlemci mimarileri için önemli elemanlardır [1-4]. Sahada programlanabilir kapı dizileri (Field Programmable Gate Array - FPGA) gibi yeniden yapılandırılabilir sistemler sinyal işleme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, düşük gecikmeli bir MAC ünitesi yüksek performanslı 6-giriş look-up table (LUT) tabanlı FPGA'lar için tasarlanmıştır. Bilinen FPGA'lar geleneksel olarak 4-giriş LUT elemanları kullanılarak inşa edilir ve sentezlenen lojik devre bir FPGA'daki 4-girişli hafıza blokları içerisine eşleştirilir. Son yıllarda, Altera™ Stratix aileleri ve Xilinx™ Virtex aileleri gibi yüksek performanslı FPGA'lar 6-girişli LUT elemanları kullanarak inşa edilmektedir [5, 6]. Daha karmaşık yapı blokları daha az lojik derinlik ile eşleneceği için, daha yüksek girişli LUT yapıları daha hızlı lojik devrelerin sentezine olanak sağlamaktadır.

Yedekli sayı sistemleri (redundant number systems) giriş işaretinin bit genişliğinden bağımsız olarak toplama işlemleri için sabit gecikmeye sahip olmasından dolayı avantajlıdır [7, 9]. Genellikle, elde-bağımsız (carry-free) aritmetiği inşa etmenin iki yolu vardır. Biri işaretli-sayı (signed-digit) aritmetik; diğeri elde-saklama (carry-save) aritmetiktir. Hızlı sayısal aritmetik işlemleri için elde-bağımsız aritmetiği kullanan birçok farklı donanım uygulaması vardır [7, 9]. Carry-save aritmetik işlemleri benzer performans kaydına sahiptir, çünkü ikisi de yedekli aritmetik işlemlerine dayalıdır. Ayrıca, carry-save aritmetik bilinen toplama elemanlarını kullanarak inşa edilebilir. Carry-save toplama ağaçları çarpma devrelerindeki kısmi çarpımları (partial product) indirmek için avantajlıdır [9, 10]. Bu çalışmada, carry-save işlem tabanlı MAC ünitesi çıkışta çift elde-saklama kodlamayı kullanarak sentezlenmiştir. Bilinen carry-save aritmetikte, sonuç yedekli çıkış her bir sayı (digit) için bir elde ve bir toplama dayalıdır, ve her bir sayı (0, 1, 2) değer setine sahiptir [7, 11]. Sunulan uygulamada, her bir çıkış sayısı üç bit olarak temsil edilir, yani her bir digit (0, 1, 2, 3) değer setlerine sahiptir. Aritmetik işlemler (6, 3) counter'lara bağlı olduğu

için, önerilen gösterim 6-giriş LUT tabanlı counter'lar için avantajlıdır.



Şekil 1: (6, 3) counter: (a) Tek-bit; (b) Çoklu-bit gösterimi

6-girişli LUT cihazları tercih edildiğinde, (6, 3) counter'lar 6-giriş LUT tabanlı sistemler için tek bir atomik gecikmeye sahip olacağından, (6, 3) counter'lar kısmi ürün indirgemesi için tavsiye edilir [12]. Çünkü, her bir paralel giriş (6, 3) bir counter da 6 girişe sahiptir, böylece tek bir LUT gecikmesinde sentezlenebilir. Bir diğer iyi bilinen kısmi ürün indirgeme tekniği en etkili VLSI tasarım bloklarından biri olan (4, 2) compressor'leri kullanmaktır. Fakat, 6-giriş LUT tabanlı tasarımlarda, (4, 2) compressor'ler tek bir seviyede sentezleyemez. Alternatif bir kısmi ürün indirgeme tekniği signed-digit aritmetiktir [1, 3]. Signed-digit toplamada, kısmi ürünleri yarıya indirgeyen (6, 3) counter'lar ve (4, 2) compressor'lara benzer, iki signed-digit kısmi ürünleri tek bir aşamaya indirir. Fakat, toplama işlemi ara toplam ve son toplam olarak iki ardışık işlemlerden oluştuğu için, signed-digit uygulama tek LUT gecikmeden daha fazlasına ihtiyaç duyar [1, 3,13].

Bu çalışmada, (6, 3) counter'lar toplama işlemleri ile birlikte kısmi ürün indirgeme işlemlerinin her ikisinde kullanılır. Sonuç olarak, elde-yayılımı çarpma-toplama işlemlerinde oluşmaz. Çıkış her zaman çift elde saklama (double carry save) formatı olarak tutulur. Örneğin sonuç her bir digit için üç çıkış bitlerinde tutulur. Sonuç olarak, redundant MAC çıkışı hiç pipeline edilmeyen MAC ünite mimarisinin herhangi biriyle karşılaştırıldığında en yüksek hıza sahip herhangi pipeline aşaması olmadan üretildi. Her ne zaman normal binary sonuç gerekirse, yani bilinen ikinin tümleyen çıkışı gerekirse, bir üçlü operand toplayıcı sonucun hesaplanması için kullanılır.

Fakat, redundant sayıdan binary sayıya dönüşüm sadece tüm çarpma-toplama işlemleri bittikten sonra ihtiyaç duyulur. Örnek olarak, 100-tap FIR filtre uygulamasında, redundant'tan binary sayıya dönüşüm 100 çarpma-toplama işleminde bir kez ihtiyaç duyulur.

Tasarlanan MAC ünitesi Altera™ firmasının Stratix-III FPGA ailesinde sentezlenmiş olup, çeşitli sentezlenen çarpıcılar, donanım çarpıcılar, pipeline edilmiş çarpıcılar gibi yapıları kullanan bilinen MAC üniteleriyle karşılaştırılmıştır.

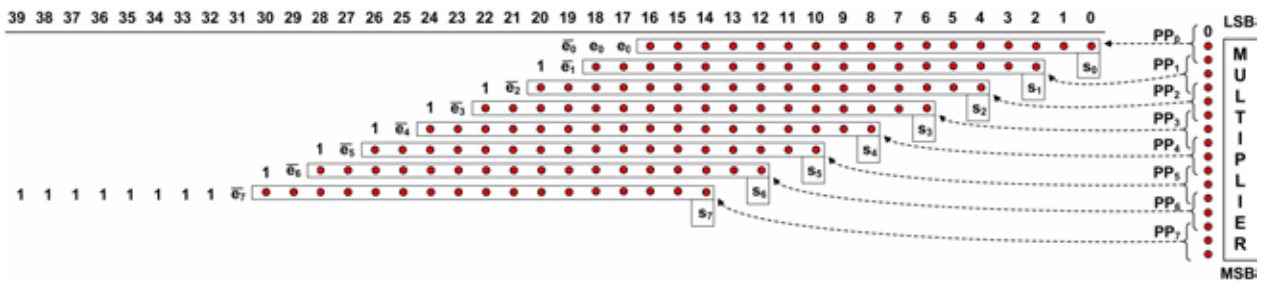
2. Redundant MAC Mimarisi

Önerilen MAC ünitesi, çok kullanılan radix-4 değiştirilmiş Booth kodlamayı kullanarak kısmi ürün üretilmesinden sonra, çarpma ve toplama işlemleri (6, 3) counter ağaçları altında birleştirilmiştir. Counter'lar genellikle çok sayıda toplanacak sayının indirgenmesinde kullanılmaktadır [18]. Şekil 1(a) ve 1(b)'de tek-bit ve çoklu-bit (6, 3) counter şeması sırasıyla gösterilmektedir. Şekil 1(a)'da, altı giriş operandı 0 ve 6 arasında çıkış değerlerine sahip olabilecek şekilde 3-bitle çıkışta kodlanır (yani $(000)_2 - (110)_2$). Şekil 1(b)'de, toplanılacak sekiz-bit altı tane binary giriş operandı (6, 3) diziler ile temsil edilir ve toplanılacak giriş operandlarının sayısı altıdan üçe azaltılır. (6, 3) counter'ların kullanımı ve 6-giriş LUT tabanlı FPGA'lar için verimli uygulama tekniklerinin avantajları [12]'de açıklanmıştır.

Tablo 1: Çeşitli indirgeme operatör metrikleri

	Binary signed-digit		(4,2) compressor		(6,3) Counter	
Bit genişlikleri	Delay (ns)	Area	Delay (ns)	Area	Delay (ns)	Area
16-bit	2,77	80	1,84	48	1,15	48
24-bit	3,45	120	1,91	72	1,10	72
32-bit	3,27	160	1,95	96	1,15	96
64-bit	3,19	320	1,93	192	1,15	192

Genellikle, elde saklama indirgeme ağacı elde-ilerleme (carry-propagate) şemalarından daha fazla alan gerektirdiği için FPGA sistemlerde kısmi ürün indirgemesinde tercih edilmez [16, 17]. Ayrıca, hızlı elde zincirleri (fast carry chain) elde-ilerleme tasarımı [16,17]'den daha popüler yapan etkili performans sağlar. Fakat, elde-yayma tasarımı bit genişliğinde doğrusal bağımlılığa sahiptir, ve bit genişliği arttıkça, elde-ilerleme tasarımı yetersiz kalır. Elde-saklayıcı tasarımı, elde-



Şekil 2: 40 bit işaret genişlemesi ile değiştirilmiş Booth kodlama şeması

yayma tasarımlarıyla kıyaslandığında alan gereksinimini ikiye katlar [17].

Alan gereksinimi asıl sorun değilse, (4, 2) compressor'lar, binary signed-digit toplama ağaçları, counter ağaçları gibi yedekli indirgeme ağaçları FPGA çarpmada kullanılabilir. Tablo 1 çeşitli indirgeme operatörlerinin performans şemalarını ve alan gereksimlerini gösterir. Çeşitli indirgeme operatörleri arasında, (6, 3) counter'lar Tablo 1'de gösterildiği gibi 6-giriş LUT tabanlı FPGA'lar için en iyi performansı verir. Tablo 1'e göre, (4, 2) compressor'lar ve (6, 3) counter'lar aynı miktarda kaynak gerektirirler, fakat (6, 3) counter'lar çok daha hızlıdır. Binary signed-digit tasarımı daha fazla alan gerektirir ve işlemin gecikmesi (4, 2) compressor ve (6, 3) counter dizileri ile karşılaştırıldığında daha fazladır. Kıyaslanan indirgeme operatörleri arasında, (6, 3) counter dizisi, (4, 2) indirgeme dizisi ve binary signed-digit operatörlerinin hepsi giriş operandları yarıya indirir, yani onların hepsi benzer performans çıkışına sahiptir.

Tablo 2: Radix-4 değiştirilmiş Booth kodlama

x_{2i+1}	x_{2i}	x_{2i-1}	Partial Product	Booth Selector Output
0	0	0	0	0
0	0	1	Y	y_j
0	1	0	Y	y_j
0	1	1	$2Y$	y_{j-1}
1	0	0	$-2Y$	y_{j-1}
1	0	1	$-Y$	y_j
1	1	0	$-Y$	y_j
1	1	1	-0	0

[11]'de, düzenli bir carry-save şeması elde yayılımı olmadan çarpma-toplama işlemleri için önerilir. [11]'de yedekli sayı formatı iki elemandan oluşur, oysa [15]'de önerilen double carry-save tasarımı yedekli çıkış üç elemandan oluşur. Bir MAC ünite bir çarpma yolundan, bir kaydedilen toplama çıkışından oluşur. Önerilen mimarinin çarpma işlemi için, standart Booth kodlama şeması 40-bit çıkışa işaret genişlemesi ile kullanılmıştır. Birçok çarpma- toplama işlemlerinden sonra toplama çıkışı taşmamasına rağmen, işaret

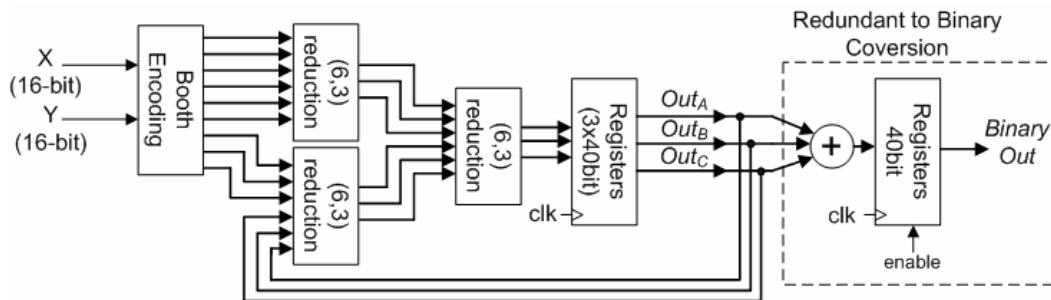
genişlemesi yapılmıştır. İşaret genişlemesi ile radix-4 değiştirilmiş Booth kodlama Şekil 1'de anlatılmıştır. Burada, herbir hat (line) üretilen kısmi ürünleri temsil eder. Kısmi ürünler Tablo 2'de gösterilen kurallara göre üretilir. Burada, herbir kısmi ürün çarpma bitlerine göre üretilir (x_{2i+1} , x_{2i} , x_{2i-1}).

Herbir hattaki e_i ilgili kısmi ürünün işaret bitine eşittir. Tablo 2'ye göre üretilen Y 'nin işareti tersine çevrilmiş ise, herbir hattaki s_i 1, Y 'nin işareti pozitif ise s_i 0'dır. Booth kodlama aşamasının son kısmi ürünü (Booth kodlama çıkışındaki 8. hat) birçok çarpma-toplama işlemlerinden sonra çıkışın taşmaması amacıyla $16 \times 16 = 32$ bitten 40 bite kadar çarpma çıkışını genişletmek için 1'ler ile doldurulmuştur. Booth kodlama şemasının detayları [14]'te açıklanmıştır.

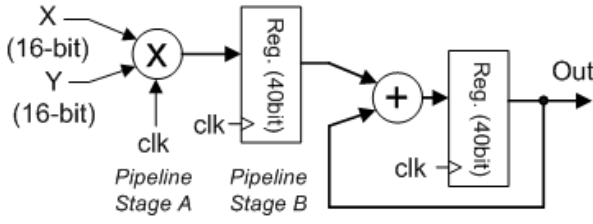
Booth kodlama kısmi ürünlerin sayısını yarıya indirgemesine rağmen, yani 8 kısmi ürün vardır, bir diğer operand olarak en son hattaki s_7 birlikte toplanacaktır. Sonuç olarak, Booth kodlamanın çıkışında toplanacak 9 operand olacaktır. Herbir toplama operandları için boş hatlar kolay donanım uygulaması için 0'lar ile doldurulmuştur, yani kısmi ürün indirgeme şeması için 9 satırda 40 bit vardır.

Önerilen MAC ünitesi Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada, kalın hatlar 40 bit operandları temsil eder. MAC ünitesinin çıkışı üç tane çıkışın bir birleşiminden oluşur, yani herbir dijiti (0, 1, 2, 3) değer setine sahiptir. Toplama işlemi için, üç bit çıkış (6, 3) counter'lar ile geri beslenmiştir. Önerilen mimariyi kullanarak, herbir çarpma-toplama işlemi için kritik yol bir Booth kodlama ve iki (6, 3) counter aşamasından oluşur. Hem Booth kodlama hem de (6, 3) counter aşamaları tek LUT lojik derinlik maliyeti ile uygulandığı için, toplam sistemin kritik yolu sadece 3 LUT gecikmedir. Sonuç olarak, minimum register gecikmesiyle yüksek çıkış elde edilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği gibi, yedekli çarpma-toplama işlemi açık bir pipeline aşamasına sahip değildir. Hatta işlemde pipeline olmadan, yapı bilinen çarpma-toplama yapılarının aksine yüksek hızda çalışır. Tek clock gecikmesi üçlü operand toplayıcı olan yedekli sayıdan normal ikili dönüşüm (redundant to binary conversion) aşaması için gerekir. Yedekli sayıdan ikili sayıya dönüşüm aşaması Şekil 3'te noktalı kutu içerisinde gösterilmiştir.

Normal ikili dönüşüm dijital sinyal işleme uygulamalarının çoğunda genelde gerekmez. Örnek olarak, 100-tap FIR filtre için, yedekli sayıdan ikili sayıya dönüşüm her 100 çarpma-toplama işlemlerinden sonra gereklidir. Bu koşul matris çarpma, genel konvolüsyon işlemleri gibi diğer dijital sinyal uygulamaları için geçerlidir.



Şekil 3: Önerilen çarpma-toplama mimarisi



Şekil 4: Çeşitli pipeline kombinasyonları ile düzenli MAC ünite

Tablo 3: MAC ünitelerinin karşılaştırılması

Yapı	Kaynak Kullanımı	Performans	Saat Gecikmesi
Soft Multiplier (pipeline'sız)	258 ALUT + 72 Reg.	124 MHz	1
Soft Multiplier 1-level pipeline: (B=1)	259 ALUT + 104 Reg.	160 MHz	2
Soft Multiplier 2-level pipeline: (A=1; B=1)	263 ALUT + 190 Reg.	210 MHz	3
Hardware Multiplier (pipeline'sız)	1 Hard Mult. 40 ALUT + 40 Reg.	141 MHz	1
Hardware Multiplier 1-level pipeline: (B=1)	1 Hard Mult. 40 ALUT + 80 Reg.	261 MHz	2
Önerilen (Şekil 3)	418 ALUT + 178 Reg.	286 MHz	1+1

3. Sonuçlar ve Tartışmalar

Performans ve kaynak gereksinimi kıyaslaması için, bilinen çarpma-toplama üniteleri donanım ve yazılım çarpıcı, pipeline aşamalı çarpıcı gibi MAC üniteleri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4'te önerilen yapının kıyaslanması için yapılan çeşitli pipeline aşamaları ile genel bir pipeline edilmiş MAC ünitesini göstermektedir. İlk pipeline aşaması stage A olarak temsil edilen çarpma işleminde görülmektedir. İkinci aşama çarpma ve toplama işlemi arasındaki pipeline aşamasıdır. Hızlı elde zincirleri 40-bit toplama için etkili bir şekilde hızlı işlem sağladığı için, toplama işlemi için bit seviyesinde pipeline aşamasına gerek yoktur. Verilen pipeline aşamalarına göre, performans değerleri ölçülüp ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Kaynak kullanımı uyarlanabilir LUT birimleri (ALUT) ve register sayısı (Reg.) tarafından belirlenmiştir. MAC ünitesindeki çarpıcılar lojik eleman kullanarak sentezlenmişse, yapı yazılımsal çarpıcı (soft multiplier) olarak isimlendirilir, ve çarpıcı fiziksel bağlantılı çarpma ünitelerini kullanarak sentezlenmişse, yapı sıkı çarpıcı (hard multiplier) olarak isimlendirilir. Pipeline edilmemiş çarpıcılar için,

önerilen yapı Tablo 3'te gösterildiği gibi çok daha hızlıdır. Donanım çarpıcılar kullanılırsa, yüksek performansa ulaşılır. Fakat, önerilen yapı hala daha hızlıdır. Önerilen yapıda pipeline yoktur; fakat, yedekli çıkıştan ikili sayıya dönüşüm için tek bir fazla clock gecikmesi gerekebilir, böylece clock gecikmesi Tablo 3'te (1+1) olarak temsil edilmiştir. Karşılaştırılan devreler yüzeysel pipeline aşamaları kullanılarak yapılmıştır ve önerilen şema pipeline edilmiş çarpma-toplama ünitelerinden daha hızlıdır. Donanım çarpma tabanlı MAC ünite performansı önerilen şemaya yakındır; fakat, önerilen şema % 10 daha hızlıdır. Sonuç olarak, double carry-save yedekli temsil elde-yayımlı çarpıcılar ve donanım çarpıcı tabanlı uygulamalar arasında en iyi performans metriği sağlar. Bit-genişliği 16x16 çarpmadan daha yüksek olursa, performansı daha yüksek olması beklenir.

Önerilen yapı pipeline edilen MAC üniteleriyle kıyaslandığında tüm yapılar arasında makul register gereksinimi ile en yüksek LUT elemanlarına sahiptir. Önerilen MAC ünitesi ile en az clock gecikmesi ile yüksek performanslı sistemler gerçekleştirilebilmektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu makalede, alternatif bir yedekli sayı tabanı kullanılarak yüksek performanslı çarpma-toplama (MAC) ünitesi gerçekleştirilmiştir. Yapı elde ilerlemesinden (carry-propagation) bağımsız olduğundan, avantajlıdır. Bu yapı simetrik (6, 3) counter ağacı ve değiştirilmiş Booth kodlaması ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yapı pipeline olmadan tek bir aşamada hızlı çarpma-toplama işlemini sağlayan en düşük lojik derinlik sağlar. Sistem özellikle 6-giriş LUT tabanlı FPGA yapıları için uygundur. Önerilen yapı düşük clock gecikmeli yüksek performans gerektiren uygulamalar için avantajlıdır.

5. Kaynaklar

- [1] K. Parhi, VLSI Digital Signal Processing Systems, John Wiley & Sons, 1999.
- [2] W. Kamp, A. Bainbridge-Smith, "Multiply Accumulate Unit Optimised for Fast Dot-Product Evaluation", Int. Conf. on Field-Programmable Technology, pp. 349-352, 2007.
- [3] X. Huang, W. Liu, B. Wei, "A High Performance CMOS Redundant Binary Multiplication-and-Accumulation (MAC) Unit", IEEE Trans. Circuits & Syst.-I, Vol. 41 No. 1, pp. 33-44, Jan. 1994.
- [4] D. Lee, C. Ryu, K. Kwon, W. Choi, "Design and implementation of 16-bit fixed point digital signal processor", Int. SoC Design Conference, Vol.2 pp 61-64, 2008.
- [5] Xilinx Inc., Virtex-6 Family Overview, www.xilinx.com, 2012.
- [6] Altera Corp., Stratix III Device Handbook, www.altera.com, 2011.
- [7] A. F. Gonzalez and P. Mazumder, "Redundant Arithmetic: Algorithms and Implementations," INTEGRATION, the International VLSI Journal, Vol. 30, Dec. 2000, pp. 13-53.
- [8] D. S. Phatak, T. Goff, and I. Koren, "Constant-Time Addition and Simultaneous Format Conversion Based on Redundant Binary Representations", IEEE Trans. Computers, Vol. 50, pp. 1267-1278, Nov. 2001.
- [9] M. D. Ercegovic, T. Lang, Digital Arithmetic, Morgan Kaufmann, 2003.

- [10] B. Parhami, Algorithms and Design Methods for Digital Computer Arithmetic, Oxford University Press, 2012.
- [11] T. G. Noll, "Carry-Save Architectures for High-Speed Digital Signal Processing", Journal of VLSI Signal Processing, vol. 3, 121-140, 1991.
- [12] Altera Corp., Advanced Synthesis Cookbook, www.altera.com, 2011.
- [13] G. C. Cardarilli, S. Pontarelli, M. Re, A. Salsano, "On the use of Signed Digit Arithmetic for the new 6-Inputs LUT based FPGAs", Int. Conf. on Electronics, Circuits and Systems, ICECS'2008, pp. 602-605, 2008.
- [14] N. Weste, D. Harris, CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective, 4th Ed., Addison Wesley, 2010.
- [15] U. Cini, Arithmetic Structures Using Redundant Numbers & Multivalued Circuits, LAP Lambert Academic Publishing, 2014.
- [16] W. Jamro, K. Wiatr, "FPGA implementation of addition as a part of the convolution", Euromicro Int. Conf., Sept. 2001.
- [17] C. D. Moreno, F. J. Quiles, M. A. Ortiz, M. Brox, J. Hormigo, J. Villababa, E. L. Zapata, "Efficient mapping on FPGA of convolution computation based on combined CSA-CPA Accumulator", Int. Conf. on Electronics, Circuits, and Systems, ICECS 2009, pp. 419-422, 2009.
- [18] I. Koren, Computer Arithmetic Algorithms, 2nd Ed., CRC Press, 2005.

3Boyutlu Yazıcı

3D Printer

Özgür Acar¹, Sultan Kalyoncuoğlu¹, Dilek Bilgin Tükel¹

¹Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
Doğuş Üniversitesi, İstanbul
dtukel@dogus.edu.tr

Özetçe

Bu projede Rep Rep modeli esas alınarak 3 boyutlu bir yazıcı imal edilmiştir. Tasarlanan yazıcı için açık kaynak donanım kullanılmıştır. Prototipleme sırasında sistem geliştirilerek iyileştirmeler yapılmıştır. Bilgisayar ortamında üç boyutlu tasarlanan modeller, katmanlanarak geliştirilen üç boyutlu yazıcı kullanılarak PLA (Polylactic Acid) malzemesiyle üretimi gerçekleştirilmiştir.

Abstract

In this project, a 3-D printer has been developed based on open source hardware Rep REP model. There were some modifications for improving the performance of the developed prototype. Three-dimensional object to be divided into layers, and each layer of the melted raw material is poured so as to press overlapping. Prints made with the using raw material PLA (Polylactic Acid).

1. Giriş

Zekânın ürünü olan her şey, insanın her zaman için bir önceki dönemden daha ileriye gitmesini sağlamıştır. İnsan, zekâsının ürünü olan makineyi yaşamının içine yerleştirme yolunda aşama kaydettikçe, var olan değerleri de değiştirmeye başlamıştır. Teknolojinin gelişimiyle birçok alanda sınırlar ortadan kalkarak, yeni kavramlar hayatımıza girmektedir. Bu kavramların en önemlilerinden biri de yaşamımızı etkileyecek olan 3 boyutlu yazıcılardır. Sağlıktan sanayiye ve daha birçok alanda bu yazıcıların kullanımı ile hayal gücünün de etkisiyle süreçler hem kolaylaştığı hem de hızlandığı görülmektedir. Geçmiş 1970' li yıllara kadar dayanan 3 Boyutlu yazıcılarla tasarım ve üretim 1984 yılında 3 boyutlu obje üretimi yapmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. 2000'li yılların başlarında kendi parçalarının yarısını kendisinin ürettiği bir teknoloji ve üretim sistemi haline gelen bu teknolojinin çıkış noktası tasarımın üretime geçmeden önce nasıl görüldüğünün bir örneğini üreten teknolojidir[1]. Günümüzde üç boyutlu yazıcı teknolojisi mücevher, aksesuar, ayakkabı tasarımında, endüstriyel ve mimari tasarımlarda, inşaat mühendisliğinde,

yapı işlerinde, otomotiv sanayisinde, hava-uzay, dişçilik ve tıp sektöründe, eğitimde, coğrafi bilgi sistemlerinde ve farklı alanlardaki bilimsel çalışmalarda birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de, öğrencilerin, evden çalışan tasarımcıların, küçük işletmelerin sahip olmaları mümkün olmaktadır. Ülkemizde yıllık ev/ofis tipi 3B yazıcı pazarının yaklaşık 1000 adet olduğu ve 3B yazıcılara en çok ilgi gösteren sektörlerin sanayi, mimari, eğitim ve sağlık olduğu tahmin edilmektedir. Temel üretim yöntemleri arasına giren 3 boyutlu yazıcı sektörünün 2012'deki 2.2 milyar dolar olan büyüklüğünün 2016'da 3,1 milyar, 2021'de ise 10.8 milyar dolara yükselmesi öngörülmektedir [2]. Bu gelişen sektörün ihtiyacına uygun yerli ürün geliştirebilmek için çalışmalar yapılması gerekmektedir. 3 Boyutlu yazıcılarda birçok farklı teknoloji kullanılır. Teknolojiler arasındaki farklılıklar genellikle katmanların nasıl oluşturulduğu ile alakalıdır. Bu teknolojileri arasında fused deposition (erimiş biriktirme yöntemi), stereolithografi ve lazer sinterleme gibi teknolojiler sıralanabilir. En yaygın olan FDM tekniğinde bilgisayarda 3 boyutlu sayısal model STL formatına dönüştürülerek yazıcıya gönderilir. 3 Boyutlu çizimler SolidWorks, AutoCad, Rhino3D, Bonzai gibi yazılımlarla üretilebildiği gibi, Google Sketchup, FreeCad ve benzeri açık kaynak yazılımlar da kullanılabilir. Oluşturulan 3B çizim yine bir yazılım aracı ile STL (STereoLithography) formatına dönüştürülerek katmanlar haline dönüştürülür[3]. 3 boyutlu yazıcı katman katman inşa ederek gerçek objeyi oluşturur. Baskı için 100'den fazla malzeme (metal, plastik, polimer, reçine, seramik, alçı, katı, sıvı veya toz halinde kullanılabilir). En yaygın kullanılsa, termoplastik malzemelerdir. Termoplastik malzemeler termoset malzemeler ile karşılaştırıldığında defalarca eritilebildikleri ve belirli sıcaklık aralığında sıvılaşabildikleri için bu teknoloji için oldukça uygun malzemelerdir. Termoplastik malzemenin düzgün bir şekilde yığılabilmesi için erime sıcaklığına ısıtılmış bir nozülün istenilen miktarda akıtılabilmesi gerekmektedir. Bu nozül bilgisayar tarafında kontrol edilerek parça geometrisine uygun şekilde hareket ettirilir ve termoplastik malzemenin yığılması ile beraber parça 2B katmanlar halinde tablaya yığılır ve tasarlanan obje üretilmiş olur.

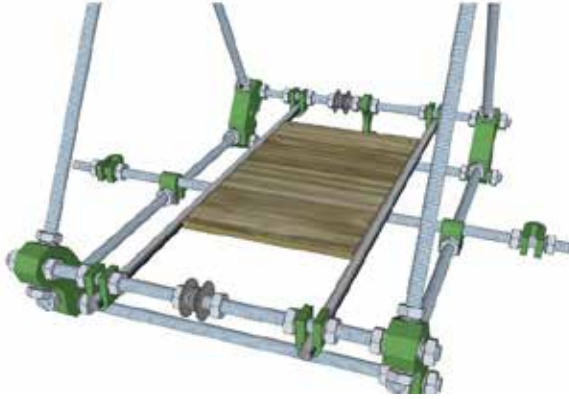
Bu çalışmamızda, 3 boyutlu yazıcı teknolojisini anlamak ve yeni bir ürün geliştirmek hedeflenmiştir.

2. Sistem Tasarımı ve Bileşenleri

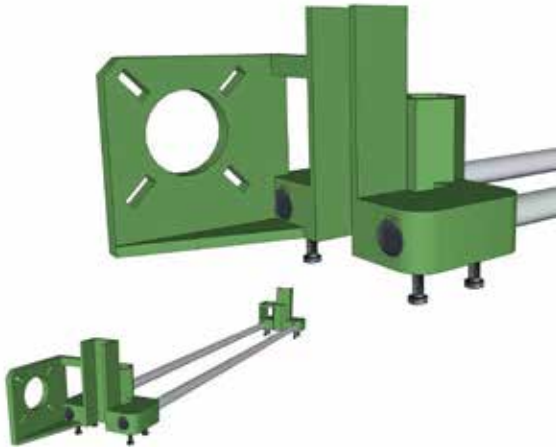
Yapılan 3 Boyutlu yazıcı açık kaynak kodlu olan Reprap Prusa Mendel modeli baz alınmıştır. Yazıcının prototip geliştirme ve imalatı aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Mekanik tasarım ve imalat
- Kontrol sistemi tasarımı ve imalatı
- Kontrol sistemi yazılımı

3 Boyutlu yazıcının mekanik bileşenlerinin SolidWorks'te çizimi gerçekleştirilip, imal edilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde tercih edilen malzemelerin bir kısmı da 3 boyutlu yazıcıda bastırılmıştır. X, Y, Z eksenlerinin hareketleri lineer rulman ve miller sayesinde sağlanmıştır. Montaj aşamaları Şekil 1,2,3 de gösterilmiştir.



Şekil 1: Y Eksen Montajı.

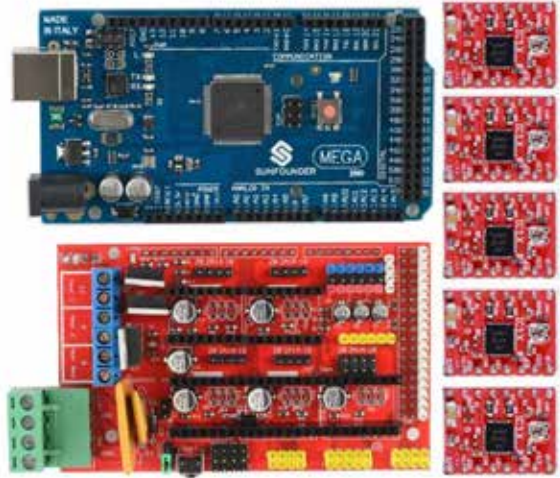


Şekil 2: X Eksen Montajı.

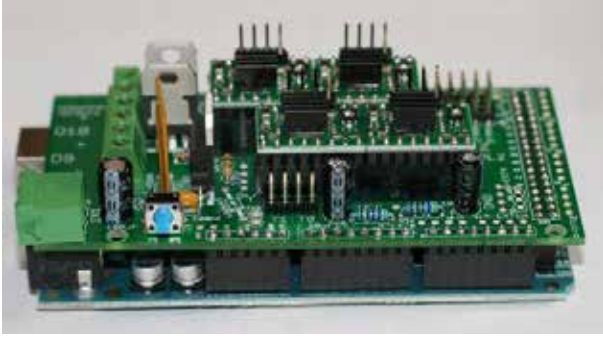


Şekil 3: Z Eksen Montajı.

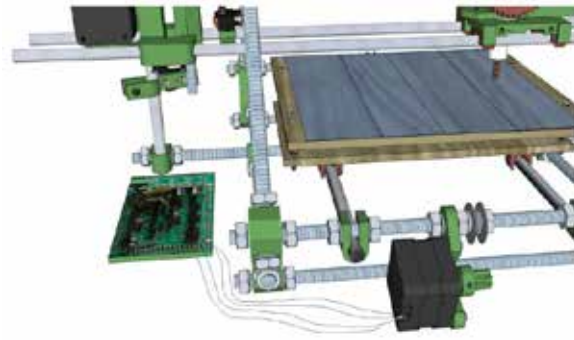
Kontrol Sistem Bileşenleri arduino mega, step motorlar, step motor sürücü devresi, güç katı ve çeşitli algılayıcılardan oluşmaktadır (Şekil 1,2,3).



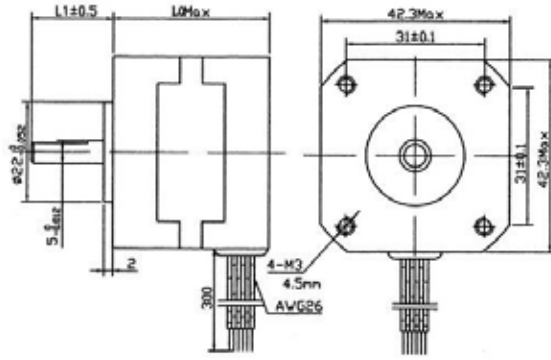
Şekil 4: Arduino Mega, ramps ve step motor sürücüleri.



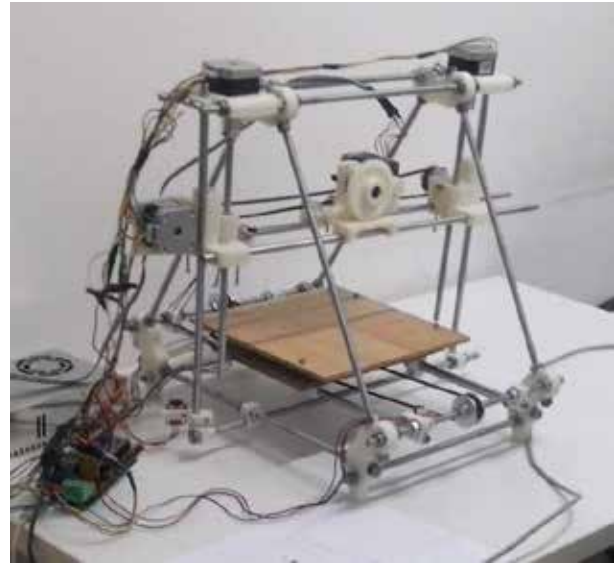
Şekil 5: Arduino Mega, ramps ve step motor sürücülerinin birleştirilmiş hali



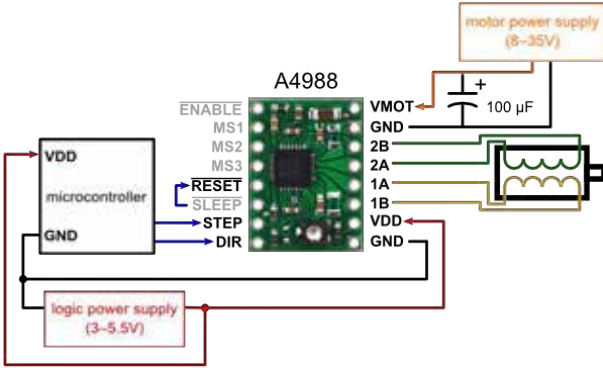
Şekil 8: Motorların Montajı



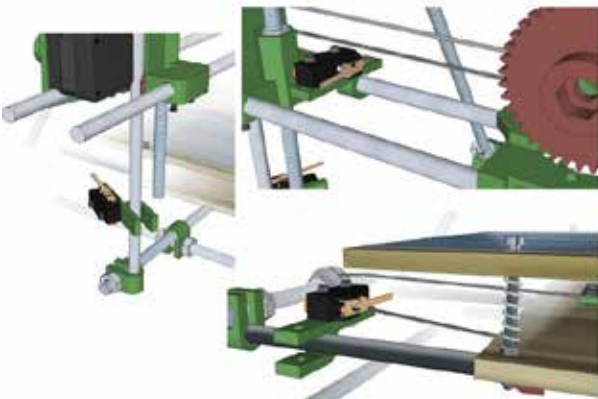
Şekil 6: Nema 17 Step Motorlar.



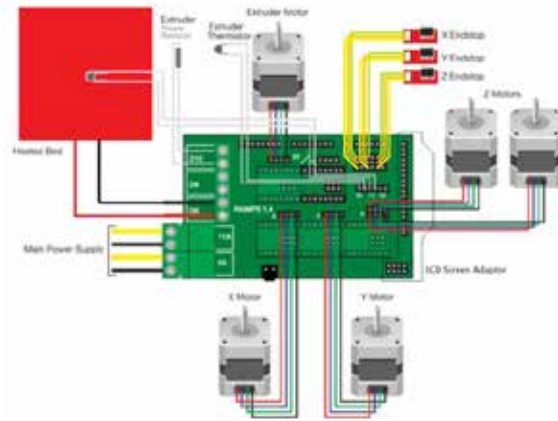
Şekil 9: Mekanik Montajın tamamlanmış hali



Şekil 7: Step Motor sürücüsü A4988 bağlantı şeması



Şekil 7: Limit sensörlerin bağlantısı.



Şekil 10: Tüm elektronik ekipmanların bağlantı şeması

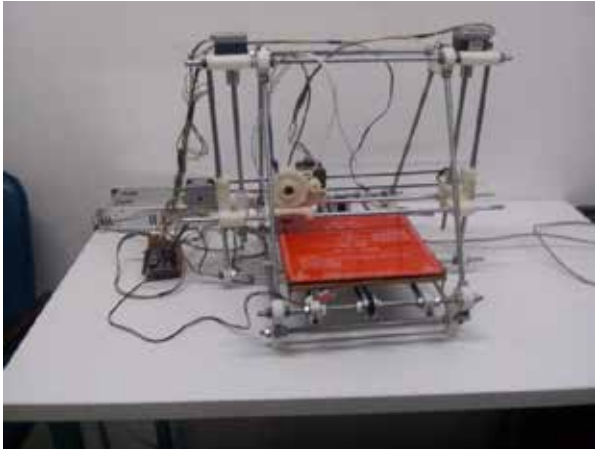
Kontrolör olarak Arduino Mega kullanıldığı için yazılımı arduinonun C++ programlama diline benzer kendi yazılımı kullanıldı.

Açık kaynak kodlarda yapılan değişikliklerden yazıcının boyutu, motorların adım sayıları, mekanik limit sensörlerin

yanında yazılımsal olarak limitlerin belirlenmesi, ısıtıcı ayarlamaları örnek olarak verilebilir. Motorların adımlarına göre kalibrasyon yapılması için açık kaynak kodun değiştirildi.

3. 3Boyutlu Yazıcının Kullanılması ve Çıktı Almak

İmalatını tamamlamış olduğumuz yazıcıda çıktı almak için öncelikle kalibrasyon yapılması gereklidir. Bu işlemle tasarımının boyutu ile basılan ürünün boyutunun aynı olması sağlanır ve yazıcı kullanıma hazır hale getirildi.

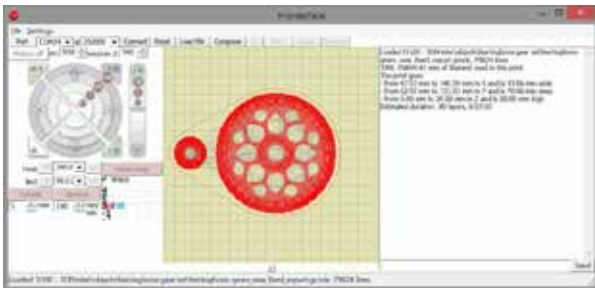


Şekil 11: İmalatı tamamlanmış 3Boyutlu Yazıcı

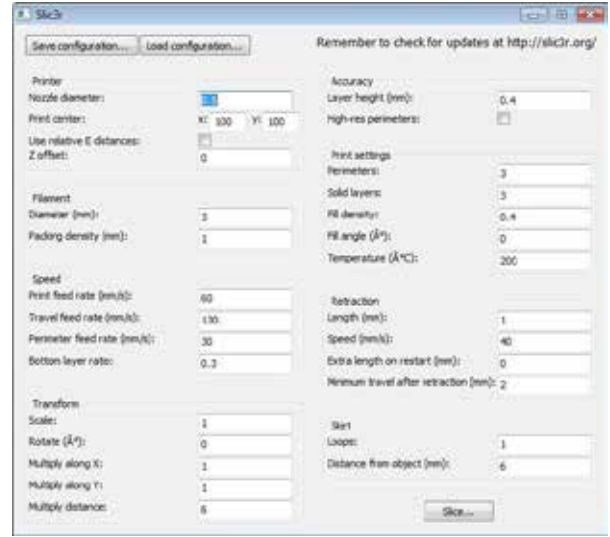
Çıktı almak için ilk önce çıktısını almak istediğimiz ürünlerin 3Boyutlu çizimlerini yazıcının ara yüz programı olarak kullandığımız pronterface programına(Şekil 12) gönderilir.

Daha sonra pronterface arayüz programı yüklenen 3 boyutlu çizimi slic3r (Şekil 13) adlı program ile 3 boyutlu çizimimiz katmanlara ayrılır ve CNC tezgahlarda olduğu gibi G-Code oluşturur. Oluşturulan G-Code (parça programı) ile yazıcımız çıktı almaya hazır hale gelir.

Yazıcı arayüz programımıza başlatma komutu göndererek çıktı alma işlemi başlatılır. Çıktı alımı sırasında nozülün sıcaklığı ve malzeme akışı kontrol edilerek, yollanan programa göre ürünler (Şekil 14) basılır.



Şekil 12: Pronterface Yazıcı Ara Yüz Programı



Şekil 13: Slic3r Dilimleme Programı



Şekil 14: İmalatı yapılan yazıcıdan alınan ilk çıktı örnekleri

4. Sonuç

Bu projede 3 boyutlu bir yazıcı tasarlanarak, imal edilmiştir. Açık kaynak donanım ve yazılım kullanılarak, projemize uygun değişiklikler ve iyileştirmelerle prototip başarılı şekilde geliştirilmiştir. Bilgisayar ortamında üç boyutlu tasarlanan modeller, katmanlanarak geliştirilen üç boyutlu yazıcı kullanılarak termoplastik malzeme ile basım gerçekleştirilmiştir. Ürünü ticarileştirebilmek için ilk adım atılmıştır.

Kaynakça

- [1] Mustafa Çoşar, “3d Yazıcılar İle Tasarım Ve Üretime Yönelik Akademisyenlerin Bakış Açısı”, 1.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi
- [2] Aslıhan Bozkurt - <http://www.bilisimdergisi.org/s164>
- [3] Özlem Kılıç Ekici - Bilim ve Teknik Aralık 2012

ELEKTRONİK SANAYİ UYGULAMA BİLDİRİLERİ-II

Oturum Yöneticisi: Doç. Dr. Hasan Karal (EMO)

İnce Filmle Kaplanmış PIR Algılayıcıları ile Uçucu Organik Bileşik Sınıflandırması

Classification of Volatile Organic Compound Plumes Using Thin Film Deposited PIR Sensors

Behçet Uğur Töreyn¹, Orçun YILDIRAN²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Çankaya Üniversitesi

toreyn@cankaya.edu.tr

²İpa Elektronik Bilişim Teknolojisi Enerjisi ve

Savunma San. Dış. Tic. Ltd. Şti.

orcunyildiran@gmail.com, orcun@ipadefence.com

Özet

Günümüzde Uçucu Organik Bileşenlerin (UOB) ve toksik gazların tespiti kritik bir teknoloji haline gelmiştir. Yüksek hassasiyetli, düşük enerji gereksinimi olan ve taşınabilir özellikteki bütünleşmiş gaz ve kimyasal detektörlere olan ilgi artmaktadır. Bu çalışmada, Pyro-electric Infra-Red (PIR) sensör tabanlı UOB tespit sistemi geliştirilecektir. Bu amaçla, CO, CO₂, NH₃, C₃H₈, C₄H₁₀, CH₄ gibi bazı gazlara ait UOB gaz bulutu davranışları gazlara ait kızılötesi emilim imzaları baz alınarak rastgele süreçler olarak modelleneyecektir.

Önerilen tespit metodu ve sistem birkaç aşamadan oluşacaktır. İlk önce PIR sensörden alınan analog sinyaller dijitalize edilecektir. Bundan sonra, Fourier, dalgacık gibi uygun dönüşüm teknikleri kullanılarak alınan sinyallerin ayırt edici özellikleri çıkarılacaktır. Bu ayırt edici özellikler çıkarıldıktan sonra sinir ağları, rastgele orman gibi makine öğrenme tekniklerine dayanarak tasarlanmış sınıflandırma bloğuna gönderilecektir.

Sistemin genel performansı çevrimdışı ve çevrimiçi testlerle doğrulanacaktır. Testler çeşitli karışım ve konsantrasyon düzeyleri ile ayak kabı kutusu büyüklüğünde gaz çemberi içinde gerçekleştirilecektir.

Tüm bu amaçlananları gerçekleştirebilmek için, bu çalışmada ayrıntılı bir literatür taraması yapılmıştır.

Abstract

Nowadays, detection of the Volatile Organic Compounds (VOC) and toxic gases became a critical technology. The interest for the integrated gas and chemical detectors is increasing with the high sensitivity, low power requirement and portability feature. Within the scope of the thesis, a Pyro-electric Infra-Red (PIR) sensor based VOC detection system will be developed. For this purpose, VOC gas plume behaviors corresponding to several gases such as CO, CO₂,

NH₃, C₃H₈, C₄H₁₀, CH₄ will be modelled as random processes based on their individual infra-red absorbance signatures.

The proposed detection method and system will be composed of several steps. Firstly, analog signals acquired from PIR detectors will be digitized. After that, distinctive features of acquired signals will be extracted using appropriate transform techniques, such as Fourier, wavelet, etc. Once the feature vectors are extracted, they will be fed to a classification block which will be designed using machine learning techniques, such as neural networks, random forests, etc.

The overall system performance will be verified by off-line and on-line tests. Tests will be performed in a shoe-box size gas chamber with varying composition and concentration levels.

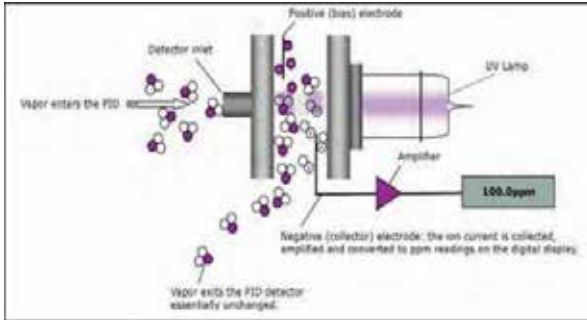
In order to realise the desired results, a detailed literature review is done in this study.

1. Giriş

Sızıntı tespiti için kullanılan optik yöntemler iki ayrı kategoriye ayrılabilir: pasif ve aktif [32]. Aktif yöntemlerde ısıma kaynakları kullanarak tarama alanının aydınlatılmasını gerektirirken, pasif yöntemler bir kaynağa ihtiyaç duymaz ve arakaplan ışımlarına ya da gaz tarafından emilen ışıma dayanır. Optik yöntemlerinin taşınabilir olması, uzaktan tespit edebilmesi ve sızıntı yeri tespit yeteneği bazı genel yararlarıdır [33]. Son yıllarda, UOB tespiti için yüzey akustik dalga sensörleri [5, 6], polimer kompozit sensörler [7-9], karbon nano-tüpler [10-12], CMOS [13], kapasitif sensörler [14], kolorimetrik gaz sensörleri, yarı-iletken gaz sensörleri ve optik sensörler [31] gibi birçok sensörler tasarlanmıştır.

TSI Incorporated tarafından UOB tespiti için Foto-iyonizasyon tespiti (PID) kullanılmaktadır. PID tarafından

UOB'leri havada pozitif ve negatif iyonlarına ayırmak için ultraviyole ışık kaynağı (UV) kullanılmaktadır. PID, iyonize olmuş gazın yükü ölçer ya da tespit eder ve bu yük havadaki UOB konsantrasyonunun bir fonksiyonu haline gelir. PID sensörlerinde kullanılacak farklı türde lambalar bulunmaktadır ve lambaların seçimi amaçlanan gazın seçicilik gereksinimlerine ve lambanın ömür faktörüne bağlıdır [1].



Şekil 1: PID sensör yapısı

MultiRAE, RAE Sistemleri'nin yüksek ölçüde entegre olmuş ve birçok kimyasal tehditleri görüntüleyen taşınabilir bir cihazdır. Hedef gaz tipi ve mesafesi farklı sensörlerle entegre edilerek değişebilmektedir. Ancak, çok düşük konsantrasyonlardaki UOB'leri tespit etmek için MultiRAE kullanılırken spesifik adımlar atılması gerekmektedir. PID sensörler, PID lambalarından çıkan UV ışıkları ile gaz moleküllerinin iyonizasyon sonucu ortaya çıkan akımlarını ölçerek UOB'leri tespit eder. Sonuç olarak, PID'lerin yoğunluk değişimleri düşük konsantrasyonlu UOB ölçümünü etkilemektedir. PID'da kullanılan UV lambalar özellikle uzun süre güç kapalı durumdaysa stabilizasyon için zamana ihtiyaç duymaktadır. Örneğin, 24 saatten daha uzun süre kapalı durumdaysa, 30 ila 45 dakikalık bir bekleme süresi önerilmektedir [2].

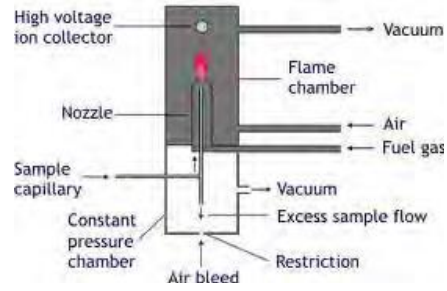
Kolorimetrik tüpler toksik gazları ve buharları ölçmek için ucuz ve kanıtlanmış bir yöntemdir [15-17]. Kolorimetrik sensör dizilerinin uygulamaları düşük maliyet, kolay üretim, ışık kaynağına ya da alt devrelere ihtiyaç duymadığından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tüplerin sınırlamaları vardır. Örneğin, farklı UOB'leri gerçek zamanlı olarak tespit edemez, UOB'lerin konsantrasyonunu ölçemez, yavaş tepki verirler ve sonuçları dakikalar içerisinde verirler. Havanın durumu sadece bir noktada kontrol edilebilir.



Şekil 2: Kolorimetrik tüpler

Mikro-Elektromekanik Sistemlere (MEMS) dayalı yarı-iletken gaz sensörleri ve Tamamlayıcı Metal-Oksit Yarı-iletkenleri (CMOS) kesin gaz konsantrasyonunu tespit edebilir ve gerçek zamanlı görüntülemeye olanak sağlar. Ancak, gaz moleküllerinin bağlarını koparmak için ek bir ısıtma sistemine ihtiyaç duymaktadır ve algılama zarı periyodik olarak değiştirilmelidir [31].

Alev İyonizasyon Detektörleri (FID) VOC tespiti için laboratuvarlarda kullanılmaktadır. PID'den farklı olarak seçici değildir. Bir başka ifadeyle, bütün organik bileşenleri tespit edebilir. Sabit alanlar ya da laboratuvarlar için uygundur. Boyutlarından ve ağırlığından dolayı taşınabilir detektör olarak kullanılamazlar ve hidrojen tüpüne ihtiyaç duyarlar [1].



Şekil 3: FID sensör yapısı

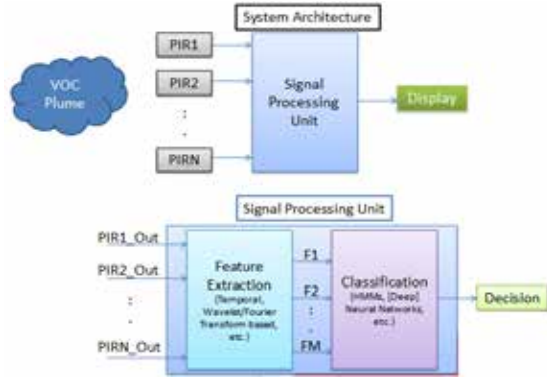
Kristal metal-organik iskelet (MOF) yapılı ince film ile kaplanmış weight-detectable quartz microbalance ve silicon-based microcantilever sensörler UOB'leri tespit etmenin bir yoludur. İki MOF'un ince filmleri altın elektrotlar üzerine COOH-bitimli, öztoplanmalı tekkatmanlar sensör platformunu oluşturmaktadır. MOF katmanları UOB gazlarının efektif konsantrasyonları gibi çalışır ve UOB'lerin yüzütutunum/yüzeyden salma işlemleri weight-detectable sensörlerin frekans değişimleri ile görüntülenebilir [3].

Gaz sensörleri, Metal-oksit Yarı-iletkenlerinin (MOS) kimyasal hassasiyetlerine dayalıdır ve ticari olarak hazırdir [4]. MOS sensörler UOB tespiti için dizi oluşturmak amacıyla kullanılsa da, algılama katmanı çalışmak için 200-400°C arasında bir ısıtmaya ihtiyaç duymaktadır [3].

Lokalize Yüzey Plazmon rezonans (LSPR) sensörleri algılama kabiliyetlerinden dolayı UOB gaz tespitinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır [18-21]. Ancak, bu sensörler pahalı, üretimi zor, büyük ölçülere sahiptir [22].

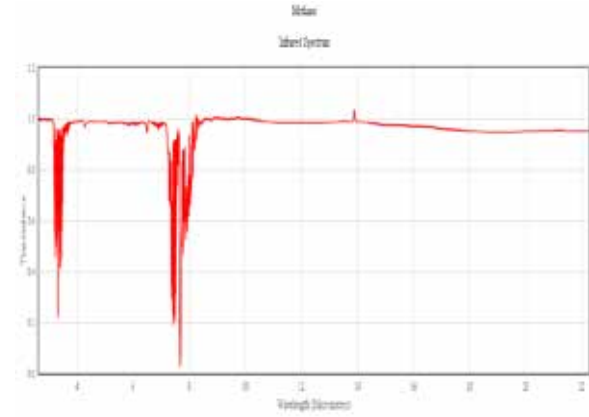
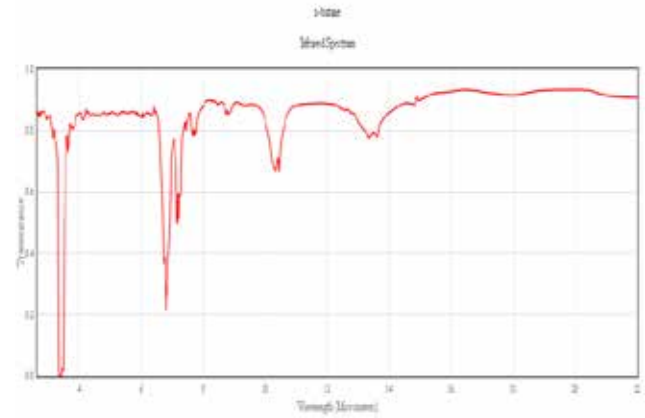
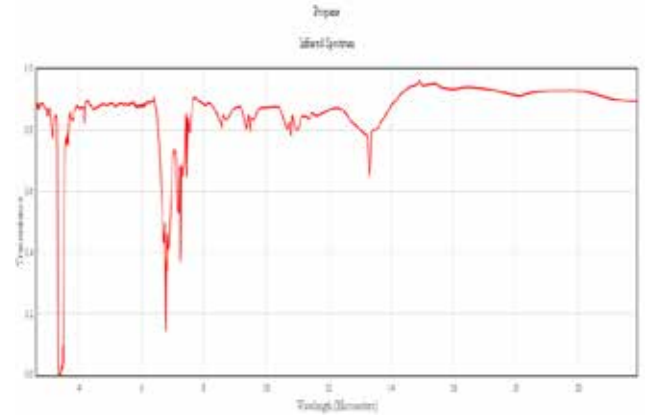
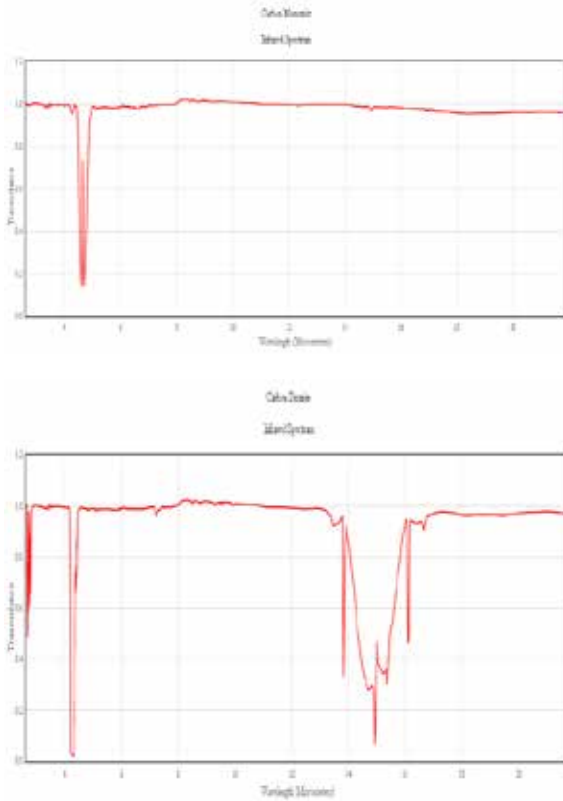
Son zamanlarda, fiber-optik sensörler sensör uygulamaları için mükemmel adaylar olarak görülmeye başlamıştır [23]. Side-polished fiber optik sensörler, kimyasal, fiziksel ve çevresel değişikliklere hassasiyeti arttırmak için fiber optik ve optik dalga kılavuzu teknolojisini birleştirir [24-28]. Bu sensör sistemleri ışıktaki çok küçük değişiklikleri tespit etmek kabiliyetine sahip değildir ve boyutları büyüktür. UOB ile etkileşime girecek algılama zarı olarak dalgaboyu kaydırma presibine dayalı Side-polished fiber-optik UOB sensörü geliştirilmiştir [29-30]. Bu tür sensörlerin avantajları düşük maliyetli, kolay üretim ve yüksek hassasiyete sahip olmasıdır. Ancak, bu sensörler düşük dinamik menzile sahiptir, yüksek tepki süresine/geri kazanım süresine ve değişken algılama performansına sahiptir [22].

Bu çalışma ile tasarlanıp, üretilecek olan sistemin mimarisi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4: Sistem Mimarisi

Sistem ile tespit edilmesi planlanan UOB’lerin öncelikle spectral imzaları kullanılarak sistemin karşılaştırma yapabilmesi için spektral kütüphanesi oluşturulacaktır. Sistem ile tespit edilmesi hedeflenen UOB’lerin bazılarının spektral imzaları Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5: UOB’lerin Spektral İmzaları

2. Kaynaklar

- [1] Photo- Ionization Detection (PID) Technology – TSI Incorporated TSI-147
- [2] RAE Systems Technical Note TN-202

- [3] Hiroki Yamagiwa, Seiko Sato, Tadashi Fukawa, Tsuyoshi Ikehara, Ryutaro Maeda, Takashi Mihara & Mutsumi Kimura Detection of Volatile Organic Compounds by Weight-Detectable Sensors coated with Metal-Organic Frameworks
- [4] Miller, T. A., Bakrania, S. D., Perez, C. & Wooldridge, M. S. [Nanostructured Tin Oxide Materials for Gas Sensor Applications]. Functional Nanomaterials [Geckeler, K. E. & Rosenberg, E. (ed.)] [1–24] (American Scientific Publishers, 2006).
- [5] Wang, D.; Wang, Y.; Yu, K.; Wang, P. Systems based on surface acoustic wave sensors for detection of gaseous and liquid exhaled breath. In Proceeding of the 8th Conference on Ph.D. Research in Microelectronics & Electronics, Aachen, Germany, 12–15 June 2012; pp. 317–320.
- [6] Liu, J.; Wang, W.; Li, S.; Liu, M.; He, S. Advances in SAW gas sensors based on the condensate-adsorption effect. *Sensors* 2011, 11, 11871–11884.
- [7] Ryan, M.A.; Shevade, A.V.; Zhou, H.; Homer, M.L. Polymer-carbon black composite sensors in an electronic nose for air-quality monitoring. *MRS Bull.* 2004, 29, 714–719.
- [8] Hands, P.J.W.; Laughlin, P.J.; Bloor, D. Metal–polymer composite sensors for volatile organic compounds: Part 1. Flow-through chemi-resistors. *Sens. Actuators B Chem.* 2012, 162, 400–408.
- [9] Harun, F.K.C.; Jumadi, A.M.; Humaimi, M.N. Carbon black polymer composite gas sensor for electronic nose. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 2011, 2, 1–7.
- [10] Wongchoosuk, C.; Wisitsoraat, A.; Tuantranont, A.; Kerdcharoen, T. Portable electronic nose based on carbon nanotube-SnO₂ gas sensors and its application for detection of methanol contamination in whiskeys. *Sens. Actuators B Chem.* 2010, 2, 392–399.
- [11] Wang, Y.; Yeow, J.T.W. A Review of Carbon Nanotubes-Based Gas Sensors. *J. Sens.* 2009, 2009, 1–24.
- [12] Penza, M.; Cassano, G.; Aversa, P.; Cusano, A.; Cutolo, A.; Giordano, M.; Nicolais, L. Carbon nanotube acoustic and optical sensors for volatile organic compound detection. *Nanotechnology* 2005, 16, 2536–2547.
- [13] Matthew, L.J.; Edrees, H.; Kymissis, I.; Shepard, K.L. Integrated VOC vapor sensing on FBAR-CMOS array. In Proceedings of the IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems, Paris, France, 29 January–2 February 2012; pp. 846–849.
- [14] Pantazis, N.A.; Patsis, G.P.; Valamontes, E.; Raptis, I.; Goustouridis, D.; Sanopoulou, M. Capacitive sensor arrays for the real time detection of volatile organic compounds. In Proceedings of the Fifth International Conference on Sensing Technology, Palmerston North, New Zealand, 28 November–1 December 2011; pp. 422–425.
- [15] Suslick, K.S.; Rakow, N.A.; Sen, A. Colorimetric sensor arrays for molecular recognition. *Tetrahedron* 2004, 60, 11133–11138.
- [16] Rakow, N.A.; Sen, A.; Janzen, M.C.; Ponder, J.B.; Suslick, K.S. Molecular recognition and discrimination of amines with a colorimetric array. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2005, 44, 4528–4532.
- [17] Lin, H.; Jang, M.; Suslick, K.S. Preoxidation for colorimetric sensor array detection of VOCs. *J. Am. Chem. Soc.* 2011, 133, 16786–16789.
- [18] Chen, Y.Q.; Lu, C.J. Surface modification on silver nanoparticles for enhancing vapor selectivity of localized surface plasmon resonance sensors. *Sens. Actuators B Chem.* 2009, 135, 492–498.
- [19] Mombello, D.; Pira, N.L.; Belforte, L.; Perlo, P.; Innocenti, G.; Bossi, S.; Maffei, M.E. Porous anodic alumina for the adsorption of volatile organic compounds. *Sens. Actuators B Chem.* 2009, 137, 76–82.
- [20] Mombello, D.; Pira, N.L.; Belforte, L.; Perlo, P.; Innocenti, G.; Bossi, S.; Maffei, M.E. Porous anodic alumina for the adsorption of volatile organic compounds. *Sens. Actuators B Chem.* 2009, 137, 76–82.
- [21] Ma, W.; Yang, H.; Wang, W.; Gao, P.; Yao, J. Ethanol vapor sensing properties of triangular silver nanostructures based on localized surface plasmon resonance. *Sensors* 2011, 11, 8643–8653.
- [22] Md. Rajibur Rahaman Khan and Shin-Won Kang A High Sensitivity and Wide Dynamic Range Fiber-Optic Sensor for Low-Concentration VOC Gas Detection
- [23] Donagh, C.M.; Burke, C.S.; MacCraith, B.D. Optical chemical sensors. *Chem. Rev.* 2008, 108, 400–422.
- [24] Tseng, S.M.; Chen, C.L. Side-polished fibers. *Appl. Opt.* 1992, 31, 3438–3447.
- [25] Jung, W.G.; Kim, S.W.; Kim, K.T.; Kang, S.W. High-sensitivity temperature sensor using a side-polished single-mode fiber covered with the polymer planar waveguide. *IEEE Photon. Technol. Lett.* 2001, 13, 1209–1211.
- [26] Flannery, D.; James, S.W.; Tatam, R.P.; Ashwell, G.J. pH sensor using Langmuir-Blodgett overlays on polished optical fibers. *Opt. Lett.* 1997, 22, 567–569.
- [27] Yoon, J.K.; Seo, G.W.; Cho, K.M.; Kim, E.S.; Kim, S.H.; Kang, S.W. Controllable in-line UV sensor using a side-polished fiber coupler with photo-functional polymer. *IEEE Photon. Technol. Lett.* 2003, 15, 837–839.
- [28] Jang, S.W.; Yun, Y.H.; Kim, D.E.; Lim, S.J.; Park, S.Y.; Lee, Y.H.; Kang, S.W. Refractive index change by photoinduction of a UV-sensitive SMF-to-PWG coupler. *IEEE Photon. Technol. Lett.* 2006, 18, 220–222.
- [29] Yuan, H.; Yeom, S.H.; Lim, J.W.; Kang, S.W. Side-polished optical fiber odor sensor for VOC detection based on solvatochromism. *Sens. Lett.* 2011, 9, 87–91.
- [30] Yeom, S.H.; Yuan, H.; Kang, B.H.; Kim, K.J.; Kwon, D.H.; Kim, S.H.; Kang, S.W. VOC gas detection using solvatochromic dye coated side-polished optical fiber. In Proceedings of the 14th International Meeting on Chemical Sensors, Nuremberg, Germany, 20–23 May 2012; pp. 1454–1457.
- [31] Jae-Sung Lee, Na-Rae Yoon, Byoung-Ho Kang, Sang-Won Lee, Sai-Anand Gopalan, Hyun-Min Jeong, Seung-Ha Lee, Dae-Hyuk Kwon and Shin-Won Kang Response Characterization of a Fiber Optic Sensor Array with Dye-Coated Planar Waveguide for Detection of Volatile Organic Compounds
- [32] Reichardt, T.; Devdas, S.; Kulp, T., & Einfeld, W. (2002). Evaluation of active and passive gas imagers for transmission pipeline remote leak detection. (Tech. rep).
- [33] Pal-Stefan Murvay, Ioan Silea (2012). A survey on gas leak detection and localization techniques

Temposu Değiştirilen MIDI Müzik Sinyalleri ile Zaman Ölçeği Değiştirilen Müzik Sinyallerinin Karşılaştırılması

Comparison of Tempo Modified MIDI Music Signals and Time-Scale Modified Music Signals

Eroğul O.¹, Nasıfoğlu H.¹, Özdemir G.¹

¹Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
erogul@etu.edu.tr, hnasifoglu@etu.edu.tr, g.ozdemir@etu.edu.tr

Özet

İşitme sorunu olan kişilerin karşılaştığı zorluklardan biri, çok hızlı ya da yavaş değişen sesleri takip edip, anlamakta zorlanmalarıdır. Bu problem, aynı zamanda şarkıları dinleyebilmelerini de engellemektedir. Bu çalışmada, Dalgacık Dönüşümünden sonra, ses sinyallerinin zaman ölçeğini değiştirmekte kullanılan Dalgacık Benzerliği Üstüste Bindirme ve Toplama (Waveform Similarity Overlap-Add Technique, WSOLA) algoritması, müzik sinyallerinin (şarkıların) tonunu koruyarak hızını değiştirmek amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, MIDI (Musical Instruments Digital Interface) formatındaki aynı müzik sinyalinin sayısal nota ve süre bilgisi kullanılarak temposu değiştirilmiş ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma için subjektif bir değerlendirme olan Ortalama Değerlendirme Notu (MOS) Testi kullanılırken, objektif değerlendirme için ise iki farklı yöntemle 2 kat hızlandırılmış müzik sinyallerinin korelasyon değeri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Dalgacık Dönüşümü ve WSOLA algoritmasının bir müzik sinyalinin hızının, şarkının orijinal tonunun korunarak, hızlandırılıp yavaşlatılmasında kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelime: MIDI, müzik sinyali, ton, zaman ölçeği değişikliği, WSOLA, tempo

Abstract

One of the difficulties that hearing impaired people frequently face is following and perceiving fast or very slow sound. This condition also inhibits them to follow the songs. In this study, a time scale modification algorithm, Waveform Similarity Overlap-Add Technique (WSOLA), is implemented to change the speed a music signal, following wavelet transform while preserving the pitch of the song. Additionally, speed of the music signals in MIDI (Musical Instruments Digital Interface) format is changed by using the features (digital note and duration information) of MIDI protocol, and the results of both procedure are compared.

In comparison, Mean Opinion Score (MOS) Test is used for subjective evaluation; correlation value of the two resulting music signals, each speeded up by different methods, is

calculated for objective evaluation. Results show that, wavelet transform followed by WSOLA algorithm can be used for altering the speed of a music signal while preserving the pitch of the song.

Keywords: MIDI, music signal, pitch, time-scale modification, WSOLA, tempo

1. Giriş

Günümüzün en yaygın hobilerinden biri müzik dinlemektir. İşitme sorunu yaşayan kişiler konuşma ve özellikle müzik sinyallerini algılamakta güçlük çekerler. Bu sinyaller, anlamayı kolaylaştırmak için belirlenen amaç doğrultusunda yavaşlatılabilir veya hızlandırılabilir. Bu konuda ses sinyalleri üzerinde zaman ve frekans bölgesinde çalışan bir çok algoritma mevcuttur. Bu algoritmalar üzerinde çalışma yapılan müzik sinyalinin kalitesini, doğruluğunu veya tonunu etkileyebilir. Bu nedenle bu algoritmaların kullanımı sırasında müziğin orijinal tonal kalitesini koruyabilmek önemlidir.

Zaman ölçeği değiştirme uygulamasının ses sinyalleri üzerindeki etkilerini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Eroğul ve Tüzünalp [1] kısa kelimeler üzerinde, örneğin "Bob", çok çözünürlüklü zaman-ölçek değişikliği etkilerini incelemiştir. Dorrn ve Lawlor [2] SOLA, SAOLA, PAOLA, VSOLA gibi değiştirme algoritmalarını kıyaslamış ve kıyaslama sonucunda SOLA ve SAOLA'nın uyumlu bir versiyonu olan VSOLA'nın dinleme testlerinde daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Yapılan bir diğer çalışma ise Ninnis ve Henriksen'in sunduğu sinüzoidal model tahmini kullanarak zaman ve ton değiştirme metodudur [3]. Algoritma gerçek zamanlı çalışmakta, bu nedenle portatif dijital sinyal işleme cihazlarında çalışma yeteneğine sahiptir. Bunun yanında Zhu *et al.* ses sinyalleri üzerinde bilgisayar görüş destekli parmak izi algoritması konusunda çalışma yapmış ve bu yöntemin zaman ölçek değişikliği ve ton kaydırmada zorluklara neden olacağı sonucuna ulaşmıştır [4].

2. MIDI Protokolü

Musical Instruments Digital Interface kelimelerinin baş harflerinden oluşan MIDI, elektronik cihazların kendi aralarında veri alışveri yapmasını sağlayan, senkron çalışabilen standart bir protokoldür. Günümüz bilgisayarlarında bulunan dahili ses kartlarında mevcut olan General

MIDI (GM), standart bir MIDI enstrüman setidir [5]. Bu protokol, amatör müzisyenler için basit müzik yapım programları ile kendi alt yapılarını hazırlama imkanı sağlarken, profesyonel müzik yapım programları kullanıldığı takdirde enstrümanların bulunduğu ilgili kanallara daha kaliteli enstrüman setleri atanmasına imkan vererek profesyonel anlamda müzik yapılmasını sağlamaktadır.

Bir MIDI dosyasını Matlab ortamında analiz edebilmek için "Midi Toolbox" adı verilen aracın eklenmesi gerekmektedir. Böylelikle ilgili MIDI dosyalarını okuma ve yazma işlemlerini yapmak mümkün olacaktır. Bu bağlamda MIDI Toolbox'un kurulumu ile MIDI dosyası okunduğunda ortaya nx7 boyutunda bir matris çıkmaktadır. Bu matris, MIDI dosyası ile ilgili tüm bilgileri 7 sütun boyunca içermektedir. MIDI'de kullanılan nota sayısı, "n" ile gösterilen satır sayısı kadardır. Her bir sütunun ne anlama geldiği Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Okunan MIDI dosyasının sayısal ifadesi/matris formu

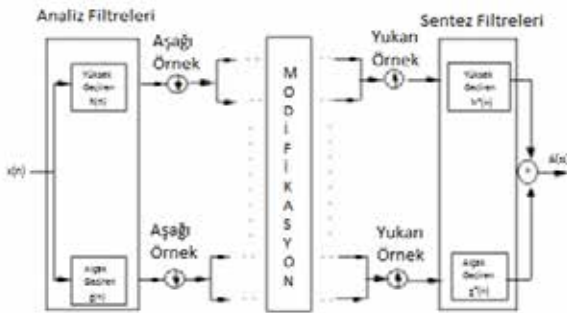
Başlangıç Değeri (Ölçü)	Süre (Ölçü)	MIDI Kanalı	Nota Değeri	Şiddet	Başlangıç Değeri (Saniye)	Süre (Saniye)
-------------------------	-------------	-------------	-------------	--------	---------------------------	---------------

3. Yöntem

Bu makalede şarkının hızını değiştirmek için aşağıdaki adımları içeren bir algoritma kullanılmıştır:

- 1) Kullanıcı tarafından Daubechies katsayıları üretilir.
- 2) Dalgacık dönüşümü ile orijinal müzik alt bantlarına ayrılır.
- 3) Her bir alt bant Dalgacık Benzerliği Üstüste Bindirme ve Toplama yöntemi ile değiştirilir.
- 4) Değiştirilmiş alt bantlardan Ters dalgacık dönüşümü ile sinyal yeniden oluşturulur. Böylelikle müziğin perde/nota bilgisi korunurken hızı değiştirilmiş olur.

Şekil 1'de yapılan çalışmada kullanılan genel yaklaşımın blok diyagramı gösterilmiştir. $x[n]$, orijinal müzik sinyali iken $\hat{x}[n]$ zaman ölçeği değiştirilmiş sinyaldir. Bu sinyal, kullanılan zaman ölçeği değiştirme katsayına bağlı olarak hızlandırılmış veya yavaşlatılmış bir müzik olabilir.



Şekil 1: Zaman-ölçeği değiştirme algoritmasının blok diyagramı

3.1. Daubechies Katsayıları

Ayna süzgeçler kullanılarak bir sinyal mükemmel bir şekilde yeniden oluşturabilmektedir. Bu işlemi gerçekleştirmek için Daubechies süzgeçleri sinyalin karakteristiği dikkate alınarak doğru bir şekilde seçilmelidir [6]. Kullanılan katsayılar uygulanacak olan işleme bağlı olarak 4,6,8,...,20 boyutlarında değişmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan müzik sinyalleri 20-30 saniye sürdüğünden, düşük Daubechies katsayıları seçilmiştir.

3.2. Dalgacık Dönüşümü

Sinyaller sadece şekilsel olarak değil; aynı zamanda bölgesel olarak da ifade edilirler. Ana dalgacık Denklem (1)'de verilmiştir.

$$h_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} h\left(\frac{t-\tau}{a}\right), \quad a: \text{ölçekleme katsayısı (a>0)} \quad (1)$$

$h(t)$ ana dalgacık fonksiyonunu ifade ederken; bu ifadenin kompleks eşleniği, sürekli zaman dalgacık dönüşümü için kullanılır. Sürekli zamandaki $x(t)$ sinyalinin dalgacık dönüşümü Denklem (2)'de verilmektedir.

$$X(\tau, a) = \int x(t) h_{a,\tau}^*(t) dt \quad (2)$$

Kullanılan müzik sinyalleri sayısal sinyaller olduğundan yapılan çalışmada ayrık zaman dalgacık dönüşümü kullanılmıştır.

3.3. Dalgacık Benzerliği Üstüste Bindirme ve Toplama Algoritması (Waveform Similarity Overlap-Add Technique, WSOLA)

Bu teknik ele alınan sinyalin zaman ölçeğini değiştirmek için kullanılır. WSOLA algoritması, öngörülen tolerans aralığı içerisinde önceki bölüt ile üstüste bindirme ve toplama yapabileceği bir bölüt arar. WSOLA işleminde kullanılan temel sentez denklemi aşağıdaki gibidir [7].

$$y(n) = \frac{\sum_k v(n-L_k) x(n+\tau^{-1}(L_k)+\Delta_k-L_k)}{\sum_k v(n-L_k)} \quad (3)$$

Bu denklemde $v(n)$ pencereleme fonksiyonunun karesini, L_k ardışık pencere konumlarını; örneğin sentez anlarını, $\tau(L_k)$ ise analiz anını ifade eder.

3.4. Ters Dalgacık Dönüşümü

Yapılan çalışmanın son aşamasında, zaman ölçeği değiştirilmiş tüm alt bantlar Denklem 4'de verilen ters dalgacık dönüşümü ile birleştirilmelidir.

$$x(t) = c \iint_{a>0} X(\tau, a) h_{a,\tau} \frac{da d\tau}{a^2} \quad (4)$$

Formülde kullanılan c katsayısı, $h(t)$ 'ye bağlı bir sabittir.

4. Deneysel Çalışmalar

4.1. MIDI Protokolü ile Yapılan İşlemler

Üzerinde çalışılan müzik sinyali MIDI protokolü kullanılarak hazırlanmış olup daha sonra MIDI formatından (.mid) ses sinyali (.wav) formatına çevrilmiştir. Böylelikle MIDI'nin özellikleri kullanılarak sayısal nota verisi üzerinde yapılan

herhangi bir değişiklik daha sonra ses sinyali formuna çevrilerek dalga şekli analizine imkan vermektedir. Bu yöntemde uygulanan algoritma şu şekildedir;

- 1) Müzikte kullanılan her bir notanın çalma süresi yarıya düşürülmüştür. (Tempo iki katına çıkacaktır)
- 2) Benzer şekilde her bir notanın çalma süresi iki katına çıkarılmıştır. (Tempo yarıya düşecektir)

MIDI protokolü ile hazırlanmış müzikteki tüm enstrümanlara ait nota ve kanal bilgilerine sayısal olarak erişmek mümkün olduğu için yapılan değişiklikler sonrasında istendiğinde müziğin orijinal haline kayıpsız bir şekilde geri döndürülmesi mümkündür.

Yapılan deneyde enstrümantal olarak çalınmış bir piyano kaydı (Mozart'ın Türk Marşı'ndan bir bölüm) kullanılmıştır.

4.2. Zaman-Ölçeğinin Değiştirilmesi Algoritmasıyla İlgili Çalışmalar

Kullanılan müzik sinyali iki alt banda ayrılır (seviye 1) ve bu alt bantların her biri aşağı örneklenerek (downsampling) ve altbantlara ayrıştırılarak 2048 (2^{11}) adet alt banta (seviye 11) ayrılabilir. 8kHz örnekleme frekansına sahip 10 saniye süren bir müzik sinyali kullanıldığı bu çalışmada iki alt bant kullanılmıştır.

Yapılan deneyde kullanılan müzik sinyalinin alt bantları WSOLA algoritması kullanılarak;

- 1) Önce 0.5 katsayısı ile hızlandırılmış ve ters dalgacık dönüşümü kullanılarak hızlandırılmış alt bantlar sentezlenerek iki kez hızlandırılmış müzik sinyali elde edilmiştir.
- 2) Sonra hızlandırılmış müzik sinyalinin alt bantları 2 katsayısı ile yavaşlatılmış ve ters dalgacık dönüşümü kullanılarak orijinal sinyal geri elde edilmiştir.

Sonuçlar bölümünde, zaman ölçeği değiştirilen müzik sinyallerin dalga şekli orijinal sinyaller ile birlikte verilmiştir.

5. Sonuçlar

Denenen algoritma ve MIDI protokolünün özelliği kullanılarak iki kat hızlandırılmış müzik sinyallerinin dalga şekilleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu sinyaller normalize edilmemiştir. Benzer işlemler kullanılarak hızlandırılmış sinyallerin 2 katsayısı ile hızın yarıya (orijinal tempoya) düşürüldüğünde elde edilen dalga şekilleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan işlemler sonrası WSOLA algoritmasının orijinal dalga şeklini koruduğunu göstermek için Şekil 3'te sinyaller normalize edilmiş olarak gösterilmiştir. Her iki yöntemle değiştirilen müzik pasajı, test aşamasında kişilere dinletilmiş ve yorumların çok büyük bir çoğunluğu bu iki sinyalin birbirine benzediği yönünde olmuştur. Subjektif değerlendirme testlerinden olan Ortalama Değerlendirme Notu (Mean Opinion Score, MOS) Testi Eroğul'un çalışmasında detaylı bir şekilde açıklanmış ve ses sinyallerinin kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır [1].



(a)



(b)

Şekil 2: (a) Denenen algoritma ile iki kat hızlandırılmış müzik sinyalinin dalga şekli (0.5 katsayısı ile hızlandırılmış), (b) MIDI nota süresi üzerinde değişiklik yapılarak iki kat hızlandırılmış müzik sinyalinin dalga şekli



(a)



(b)



(c)

Şekil 3: (a) Orijinal sinyal (b) Denenen algoritma ile hızlandırılmış sinyalin iki kat yavaşlatılmasıyla elde edilen dalga şekli (2 katsayısı ile yavaşlatılmış), (c) MIDI nota süresi

üzerinde değişiklik yapılarak iki kat hızlandırılan sinyalin yavaşlatılmasıyla elde edilen dalga şekli (iki kat yavaşlatılmış)

Çalışmada kullanılan WSOLA dahil bir çok algoritma üstüste bindirme ve toplama yapısındadır. Ses sinyaline uygulanan değişiklik algoritmasının performansını Ortalama Karese Hata (Mean Square Error) gibi bazı objektif değerlendirme kriterleri ile değerlendirmek her zaman tutarlı ve mantıklı sonuçlar vermeyebilir. Bunun nedeni farklı algoritmalar kullanıldığında, değiştirilmiş ses sinyalindeki örneklerin yerlerinin orijinal sinyaldeki örneklerin yerlerinden farklı yerlerde bulunmasıdır. Bu nedenle, MIDI nota bilgisi kullanılarak nota sürelerinin değişikliği sonrası elde edilen sinyal ile zaman-ölçeği değişikliği sonrası elde edilen sinyal, küçük pencerelerde incelenerek korelasyonlarına bakılmıştır. Böylelikle bu iki sinyalin benzerliği küçük pencerelerde incelenerek sayısal olarak elde edilmiştir. Bu pencerelerden elde edilen ortalama korelasyon değeri temponun iki katına çıkarıldığı durumda 0.842 (%84.2) çıkmıştır. Bu işlemin ardından temponun yarıya indirilip orijinal tempoya geri döndüğü durumda ise 0.891 (%89.1) olarak elde edilmiştir.

Değiştirilen müzik sinyallerinin subjektif değerlendirme sürecinde, konu ile ilgisi olmayan kişilere temposu değiştirilen şarkılar dinletilmiş ve 5 üzerinden bir not vermeleri istenmiştir. Öncelikle orijinal şarkının temposunun denenen algoritma ile MIDI nota bilgisi değişiklikleriyle iki kat hızlandırılmış halinin, orijinal şarkıya benzerliği notlandırılmıştır. Daha sonra ise bu hızlandırılan şarkılar, yine iki farklı yöntem ile iki kat yavaşlatılarak orijinal tempoya geri getirilmiş ve bu değişikliklere uğrayan şarkılar notlandırılmıştır. 16 kişiden elde edilen puanlamaya göre elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2: Subjektif değerlendirme sonuçları

Kullanılan Yöntem	Tempo 2 kat hızlandırıldığında		Tempo 2 kat hızlandırıldıktan sonra 2 kat yavaşlatıldığında	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
Denenen yöntem ile	4,67	0,41	4,33	0,60
MIDI nota bilgisi ile	4,89	0,21	5	0

Subjektif değerlendirme için kullanılan Ortalama Değerlendirme Notu (Mean Opinion Score MOS) Testi sonuçlarından, MIDI nota bilgisinden yararlanılarak değiştirilen temponun, dinleyiciler için daha iyi olduğu ve daha fazla tercih edildiği anlaşılmıştır. MIDI nota bilgisiyle şarkının temposu iki kat hızlandırıldıktan sonra, tekrar iki kat yavaşlatılıp orijinal temposuna getirildiğinde, orijinal şarkı ile ayırt edilememektedir, çünkü teorik olarak tamamen aynı şarkı geri elde edilmektedir. Ancak denenen algoritma kullanıldığında sonuçlar daha farklı olmaktadır. Dinleyiciler, denenen algoritma kullanılarak temposu değiştirilen şarkılarda, şarkının tonunun korunduğunu ancak değerlendirmedeki puan farklılığının algoritmadan kaynaklanan gürültüden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada sadece algoritmanın performansı karşılaştırılmak istendiği için herhangi bir filtreleme işlemi uygulanmamıştır.

6. Değerlendirme ve Sonuç

Bir müzik sinyalinin temposunu değiştirirken nota aralıklarını; başka bir deyişle müziğin tonunu korumak büyük bir önem arz eder. Doğru bir değiştirme işlemi uygulanmadığı takdirde orijinallikten ve kaliteden ödün verileceği kaçınılmazdır. Sonuçlar, MIDI protokolü ile hazırlanmış bir müzikte; nota süresi değiştirilmiş sinyal ile zaman ölçeği değiştirilmiş sinyalin dalga şeklinin benzer olduğu yönündedir. Katılımcıların ortak görüşü, bu iki sinyal arasında önemli bir farklılığın olmadığı yönündedir.

Korelasyon değerlerine bakıldığında ise temponun iki katına çıkarıldığı durumda, küçük pencereler analizinden elde edilen ortalama korelasyon değeri 0.842 iken temponun iki kat yavaşlatıldığı durumda bu değer 0.891’e yükselmiştir. Bunun nedeni WSOLA algoritmasının orijinal dalga şeklini koruma çabasıdır. MIDI protokolü ile üretilen müziğin temposu iki katına çıkarıldığında dalga şeklinde gözlemlenen değişim, algoritma ile hızlandırılan müziğin dalga şeklindeki değişimden daha fazladır. Bunun ardından tempo yarıya düşürüldüğünde (orijinal tempoya döndüğünde) MIDI protokolü ile üretilen müzik orijinal dalga şekline kusursuzca dönecektir. Benzer şekilde algoritma ile yavaşlatma işlemi gerçekleştirildiğinde hızlandırma işleminde olduğu gibi dalga şeklini koruma çabısından dolayı orijinale yakın bir dalga şekli elde edilecektir. Bu durumda da korelasyon değeri artacaktır.

Çalışmada kullanılan müzik pasajının bir bölümü orijinal temposuyla yaklaşık 400 KB yer kaplamakta iken, iki kat hızlandırılmış hali ile yalnızca 200 KB boyutunda olmaktadır. Dolayısıyla iki kat hızlandırılan bir ses sinyalinin yeni boyutu, orijinal boyutunun yarısı kadar olmaktadır. Böylece önce hızlandırılıp sonra yavaşlatılan bir şarkının orijinal halinin elde edilebilmesi, herhangi bir müzik sinyalini hızlandırmak suretiyle boyutunu küçültmeyi, başka bir kaynağa iletmeyi ve daha sonra yavaşlatma işlemiyle orijinal haliyle ve temposuyla dinlemeyi de mümkün kılmaktadır.

Denenen yöntemleri kullanan bir işleme cihazı, hızlı konuşmaların ve müziğin simultane bir şekilde ve optimum düzeyde yavaşlatılmış olarak dinletilmesini sağlayabilecektir. Böylelikle işleme sorunu yaşayan kişilerin işleme esnasında yaşadıkları şarkı sözünü anlayamama sıkıntılarını ve işleme sınırlamalarını önemli ölçüde ortadan kaldırılabilecektir.

7. Kaynaklar

- [1] Eroğul O., Tüzünalp Ö., “Time-Scale Modification of Speech Signals Based on Wavelet Transform”, Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series A2-A3, V.45 pp.39-54, 2000.
- [2] Dorran R., Lawlor R., “An Efficient Audio Time-Scale Modification Algorithm for use in a Subband Implementation”, Proc. of the 6th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFX-03), London UK, September 8-11, 2003
- [3] Ninness B., Henriksen S. J., “Time-Scale Modification of Speech Signals”, IEEE Transactions on Signal Processing, vol.56, no.4, pp.1479-1488, April 2008
- [4] Zhu B., Li W., Wang Z., Xue X., “A Novel Audio Fingerprinting Method Robust to Time Scale Modification and Pitch Shifting”, MM’10, October 25-29, Firenze, Italy, pp.987-990, 2010
- [5] Huber D. M., “The MIDI Manual: A Practical Guide to MIDI in the Project Studio”, Focal Press, Third Edition, 2007
- [6] Daubechies I., “Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets”, Comm. in Pure and Applied Math., Vol. 41, No. 7, pp. 909-996, 1988.
- [7] Verhelst W. and Roelands M., “An Overlap-add Technique Based on Waveform Similarity (WSOLA) For High Quality Time-Scale Modification of Speech.”, IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., ICASSP-93, Vol. 2, pp. 554-557, 1993

PWM Sayısal Analog Çeviriciler için Optimum Çözünürlük Hesabı

Optimum Resolution Calculation for PWM Digital-Analog Converters

Uğur Çini

Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Trakya Üniversitesi, Edirne
ugurcini@trakya.edu.tr

Özet

Dalga Genişlik Modülasyonu (Pulse-Width Modulation - PWM) sayısal-analog dönüştürücüler gömülü sistem tasarımında en çok kullanılan sayısal analog dönüştürücülerdendir. Mikrodenetleyicilerin hemen hepsi analog-sayısal dönüştürücülere sahiptir. Buna karşılık pek azı sayısal-analog çevirici içerir. Bunun önemli bir nedeni mikrodenetleyicilerin önemli bir kısmının PWM modüllerine sahip olmasıdır. PWM ve çıkış filtresi kullanılarak genel amaçlı sayısal-analog dönüştürücülerin gerçekleştirilmesi mümkündür. Ancak PWM ile gerçekleştirilen sayısal-analog çeviricilerin gerçek çözünürlüğü genellikle hesaplanmamakta ve PWM sayısal-analog dönüştürücü başarısı uygulamada ölçümlerle gerçekleştirilmektedir. PWM sayısal-analog çevirici çözünürlüğü sistemin maksimum anahtarlama frekansı ile sınırlıdır. Bu çalışmada istenen analog band sınırları içerisinde elde edilebilecek maksimum sayısal-analog çevirici çözünürlüğü bir formülizasyon ile verilmiştir. Bu şekilde optimum sayısal-analog çevirici performansı kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Abstract

Pulse-Width Modulated digital-analog converters are extensively used in the embedded systems. Most of the microcontrollers have embedded analog-digital converters. However, very few of them contain digital-analog converters. The reason is that, most of the microcontrollers have pulse width modulation modules. General purpose digital-analog converters can be built using PWM modules together with output filters. However, exact resolution of a PWM digital-analog converter is generally not known and it is estimated by measurements. The PWM digital-analog converter resolution is limited by the maximum system frequency. In this work, maximum PWM digital-analog converter resolution is calculated for desired analog signal band. By using the given formulizations optimum digital-analog converter performance is easily achieved.

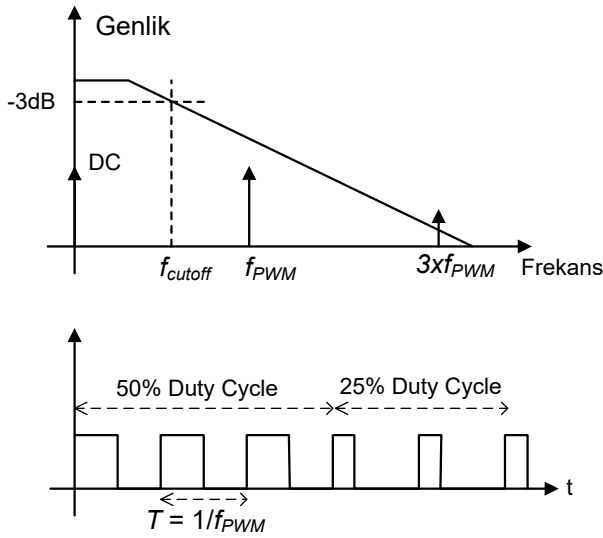
1. Giriş

Dalga genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation-PWM) tabanlı sayısal-analog çeviriciler özellikle gömülü sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. PWM sayısal-analog çeviricilerin

gerçeklenmesi için temelde PWM üretici ve çıkışa basit RC filtre konulması yeterlidir. PWM sayısal-analog çevirici prensibi ilk olarak A. H. Reeves tarafından önerilmiştir [1]. PWM sayısal-analog çeviriciler kolay gerçekleştirilebilirliği nedeniyle genellikle tercih edilmektedir [2-4]. Ancak genel olarak PWM sayısal-analog çeviricinin etkin çözünürlüğü tam bilinmemekte ve yoğunlukla sinyal çıkışının ölçüm cihazları ile ölçümü ile fikir sahibi olunmaktadır [3]. PWM sayısal-analog çeviricisinin çözünürlüğünü sınırlandıran temel etmek filtrelendikten sonra elde edilen analog sinyal üzerindeki anahtarlama gürültüsü (switching noise)'dür. Genel amaçlı kullanımlarda özellikle gömülü sistem tasarımında PWM sayısal-analog çeviriciler popüler olsa dahi, yüksek çözünürlük gerektiren uygulamalarda farklı çözümler tercih edilmektedir. Buna karşılık bir kısım mikro-denetleyiciler yüksek çözünürlükte çalışan PWM üreticilerini içlerinde barındırmakta olup daha geniş alanda PWM sayısal-analog çevirici gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadırlar.

PWM anahtarlama frekansı ve PWM çözünürlüğü, PWM sayısal -analog çeviricilerde etkin bit çözünürlüğü (Effective Number of Bits - ENOB) hesabında kritik parametrelerdir. Bir sistemde genel olarak elde edilebilecek maksimum saat frekansı belirli bir değerdir. Uygulanacak PWM frekansı saat frekansının belli 2^N 'e bölünmüş oranı olarak ifade edilebilir. Burada N değeri PWM frekansının çözünürlüğünü ifade eder. Eğer N değeri çok yüksek olursa PWM frekansı düşük olacak ve istenen analog frekans bandında çalışma zorlaşacaktır. N değeri düşürüldükçe PWM frekansı artacak, ancak çözünürlük azalacaktır. Burada istenen analog sinyalin kesim frekansı (f_{cutoff}) önemlidir. Eğer PWM anahtarlama frekansı analog sinyal kesim frekansına yakın ise bu durumda PWM anahtarlama gürültüsü tam süzilemeyecek ve etkin PWM çözünürlüğü (ENOB) azalacaktır.

Yukarıda bahsedildiği üzere analog sinyal bandı, anahtarlama frekansı ve gürültüsü ve PWM çözünürlüğü değerlerinin herbirinin optimize edilmesi PWM kaynağının en etkin kullanımını sağlayacaktır. Bilindiği kadarıyla problem karmaşık olmamakla beraber literatürde tam bir formülizasyon bulunmamaktadır. Bu çalışmada, PWM analog çeviriciler için kolay hesaplama yapılabilecek 2. dereceden bir filtre önerilmiş olup, bu filtre kullanılarak istenen analog frekans bandında optimum tasarım ile maksimum bit çözünürlüğünü verecek ifade formülize edilmiştir. Ayrıca, alternatif uygulamalar için



Şekil 1: Frekans ve zaman düzleminde PWM.

farklı filtre topolojileri için de formülizasyon verilmiş olup PWM sayısal analog-dönüştürücü kullanacak olan gömülü sistem tasarımcıları ve genel olarak PWM dönüştürücü kullanacak tasarımcılar için kolay fakat etkin tasarım önerileri sunulmaktadır. Çalışmada öncelikle PWM sinyalleri ve anahtarlama gürültüsü 1. derece RC filtreler için incelenmiştir. Sonrasında 2. derece RC filtre için optimum çözünürlük hesabı verilmiştir. Bu çalışma ile PWM sayısal-analog çevirici konfigüre eden tasarımcılar için objektif tasarım kriterleri sunulmuştur.

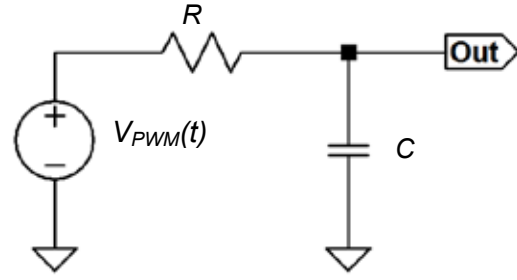
2. PWM Sayısal-Analog Çevirici

PWM sayısal-analog çevirici uygulamaları özellikle düşük bütçeli gömülü sistem uygulamalarında tercih edilmektedir [3]. Bunun nedeni, neredeyse bütün mikrodenetleyicilerin PWM ünitelerine sahip olması ve buna karşılık neredeyse hiçbirinin ayrı bir sayısal-analog çevirici modülüne sahip olmamasıdır. PWM ile çıkışa basit RC filtre yapıları uygulanarak temel analog çıkış ihtiyacı çoğu zaman karşılanabilmektedir. PWM sayısal-analog çeviricinin çözünürlüğünün düşük ya da yüksek olarak ifade edilmesi doğru değildir. Çözünürlük istenen analog kesim frekansı ile ters orantılıdır. Yani, istenen analog çıkış frekans bandı genişledikçe analog çıkış çözünürlüğünden feragat etmek gerekecektir. Bu, bir sonraki bölümde formülize edilecektir.

PWM sayısal-analog çeviricide analog sinyal PWM'in duty-cycle denilen çalışma döngüsü ile elde edilmektedir.

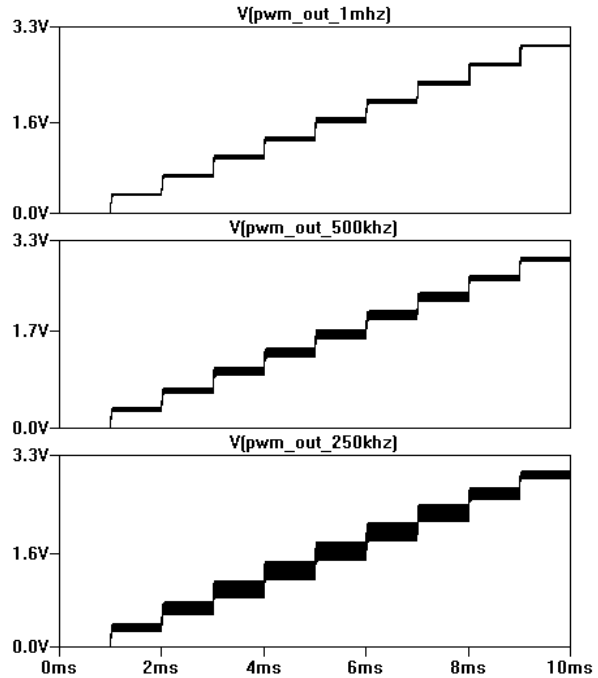
$$s(t) = \text{Duty}(t) \quad (1)$$

Burada elde edilmek istenen analog sinyale $s(t)$ ile, PWM ünitesinin duty-cycle değeri $\text{Duty}(t)$ şeklinde ifade edilmektedir.

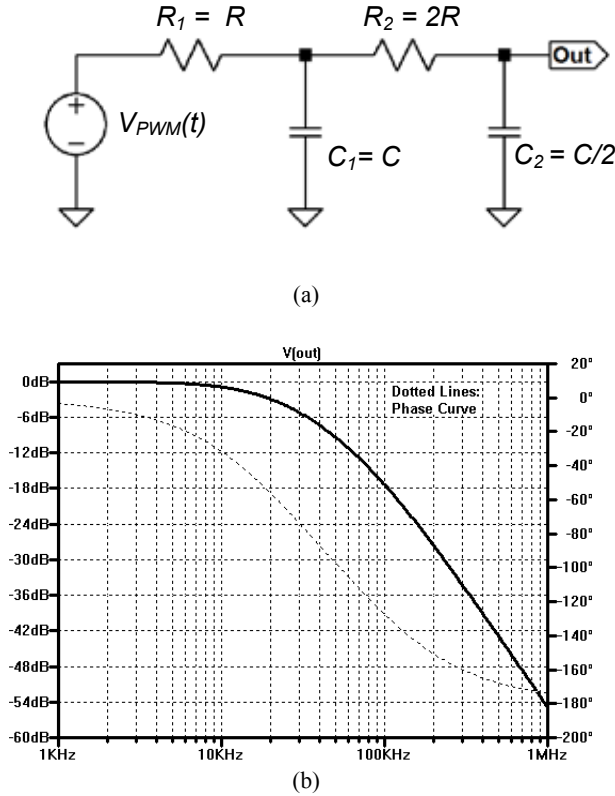


Şekil 2: Temel PWM Analog sayısal çevirici.

Örneğin sinyal normalize değeri çıkışta 0.5V olacak ise duty-cycle %50, sinyal değeri 0.25 olacak ise duty-cycle %25 olacak şekilde dinamik olarak değiştirilmelidir. Şekil 1'de frekans düzleminde ve zaman düzleminde PWM işareti gösterilmektedir. Frekans düzleminde görüldüğü gibi PWM anahtarlama frekansı anahtarlama frekansından çok çok büyük olmalıdır. Bu şekilde anahtarlama gürültüsü süzülmediğinde istenen analog sinyal elde edilmektedir. Burada, PWM işareti bir kare dalga olduğu üzere, filtrelenmek istenen ana sinyal PWM'in temel anahtarlama frekansı olup diğer kare dalga harmoniklerinin ihmal edilebileceği düşünülebilir. Şekil 1'de de görüldüğü üzere, analog filtrenin iyi tasarlanması gürültü ayıklanmasında fayda sağlayacaktır, ancak yüksek dereceli filtreler tasarım maliyetini artırdığı için genellikle ihtiyaca göre 1. derece ve 2. derece filtre polinomları uygulamada tercih edilmektedir. Şekil 2'de birinci dereceden temel RC filtre PWM modülatörü çıkışına bağlanmıştır. Şekil 2'deki RC filtrenin farklı PWM frekansları sonucunda (250 kHz, 500 kHz, 1 MHz) elde edilen analog merdiven şekli görülmektedir.



Şekil 3: Farklı PWM frekansları ile analog işaret üretimi.



Şekil 4: İkinci derece RC filtre ve frekans cevabı.

Şekillerde PWM duty-cycle 10 farklı adıma bölünerek analog sinyal üretilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere yüksek anahtarlama frekanslarında RC filtre kesim frekansından çok ileride anahtarlama gürültüsü olması nedeniyle anahtarlama gürültüsü çok daha iyi temizlenmiştir.

Şekil 2’de PWM sayısal-analog çevirici PWM modülatörü çıkışına 1. Derece RC filtre bağlanarak sağlanmıştır. Burada, çıkış sinyali ile PWM çıkışı arasındaki bağıntı:

$$\frac{V_{out}(j\omega)}{V_{PWM}(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, istenen analog işaretin kesim frekansı:

$$f_{cutoff} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} \text{ (rad/s)} \quad (3)$$

olacaktır. Yukarıda da ifade edildiği gibi $f_{PWM} \gg f_{cutoff}$ olmalıdır. Çok düşük frekanslarda referans voltajı gereksinimlerinde uygulamada PWM frekansı deneme yanılma ile seçilmektedir. Ancak analog sinyal çözünürlüğü ve anahtarlama gürültüsünün buna bağlı olarak uygun şekilde filtrelenebilmesi için optimum hesaplamaların yapılması faydalı olacaktır. Bunun yanında, daha iyi filtreleme için 2. derece filtreleme daha etkin olacaktır. Bir sonraki bölümde 2. derece bir RC filtre kullanılarak optimum PWM frekansı hesabı ve elde edilebilecek maksimum çözünürlük formülize edilecektir.

3. Optimum Frekans Hesabı

Pek çok uygulamada 1. derece RC filtre anahtarlama gürültüsünün filtrelenebilmesi için yeterli olmamaktadır. Genellikle uygulamalarda 2. derece filtreler kullanılmakta olup yüksek çözünürlük gerektiren sayısal-analog çevirici ihtiyaçlarında farklı yapılar tercih edilmektedir [4]. Bu bölümde 2. derece bir RC filtre ile optimum PWM frekansı ve filtre hesaplaması yapılacak, sonrasında diğer filtreler için de optimum frekans hesaplamaları verilecektir.

Şekil 4.’te 2. dereceden bir RC filtre gösterilmiştir. Burada kolay tasarım açısından $R_1 = R$, $R_2 = 2R$, $C_1 = C$, $C_2 = C/2$ olarak verilmiştir. İkinci katın R değerleri birinci katı yüklememesi açısından değerler bu şekilde seçilmiş olup tasarım kolaylığı hedeflenmiştir. Ancak farklı değerler seçilerek farklı filtre fonksiyonları her zaman mümkündür. Şekil 4’teki devre için önerilen değerler kullanılması halinde analog kesim frekansı SPICE simülasyonu yardımı ile:

$$f_{cutoff} \approx \frac{0.075}{RC} \text{ (Hertz)} \quad (4)$$

empirik olarak bulunabilir (matematiksel hesabı mümkündür ancak simülasyon ile daha kolay sonuca ulaşılabilir). Bu ifade Şekil 4’teki değerler $R_1 = R$, $R_2 = 2R$, $C_1 = C$, $C_2 = C/2$ seçilmelidir. Kesim frekansının matematiksel hesabı her zaman yapılabilir. Ancak (3) ile verilen eşitlik kullanılarak hızlı devre tasarımı kolaylaşacaktır. İstenen analog sinyalin kesim frekansı uygun RC elemanları ile belirlendikten sonra, elde edilebilecek maksimum PWM çözünürlüğü hesaplanabilir. Bunun için Şekil 4’teki devrenin frekans cevabı kullanılmalıdır:

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{PWM}(s)} = \frac{1}{(RC)^2 s^2 + \frac{5}{2} RCs + 1} \quad (5)$$

Analog sinyal kesim frekansı (4)’teki formül ile bulunduğundan sonraki amaç, PWM ile oluşan anahtarlama gürültüsünün yine Şekil 4’teki devre ile filtrelenebilmesidir. Yüksek frekanslarda yani PWM frekansının süzülmesinde, (5)’teki filtre fonksiyonunun 2. derece polinom katsayıları etkin olacaktır. Buna göre, anahtarlama gürültüsü:

$$|V_{noise}(j\omega)| \approx \frac{1}{(2\pi \cdot f_{PWM} RC)^2} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca, sistemdeki saat frekansı (sistemi süren maksimum frekans) f_{clk} olarak ifade edilirse,

$$\frac{f_{clk}}{f_{PWM}} = 2^n \quad (7)$$

olacaktır. Buna göre, PWM anahtarlama frekansı ne kadar düşük seçilirse, PWM çözünürlüğü o kadar yüksek olacaktır. Ancak, PWM frekansı ne kadar düşerse PWM gürültüsü de o kadar az filtrelenecektir. Yani burada bir optimizasyon gereklidir. (7) kullanılarak 1V ile normalize olarak en düşük üretilen analog sinyal genliği:

$$V_{LSB} = \frac{1}{2^n} = \frac{f_{PWM}}{f_{clk}} \quad (8)$$

olacaktır. Buna göre, PWM anahtarlama gürültüsü, V_{LSB} 'den daha küçük olmalıdır. PWM gürültüsünün LSB'den ne kadar küçük olacağı da *Ripple* ifadesi ile verilebilir. Buna göre, (6)'ya *Ripple* katsayısı eklenerek ve (8) kullanılarak şu ifade elde edilir:

$$\frac{1}{(2\pi \cdot f_{PWM} RC)^2} < \frac{f_{PWM}}{f_{clk}} (Ripple) \quad (9)$$

Burada, *Ripple* 0 ile 1 arasında bir katsayı olup genellikle 0.5 alınması uygun olacaktır. Ancak gürültü oranının az olması istenen analog çıkışlarda 0.1 gibi daha küçük değerler de verilebilir. Bu, tasarımcının tercihinine bağlıdır.

(9)'daki formüle (4)'teki $RC = 0.075 \cdot f_{cutoff}$ değeri yerleştirildiğinde,

$$(2\pi \cdot \frac{0.075}{f_{cutoff}} f_{PWM})^2 > \frac{f_{clk}}{f_{PWM} \cdot (Ripple)},$$

Terimler uygun şekilde gruplandırıldığında,

$$f_{PWM} \geq \sqrt[3]{\frac{f_{clk} (f_{cutoff})^2}{0.222 \cdot (Ripple)}} \quad (10)$$

Elde edilecektir. Buna göre, Optimum çözünürlüğü elde etmek için PWM frekansının (9)'daki gibi hesaplanması gerekmektedir. Daha düşük PWM frekanslarında PWM gürültüsü baskın olacağı için istenen çözünürlük elde edilememektedir. (10) kullanılarak uygulanabilecek PWM frekansı kestirimi yapıldıktan sonra, elde edilecek maksimum çözünürlük:

$$n = \left\lceil \log_2 \frac{f_{clk}}{f_{PWM}} \right\rceil \quad (11)$$

şeklinde bulunur. Ancak, uygulanabilecek PWM frekansı genellikle sistem frekansının 2'nin katları şeklinde bölümünden ibaret olabileceği için, optimum PWM frekansı (10) ve (11) kullanılarak şu şekilde bulunur:

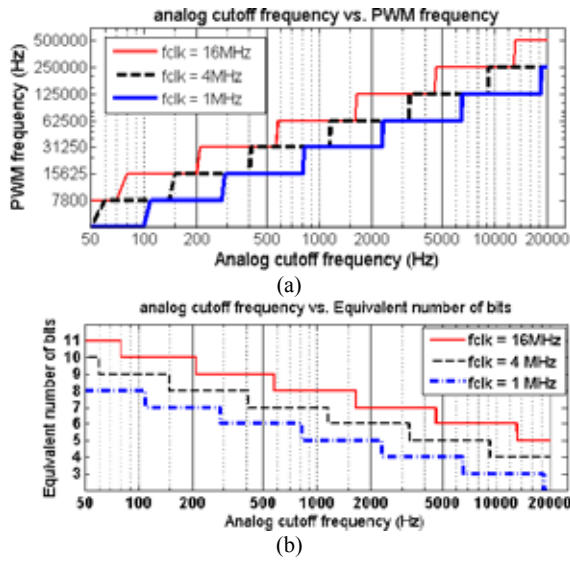
$$f_{PWM_Opt} = \frac{f_{clk}}{2^n} \quad (12)$$

Benzer hesaplamalar farklı filtre türleri için de gerçekleştirilebilir. Farklı filtre uygulamaları için istenen analog band için elde edilebilecek maksimum çözünürlük ve optimum PWM frekansları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki 2. dereceden RC filtre için Şekil 4(a)'daki direnç ve kapasite oranları kullanılmaktadır.

Örnek olarak, 20 kHz'de çalışabilecek bir sayısal analog çevirici tasarlayalım. Sistem frekansının (örneğin mikrodenetleyici maksimum frekansı) 16 MHz olarak kabul edilsin. Burada Şekil 4'teki 2. derece RC filtre kullanılırsa, kesim frekansı (4) ile hesaplanabilir. Buna göre $C = 2nF$ seçilirse, $C_1 = C = 2nF$, $C_2 = C/2 = 1nF$ olacaktır. (4) kullanılarak, $R \approx 1.8k$ ve alınır, $R_1 = R = 1.8k$, $R_2 = 2R = 3.6k$ alınabilir. (10) kullanılarak *Ripple* = 0.5 alındığında, $f_{PWM} \geq 386$ kHz hesaplanabilir. Buna göre (11) ile elde edilebilecek maksimum sayısal analog çevirici çözünürlüğü $n = 6$ -bit olarak hesaplanacaktır. Bu durumda uygulanabilecek optimum PWM frekansı (12) kullanılarak 500kHz olarak bulunacaktır. Elde edilen optimum çözünürlük 6-bit olarak bulunmuştur. Bu çözünürlük değeri yeterli olarak görülmez ise, analog sinyal bandı azaltılabilir, ve tekrar hesaplama yapılabilir. Alternatif olarak, daha yüksek sistem frekansı seçilebilir, ancak bu, kullanılacak mikrodenetleyicinin spesifikasyonları ile sınırlıdır. Şekil 5'te çeşitli sistem frekansları için uygulanabilecek optimum PWM anahtarlama frekansları ve buna bağlı olarak istenen analog sinyal bandı için elde

Çizelge 1: Optimum PWM frekans hesabı

	Filtre Tipi			
	1. derece RC	2. derece RC	2. derece Butterworth	4. derece Butterworth
$f_{PWM} \geq$	$\sqrt[2]{\frac{f_{clk} f_{cutoff}}{0.64 \cdot (Ripple)}}$	$\sqrt[3]{\frac{f_{clk} (f_{cutoff})^2}{0.222 \cdot (Ripple)}}$	$\sqrt[3]{\frac{f_{clk} (f_{cutoff})^2}{0.81 \cdot (Ripple)}}$	$\sqrt[5]{\frac{f_{clk} (f_{cutoff})^4}{0.781 \cdot (Ripple)}}$
$n = \left\lceil \log_2 \frac{f_{clk}}{f_{PWM}} \right\rceil$ (n: sayısal-analog dönüştürücü etkin çözünürlüğü)				
$f_{PWM_Opt} = \frac{f_{clk}}{2^n}$ (f_{PWM_Opt} : optimum PWM frekansı)				



Şekil 5: (a) İstenen analog sinyal bandları için optimum PWM anahtarlama frekansları, (b) Sistem frekansına göre maksimum PWM sayısal-analog çevirici çözünürlük değerleri.

edilebilecek maksimum sayısal-analog çevirici çözünürlükleri verilmiştir. Farklı sistem frekansları için Çizelge 1'deki değerler kullanılarak maksimum çözünürlük değerleri yeniden hesaplanabilir. Bu şekilde klasik uygulamalarda osiloskop ile gürültü değerlerinin ölçülmesi ile deneme-yanılma şeklinde PWM dönüştürücü yerine kolaylıkla optimum çözünürlük hesabı verilmektedir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu çalışmada öncelikle bilinen PWM sayısal-analog çevirici özellikleri özet şeklinde tekrar anlatılmıştır. Sonrasında ise özellikle gömülü sistem tasarımcılarına tasarım desteği sağlamak üzere 2. dereceden RC filtre üzerinden maksimum sayısal-analog çevirici çözünürlüğünü verecek formülizasyon verilmiştir. Ayrıca, 1. derece RC, 2. derece RC, 2. ve 4. derece Butterworth filtreler için de optimum PWM frekansı hesabı ve elde edilecek maksimum dönüştürücü çözünürlüğü bir tablo ile verilmiştir. Ayrıca seçilen analog sinyal bandı için örnek bir tasarım da verilmiştir. Çalışmanın hem genel konu anlatımı hem de objektif olarak en iyi çözünürlüğü sağlayan PWM sayısal-analog çevirici tasarımında uygulama mühendislerine faydalı olacağı umulmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Analog Devices, Data Conversion Handbook, Newness, 2004.
- [2] B. Nisarga, "PWM DAC Using MSP430 High-Resolution Timer", *Texas Instruments Application Report*, SLAA497, 2011.
- [3] Alter, D. M., "Using PWM Output as a Digital-to-Analog Converter on a TMS320F280x Digital Signal Controller", *Texas Instruments Application Report*, SPRAA88A 2008.
- [4] Halper, C., Heiss, M., Brasseur, G., "Digital-to-Analog Conversion by Pulse-Count Modulation Methods", *IEEE Trans. on Inst. Meas.* Vol.45, No.4, 1995.

FARKLI TİP YAPI MALZEMELERİNİN ELEKTROMANYETİK EKRAN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ÇAKIR¹, N. Uğur KOÇKAL², Şükrü ÖZEN¹, Selçuk HELHEL¹

¹ Akdeniz Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Bulvarı Konyaaltı Antalya

² Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar, Bulvarı Konyaaltı Antalya
mehmetcakir@akdenizedu.tr, nukockal@akdeniz.edu.tr, sukruozen@akdeniz.edu.tr, selcukhelhel@akdeniz.edu.tr

Özet

Günümüzde teknolojinin gelişimine paralel olarak özellikle elektronik-haberleşme alanında, elektromanyetik (EM) dalgaların kullanımı gün geçtikçe artmakta ve bunun sonucunda EM alanların cihaz ve canlılar üzerindeki etkileri ve bunların kontrolüne dönük araştırmalar hız kazanmaktadır. Bu araştırmaların bir kısmı tıbbi alanda deneysel ve epidemiyolojik olarak sürdürülmekte olup, bir kısmı da mühendislik alanında, güvenli teknolojilerin geliştirilmesi ve EM alanlara karşı etkin korunma metodlarının uygulanmasını kapsamaktadır. EM dalgalara karşı korunma ve kontrolde ekranlama temel yöntemlerden birisi olup, elektromanyetik dalganın bir bölgede sınırlandırılması veya bir bölgeye girişinin kontrol altına alınması olarak tanımlanabilir. Son yıllarda bu amaçla, ekranlama uygulamalarına dönük araştırmaların artmakta olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, yapı malzemelerinin ekranlama özellikleri araştırılmış olup, 4.9-7.05GHz frekans aralığında farklı malzeme tiplerinin ekranlama karakteristikleri incelenmiştir. Deneysel olarak, hazırlanana malzeme numunelerinin, ilgili frekans aralığında, Netork Analizör ile S11 ve S21 parametreleri ölçülerek malzemenin elektriksel özellikleri ile yansıtma, yutma gibi ekran parametreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, örneğin %40 demir tozu içeren malzeme ile yaklaşık 40dB seviyesinde elektromanyetik ekranlama etkinliği elde edilmiştir.

Giriş

Son yıllarda bilim ve teknolojiye bağlı gelişmelere bağlı olarak, kişisel endüstriyel ve ticari amaçlı, televizyon, radyo vericileri, bilgisayar, cep telefonu ve baz istasyonları, mikro dalga fırınlar, yüksek gerilim hatları, endüstriyel ve tıbbi tanı için kullanılan cihazlar vb. elektromanyetik dalga ve alan oluşturduğu bilinen sistemlerin, çevre ve insan sağlığı açısından bazı risklere yol açtığı bilinmektedir. Kablosuz ev telefonları, kablosuz internet ve cep telefonu kullanımı tüm dünyada hızla artmaktadır. Ayrıca endüstri, tıp ve telekomünikasyonda kullanılan uygulamalar aracılığıyla radyo frekanslı elektromanyetik alan seviyeleri de artmaktadır. Özellikler cep telefonu, kablosuz internet gibi iletişim araçlarının hayatımızda

büyük bir yer edinmesiyle EM dalgaların insanlar üzerindeki biyolojik etkileri tartışılmaya başlanmıştır. Kişisel haberleşmede kullanılan bu cihazlar çalışırken özellikle kullanıcının kafasına çok yakın mesafede tutulmaktadır. Bu kullanım nedeniyle, insanlar cihazlardan kaynaklı manyetik alan yoğunlukları nedeni ile bazı durumlarda zararlı seviyede EM alana maruz kalmaktadır (1, 2). Literatürde cep telefonlarının yaydığı EM alanın beyin tümörüne yol açtığı iddia edilmesi ile birlikte bu konu bir anda ilgi odağı haline gelmiş, birçok epidemiyolojik ve deneysel çalışmaya konu olmuştur (3, 4, 5, 6).

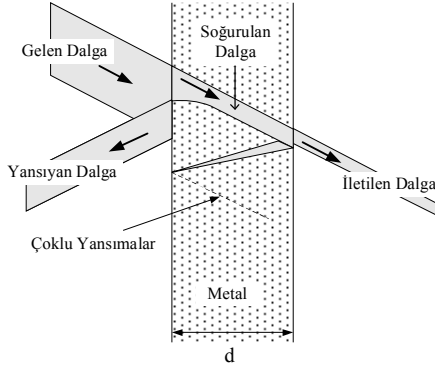
Elektromanyetik dalgaların kontrollü kullanımı konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmakta olup, özellikle EM kalkanlama esasına dayalı tekstil ve inşaat malzemeleri alanında yeni araştırmalar yürütülmektedir. Bu çalışmada, yapı malzemelerinin ekranlama özellikleri araştırılmış olup, 4.9-7.05GHz frekans aralığında farklı malzeme tiplerinin ekranlama karakteristikleri incelenmiştir.

Elektromanyetik Ekranlama

Bir aygıt, donanım veya sistemin, bulunduğu elektromanyetik çevre içinde, bu çevreyi veya diğer donanımları rahatsız edecek düzeylerde elektromanyetik gürültü oluşturmaktan ve ortamdaki diğer sistemlerin oluşturduğu girişimden etkilenmeden, kendisinden beklenen işlevlerini yerine getirme yeteneği, Elektromanyetik uyumluluk (EMU) olarak tanımlanmaktadır [7].

Elektromanyetik enerjinin tanımlanmış bir bölgeye girişini tamamen veya kısmen engellemek ya da tanımlanmış bir kaynak bölgesi sınırları içerisinde kontrol altında tutmak amacıyla yapılan işlem ekranlama adını alır. Ekranlama, elektromanyetik girişim problemlerinin önlenmesinde başvuru alan temel yöntemlerden birisidir. Ekranlama malzemesi olarak genellikle mükemmel iletken malzeme kullanılır. Ekranaya gelen EM dalgalar üç temel aşamada

zayıflar. İlk olarak, gelen EM dalganın bir kısmı hava ekran sınırında yansır, daha sonra bir kısmı ekran içerisinde yutulur, ve ayrıca ekran içerisinde çoklu yansımalara uğrar. Bu üç temel yaklaşım Şekil.1 de görülmektedir.



Şekil.1 Metal ekran modeli[7].

Bir kalkanlama malzemesinin ekranlama etkinliği frekansa, ekranın geometrisine, ekran içinde ölçüm yapılan konuma, zayıflamanın olduğu alan tipine, gelen alanın yönüne ve polarizasyonuna bağlıdır. Ekranlama Etkinliği, (SE, Shielding Effectiveness), kaynak ile elektronik sistem arasında ekran yokken var olan alan şiddetinin, ekran varken oluşan alan şiddetine (dB olarak) oranı olarak ifade edilir. SE ne kadar yüksek olursa ekranlamanın da o kadar iyi olduğu söylenir. Düzlemsel ekranın elektrik alan ekranlama etkinliği (SE_E) ve manyetik alan ekranlama etkinliği (SE_M) aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$SE_E = 20 \log_{10} \left| \frac{\hat{E}^{inc}}{\hat{E}^{tran}} \right|, (dB) \quad (1)$$

$$SE_M = 20 \log_{10} \left| \frac{\hat{H}^{inc}}{\hat{H}^{tran}} \right|, (dB) \quad (2)$$

Burada **E** ve **H**, elektrik ve manyetik alan şiddetlerini; *inc* gelen dalgayı, *tran* ise iletilen dalgayı ifade etmektedir. **E** (V/m) ile **H** ise (A/m) ile ifade edilir. Ekranlamada, elektromanyetik dalganın zayıflatılması gelen dalganın hava/iletken yüzeyiyle ve ekran iletken ortamıyla girdiği etkileşimle ilgili olarak üç aşamadan gerçekleşir. Bunlar; Yansımaya Kayıpları (R_{dB}), Soğrulma Kayıpları (A_{dB}) ve Çoklu Yansımalarıdır (M_{dB})[8].

Ekranlamanın öncelikli aşaması yansımadır. Ekranlama ile dalganın yansımaları için, ekranın birbirini etkileyen taşıyıcı yüklere (elektron ve delikler) sahip olması gerekir. Sonuç olarak ekranın elektriksel iletkenliğinin olması gerekir. Genelde üzerlerinde bulunan serbest elektronlar dolayısıyla yansımaya sebep

olduklarından, en sık kullanılan ekranlama materyalleri metallerdir[9,10,11,12].

Soğurma kaybı ekranın kalınlığına bağlı olarak değişir. Ekran kalınlığı, bir frekans fonksiyonu olan, deri kalınlığına da bağlı olarak dalganın ekran içerisinde ne kadar zayıfladığını belirler. Yüksek frekanslarda elektromanyetik ışınlar sadece iletken maddenin yakın yüzey bölgesini deler. Yansıma ve soğrulmanın dışında diğer bir ekranlama mekanizması çoklu yansılardır. Çoklu yansımalar, ekran içerisinde çeşitli yüzey veya yüzeylerden oluşur. Bu mekanizma ekran içerisinde geniş bir yüzey alan veya ara yüzey alanının varlığına ihtiyaç duyar. Ekranlama etkinliği **dB** olarak ifade edilir ve eşitlik (3) ile tanımlanır.

$$S_E = 20 \log \left(\frac{E_t}{E_i} \right) = 20 \log \left(\frac{H_t}{H_i} \right) \quad [dB] \quad (3)$$

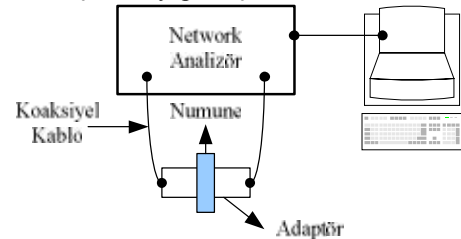
Şekil.1 dikkate alınır, S_R =Yansıma kaybı [dB], S_A =Soğurulma kaybı [dB] ve S_{MR} =Malzeme içerisindeki tekrarlı yansıma kaybı olmak üzere ekranlama etkinliği bu üç kaybın toplamı olarak yazılır.

$$S_E = S_R + S_A + S_{MR} \quad (4)$$

Çoklu yansıma değeri (S_{MR}), yutma değeri (S_A) eğer 10dB den yüksek olduğunda ihmal edilebilir.

Materyal ve Yöntem

EM dalga kalkanlama karakteristiği test edilen yapı malzeme numuneleri Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzeme Laboratuvarında hazırlanmıştır. Malzeme içerisine farklı oranlarda demir tozu karıştırılarak hazırlanan numuneler için dielektrik parametre ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) yapılmıştır. Frekans aralığı 10MHz ile 9 GHz olan Anritsu MS4624B markalı network analizör, 2 adet WR159 adaptör ve koaksiyel kablo kullanılmıştır. Adaptör ölçülerine uygun numune tutucu tasarlanmıştır. Şekil-2'de görülen iletim yansıma metodunda ölçümler yapılmıştır.



Şekil.2 Yapı malzemesi kalkanlama etkinliği ölçüm düzeneği

Ölçümler F-Bandında (4.9GHz - 7.05GHz) aralığında yapılmıştır. Hazırlanan numuneler numune tutucuyu tam dolduracak şekilde 0.386 x 20.193 mm. ölçülerinde ve 7.6 mm. kalınlığındadır. Dalga kılavuzlarının diğer

uçları network analizöre geniş bantlı koaksiyel kablo ile bağlanmıştır. Ölçümler 4.9GHz - 7.05GHz frekans aralığında 201 nokta aralıklı yapılmıştır. Elde edilen S_{11} ve S_{21} iletim ve yansıma katsayılarından toplam ekranlama değerleri hesaplanmıştır. Test edilen malzemenin geçirgenliği T ve yansıtma parametresi R olmak üzere, malzemeye ait etkin etkinliğinin hesabında aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır.

$$T = S_{12}^2 = S_{21}^2 \quad (5)$$

$$R = S_{11}^2 = S_{22}^2 \quad (6)$$

$$A_{eff} = [(1 - R - T)/(1 - R)] \quad (7)$$

$$S_R = 10 \log(1 - R) \quad (8)$$

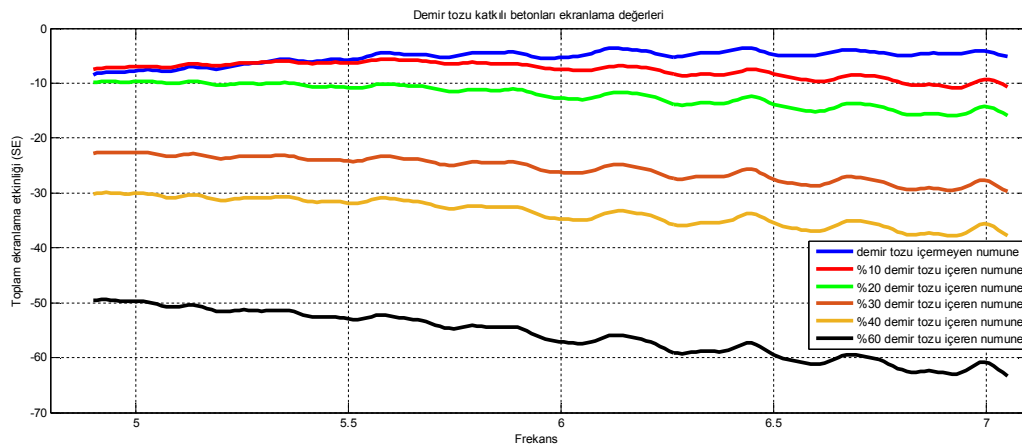
$$S_A = 10 \log\left(\frac{T}{1 - R}\right) \quad (9)$$

Birinci numune herhangi bir metal içermemekte ve referans ekranlama numunesi olarak kullanılmıştır.

Diğer numuneler sırasıyla %10, %20, %30, %40 ve %60 atık demir tozu içermektedir. Şekil-2 de numunelerin frekansa bağlı toplam ekranlama değerleri görülmektedir. Tablo-1 de 4.9, 5.5, 6.0, 6.5 ve 7.05 frekans noktalarındaki toplam ekranlama değerleri verilmiştir. Numune no-1 herhangi bir metal içermeyen numune, no-2 %10 demir tozu içeren numune, no-3 %20 demir tozu içeren numune, no-4 %30 demir tozu içeren numune, no-5 %40 demir tozu içeren numune ve numune no-6 %60 demir tozu içeren numune temsil etmektedir. Farklı demir tozu içeren yapı malzemelerinin frekansa göre toplam ekranlama etkinliğinin değişimi Şekil.3 de verilmiştir.

Tablo-1: 4.9-7.05 GHz aralığında toplam ekranlama değerleri

Numune no	4.9 GHz	5.5 GHz	6.0 GHz	6.5 GHz	7.05 GHz
1	-7.52dB	-6.31 dB	-7.47 dB	-8.31 dB	-10.62 dB
2	-9.9 dB	-10.8 dB	-12.71 dB	-13.8 dB	-15.87 dB
3	-22.8dB	-24.2 dB	-26.24 dB	-27.5dB	-29.77 dB
4	-30.2 dB	-31.8 dB	-34.67 dB	-35.5 dB	-37.78 dB
5	-49.6 dB	-53 dB	-57.05 dB	-59.5 dB	-63.37 dB



Şekil-3 Farklı demir tozu içeren yapı malzemelerinin frekansa göre toplam ekranlama etkinliği

Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada elektrik iletkenliği yüksek olan atık demir tozu kullanılarak imal edilen inşaat yapı malzemesi numunelerinin elektromanyetik dalga

kalkanlama davranışlarının nasıl değiştiği analiz edilmiştir. Atık demir tozları ile inşaat yapı malzemelerinin yutma özelliği güçlendirilmiş ve toplam ekranlama değerinin (SE) arttığı gözlenmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi metal katkısız beton 7

GHz de 5 dB'lik bir ekranlama sağlarken, %10 demir katkısıyla bu oran 10db'ye çıkmaktadır. %20 demir eklentisiyle 7 GHz de 15 db ekranlama sağlamaktadır. %30 demir eklentisiyle 7 GHz de 29 db'ye kadar ekranlama sağlamaktadır. Bu ekranlama değeri 7 GHz de %40 demir tozu eklentisi için 37 dB ve %60 demir tozu eklentisi için 63 dB'ye kadar çıktığı görülmüştür. Elektromanyetik dalgaların binalara girişi veya bina dışına çıkışlarının kontrolü için yapı malzemelerinin geliştirilebileceği ve bilgi güvenliği, elektromanyetik maruziyet kontrolü gibi alanlarda amaca uygun kullanım alanlarının olduğu, bu alandaki çalışmaların, ekranlama optimizasyonu ve yapı malzemelerinin katkılanmaya bağlı karakteristiklerinin araştırılması ileri çalışmalar olarak değerlendirilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince Desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Warren HG, Prevatt AA, Daly KA, Antonelli PJ. Cellular Telephone Use and Risk of Intratemporal Facial Nerve Tumor. *Laryngoscope*. 2003;113(4):663-7
- [2] Davidson HC, Lutman ME. Survey of Mobile Phone Use and Their Chronic Effects on the Hearing of a Student Population. *International Journal of Audiology*. 2007; 46:113-118.
- [3] Sukru Ozen, "Low-Frequency Transient Electric and Magnetic Fields Coupling to Child Body", *Radiation Protection Dosimetry*, (10.1093/rpd/ncm315), 128(1):62-7, 2008
- [4] Lahkola A, Auvinen A, Raitanen J, Schoemaker MJ, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klæboe L, Lönn S, Swerlow AJ, Tynes T, Salminen T. Mobile Phone Use and Risk of Glioma in 5 North European Countries. *International Journal of Cancer*. 2007; 120: 1769-1775
- [5] S. Özen, S.Helhel and S. Bilgin, "Temperature and Burn Injury Prediction of Human Skin Exposed to Microwaves: a Model Analysis", *Radiation and Environmental Biophysics*, 50(3):483-489 2011
- [6] Cook CM, Thomas AW, Prato FS. Human Electrophysiological and Cognitive Effects of Exposure to ELF Magnetic and ELF Modulated RF and Microwave Fields: A Review of Recent Studies. *Bioelectromagnetics*. 2002; 23:144-157
- [7] ARI, N. ve ÖZEN, Ş. 2008. Elektromanyetik Uyumluluk. Palme Yayıncılık, 224 s, Ankara.
- [8] Schulz, R.B., 1988. Shielding Theory and Practice. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 30(3), pp.187-201.
- [9] Niyazi İl, Sukru Ozen, Mehmet Çakır, and H.Feza Carlak, Shielding and Mitigations of the Magnetic Fields Generated by the Underground Power Cables, 36 th Progress in Electromagnetic Research, PRAG, CEK CUM., 5-9 Haziran 2015, vol.1, no.1, pp.10-12
- [10] Chung, D.D.L., 2000. Materials for Electromagnetic Interference Shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9(3), pp.350-354.
- [11] P.Deniz Tosun, Sukru Ozen, Selcuk Helhel, "Shielding Effectiveness of Plasma Coated Multi-layered Shields", *Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS 2013 in Stockholm, Sweden, 12-15 August, 2013*.
- [12] O.Polat, S.Çömlekçi, Ş.Özen, Ahmet Y. Tesneli, "Tek kat ekranın eşdeğer devre modeli benzetimi ile ekran verimliliğinin karşılaştırılması", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt:7, Sayı:2, Sayfa:224-228, (2003)

Optik Sensörlerin Analizi ve Uygulamaları

Analysis and Applications of Optical Sensors

U. Umur Kazancılı¹, N. Özlem Ünverdi²

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
umurkazancili@gmail.com

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
unverdi@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, optik sensörlerden fiber Bragg ızgaranın çalışma prensibi incelenmiş, OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile optik haberleşme sistemi tasarlanarak spektrum analizleri yapılmış ve fiber Bragg ızgaranın dispersiyonun dengelenmesi için kullanıldığı gösterilmiştir. Tasarlanan sistemde dispersiyonun değişimi değerlendirilmiştir.

Abstract

In this study, the working principle of a fiber Bragg grating is studied, an optical communications system is designed and its spectrum is analyzed by OptiSystem 7.0 simulation software, and it is shown that the system balances the dispersion of the fiber Bragg grating. The variation of the dispersion in the designed system is calculated.

1. Giriş

Verinin bir noktadan başka bir noktaya ışık formunda gönderilmesini sağlayan bir iletişim ortamı olan optik fiberin haberleşme alanında kullanılması ile birlikte optik haberleşme sistemleri, çağımızın en önemli haberleşme sistemleri arasında yer almıştır. Hızlı bir haberleşme elde etmek için kullanılacak olan alternatiflerine göre iletim hızı daha yüksek olmasının yanısıra maliyet açısından da diğerlerine oranla daha avantajlıdır [1].

Optik fiberin gelişmesi ile birlikte gündeme gelen optik sensörlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Optik sensörler, küçük akımlı elemanlardır ve aşırı ısı, gürültü, nem ve yüksek titreşim gibi zor şartlar için ideal olan sensörlerdir. Optik sensörler, küçük boyutları, elektromagnetik alanlardan etkilenmemeleri, yüksek duyarlılıkları, yüksek hızda ve güvenli bir şekilde bilgi aktarmaları ve zor koşullarda süreklilikleri nedeniyle birçok alanda tercih edilmektedir [2].

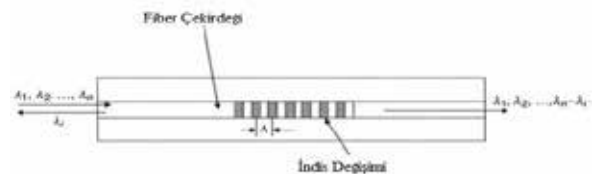
Bu çalışmada, optik sensör çeşitlerinden fiber Bragg ızgara sensörler analiz edilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, fiber

Bragg ızgara sensörlerin özellikleri, çalışma prensibi ve çeşitleri incelenmiştir. 3. Bölüm'de, dispersiyon irdelenmiş ve dispersiyonun dengelenmesinde fiber Bragg ızgaranın kullanım nedenleri açıklanmıştır. 4. Bölüm'de, fiber Bragg ızgara kullanılarak optik haberleşme sistemi tasarlanmış, haberleşme sisteminde dispersiyon dengeleme uygulamalarında dispersiyonun değişimi gözlenmiştir. 5. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Fiber Bragg ızgara Sensörler

Fiber Bragg ızgaraların çalışma prensibi, optik fiberin çekirdek bölgesinin kırılma indisinin, fiber uzunluğu boyunca periyodik ve periyodik olmayan değişimine dayanır. Kırılma indisinde meydana gelen değişim, çalışma dalga boyu, ortamın yoğunluğu ve uygulanan ışığın miktarına bağlıdır. Ayrıca kırılma indisinde oluşan çok küçük miktardaki bu değişim, optik fiberin mod yayılımını etkiler. Fiber Bragg ızgara tabanlı sensörlerin en büyük avantajı, algılanan parametrenin etkilerinin dalga boyuna etkisinin hemen görülmesidir. Buna ek olarak fiber Bragg ızgaraların, düşük yerleştirme kaybı, çok düşük polarizasyon hassasiyeti ve esnek tasarım gibi avantajları da vardır.

Şekil 1'de şematik diyagramı yer alan fiber Bragg ızgara, tıp uygulamalarında, uzay çalışmalarında, dinamik gerilme ölçen sensörler olarak, sıcaklık ve basınç sensörleri olarak, dar bir spektruma sahip dalga boyu bileşenlerine ihtiyaç duyan dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM, Wavelength Division Multiplexing) ağlarında kanal ayrıştırılması, filtreleme, lazerler ve dispersiyon dengelenmesi gibi birçok uygulama için kullanılan önemli bir optik bileşendir [3].

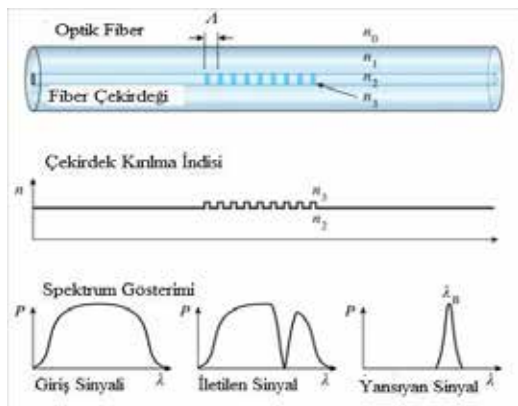


Şekil 1: Fiber Bragg ızgaranın şematik diyagramı.

Geniş bantlı bir ışık kaynağı, fiber Bragg ızgaraya uygulandığında, fiber Bragg ızgara, ışığın Bragg dalgaboyu olarak isimlendirilen belirli dalgaboyundaki dar spektral bir bölümünü yansıtır. Bragg dalgaboyu, ızgaranın boyuna ve fiberin kırılma indisine bağlıdır. Kırılma indisinde meydana gelen değişim nedeniyle dalga kılavuzuna gönderilen ışığın belirli bir kısmı her bir ızgara aralığında geri yansıtılır ve ızgara girişinde yansıyan ışıkların maksimum dalgaboyunda toplandığı Bragg dalgaboyu oluşur. Bragg dalgaboyu,

$$\lambda_b = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (1)$$

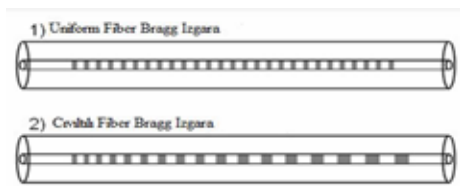
eşitliği ile belirlenir. Burada, λ_b , Bragg dalgaboyu, Λ , ızgara periyodu ve n_{eff} , optik fiberin çekirdeğinin etkin kırılma indisidir.



Şekil 2: Fiber Bragg ızgaradan iletilen ve yansıyan sinyalin gösterimi [4].

Şekil 2’de görüldüğü gibi, Bragg ızgaradan yansıyan sinyal, kırılma indisi ve saçak aralığına göre hesaplanan Bragg dalgaboyunda yansır. Kırılma indisi ya da ızgara periyodunun değişimiyle fiber Bragg ızgara yapısı değişebilir. Akıllı yapıda fiber Bragg ızgaranın periyodu, üniform ya da kademeli olabilir. Kırılma indisinin en önemli karakteristikleri, kırılma indisi profili ve dengeleme özellikleridir. Kırılma indisi profili, genellikle üniform ya da cıvıtlıdır.

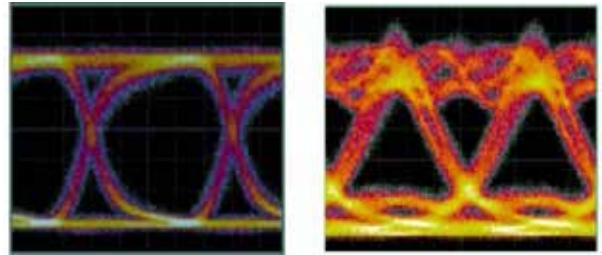
Üniform fiber Bragg ızgaralar, ızgara periyodu ve kırılma indisi değişiminin ızgara boyunca sabit olduğu ızgaralardır. Cıvıtlı fiber Bragg ızgaralar ise optik fiber uzunluğu boyunca ızgara periyodunun azalarak ya da artarak değişim gösterdiği ızgaralardır. Şekil 3’de söz konusu olan fiber Bragg ızgaralar görülmektedir.



Şekil 3: Üniform ve cıvıtlı fiber Bragg ızgara [4].

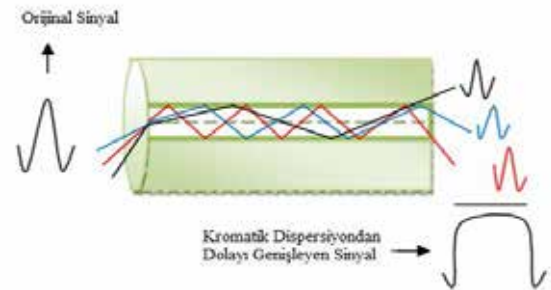
3. Dispersiyon

Telekomünikasyon sistemleri, bilgi iletmek için ışık kaynağının yoğunluğunu değiştirir. Bilgi modüle edilir ve ikili kodlanmış verileri temsil eden darbe serileri olarak gönderilir. Fiber içerisinde seyahat eden darbeler, yayılmaya başlar, orijinal şekillerini kaybeder ve alıcı girişinde birbirleri üzerine ayırt edilemeyecek hale gelir. Sonuçta oluşan genişleme, *dispersiyon (dağılma)* olarak ifade edilir [5]. Bu çalışmada, tek modlu optik fiberlerin doğal özelliklerinden olan dalgaboyu ile kırılma indisinin değişmesi nedeniyle meydana gelen kromatik dispersiyon için dengeleme yapılmıştır. Şekil 4’de kromatik dispersiyonu olan ve kromatik dispersiyonu olmayan darbe yayılımı verilmiştir.



Şekil 4: Kromatik dispersiyonu olan ve kromatik dispersiyonu olmayan darbe yayılımı gösterimi [6].

Belirli bir yayılım mesafesinden sonra darbelerdeki genişleme, alıcıda önemli miktarlarda hataya neden olur ve bunun sonucunda bilgi kaybolur. Bu durum, fiberde iletim mesafesi, bit oranı ve kanal sayısı kavramlarında sınırlama meydana getirir. Bu yüzden dispersiyonun çeşitli dengeleme teknikleri ile giderilmesi gerekir. Orijinal veriler, çeşitli dispersiyon dengeleme yöntemleri ile elde edilebilir. Kromatik dispersiyondan dolayı oluşan darbe yayılımı, Şekil 5’de yer almaktadır [5].



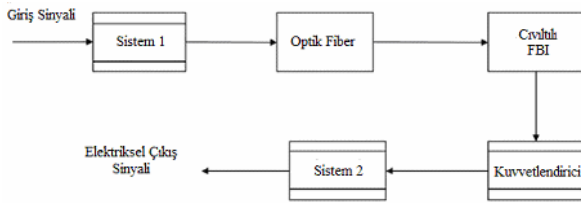
Şekil 5: Kromatik dispersiyondan dolayı oluşan darbe yayılımı gösterimi [5].

Cıvıtlı fiber Bragg ızgaralarda, uzun ve kısa dalgaboylarına sahip olan ışık darbelerinin dispersiyonu olayı gerçekleşir. Uzun dalgaboyuna sahip ışık, Bragg ızgaranın girişine yakın yerde yansıtılırken kısa dalgaboyuna sahip ışık ise arkaya doğru yansıtılır. Bu nedenle daha kısa dalgaboyuna sahip ışık darbelerinde, uzun dalgaboyuna sahip darbeler göre gecikme yaşanır. Bir optik haberleşme sisteminde kullanılan cıvıtlı fiber Bragg ızgaralar, ışık darbesinin girişteki dalgaboyunun giriş ile birlikte çıkışta da aynı anda elde edilmesini

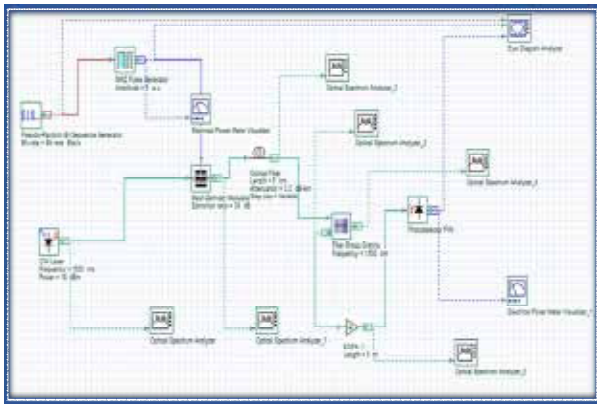
sağlayacak şekilde tasarlanabilir ve bunun sonucunda çıkışta görülen optik darbedeki dispersiyon eşitlenir ya da sıfırlanır. Fiber Bragg ızgaralar, lineer olmayan etkilere sahip olmamaları ve sistemin maliyetini düşürmeye yardımcı olmaları nedeniyle dispersiyon dengeleme işlemlerinde fiber Bragg ızgaralar tercih edilir [7].

4. Fiber Bragg Izgara Kullanılarak Optik Haberleşme Sistemi Tasarımı ve Dispersiyon Analizleri

Bu bölümde, Fiber Bragg ızgara kullanılarak tasarlanan haberleşme sisteminin blok diyagramı Şekil 6'da ve OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile tasarlanan optik haberleşme sistemi ise Şekil 7'de görülmektedir. Bu haberleşme sisteminin incelenmesinde amaç, fiber Bragg ızgara kullanılarak dispersiyonun dengelenmesinin mümkün olduğunun gösterilmesi ve sinyalde oluşan bozulmaların gözlenmesidir [8].



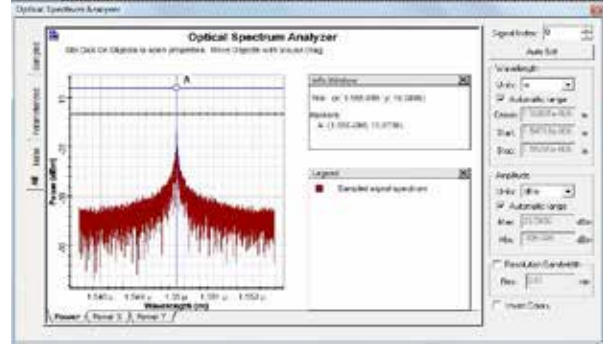
Şekil 6: Fiber Bragg ızgara kullanılarak tasarlanan haberleşme sisteminin blok diyagramı.



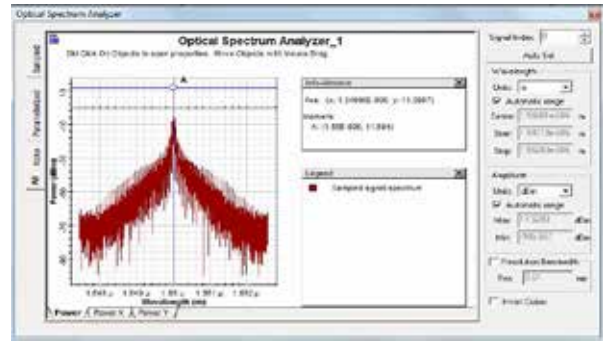
Şekil 7: Fiber Bragg ızgara kullanılarak tasarlanan haberleşme sistemi.

Giriş gücü 18 dBm, verici frekansı 1550 nm, optik fiberin uzunluğu 5 km ve optik fiberin zayıflama katsayısı ise 0.2 dB/km olarak alınmıştır. Fiber Bragg ızgara parametreleri ise frekansı 1550 nm, uzunluğu 6 mm ve kırılma indisi 1.45'dir.

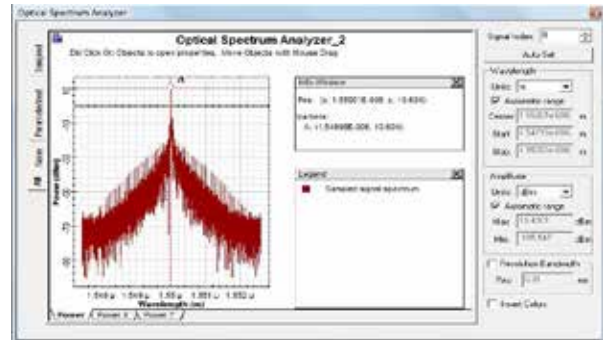
Sürekli dalgalı lazerin gücünün dalgaboyuna göre değişimi Şekil 8'de, Mach-Zender modülatörün çıkış sinyalinin gücünün dalgaboyuna göre değişimi Şekil 9'da, optik fiberin çıkış sinyalinin gücünün dalgaboyuna göre değişimi Şekil 10'da ve fiber Bragg ızgaradan yansıyan sinyal gücünün dalgaboyuna göre değişimi Şekil 11'de verilmiştir.



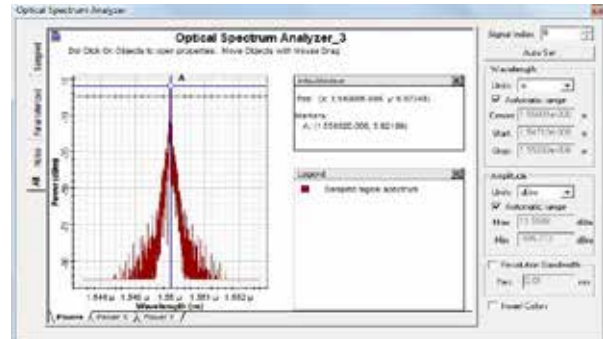
Şekil 8: Sürekli dalgalı lazerin gücünün dalgaboyuna göre değişimi.



Şekil 9: Mach-Zender modülatörün çıkış sinyalinin gücünün dalgaboyuna göre değişimi.

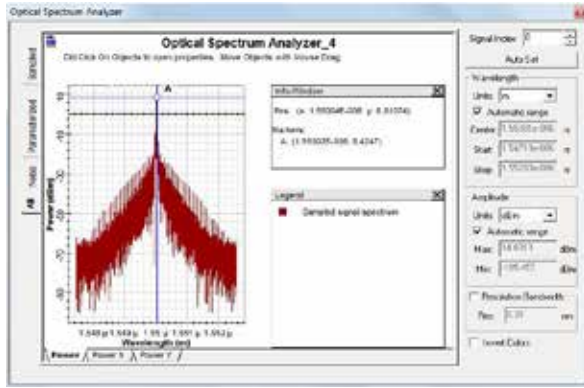


Şekil 10: Optik fiberin çıkış sinyalinin gücünün dalgaboyuna göre değişimi.



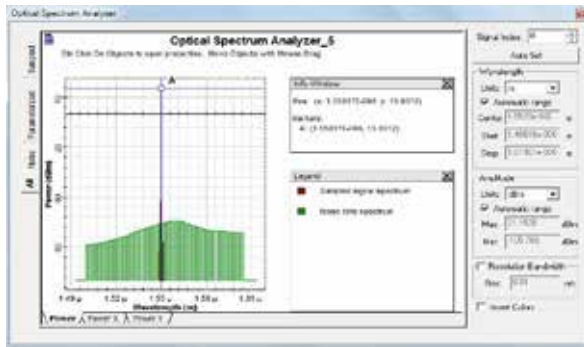
Şekil 11: Fiber Bragg ızgaradan yansıyan sinyalin gücünün dalgaboyuna göre değişimi.

Şekil 11’de görüldüğü gibi fiber Bragg ızgaraya gelen sinyal, belirli bir dalgaboyunda toplanarak söz konusu olan dalgaboyu genişliğinde yansıtılmıştır. Ancak fiber Bragg ızgaraya gelen sinyal, 6 mm uzunluğundaki Bragg ızgarada kayba uğramasıyla gücü azalarak yansımıştır. Bu dalgaboyunda görülen daralma, fiber Bragg ızgaranın dispersiyonun dengelenmesindeki kullanım nedenini açıklamaktadır. Optik kaynaktan gelen optik sinyal, tek bir dalgaboyu genişliğinde değildir. Sinyalin, birden fazla dalgaboyunu kapsaması nedeniyle çıkışta meydana gelecek olan dispersiyon, fiber Bragg ızgara kullanılmasıyla dalgaboyu genişliğinde daralmaya gidildiği için yaklaşık olarak sıfıra indirgenerek dengelenmiştir. Fiber Bragg ızgaradan iletilen sinyalin gücünün dalgaboyuna göre değişimi, Şekil 12’de yer almaktadır.



Şekil 12: Fiber Bragg ızgaradan iletilen sinyalin gücünün dalgaboyuna göre değişimi.

İletilen sinyal, ızgaradan yansıyan sinyal kadar güç kaybına uğramamasına karşın söz konusu olan sinyal, haberleşme sisteminin alıcı kısmındaki fotodetektör PIN’e bağlanmayacaktır. Bunun nedeni, iletilen sinyalin, yansıyan sinyaldeki gibi bir dalgaboyunda toplanmadığının gözlenmiş olmasıdır. Bu nedenle, iletilen sinyal de optik kaynak gibi dispersiyona neden olacağından haberleşme sisteminde fiber Bragg ızgaradan yansıyan sinyal kuvvetlendirilerek alıcıya bir başka deyişle fotodetektör PIN’e iletilecek ve dispersiyon olmayan bir sinyalin göz diyagramında gözlenmesi sağlanacaktır.



Şekil 13: EDFA’nın çıkışındaki sinyalin gücünün dalgaboyuna göre değişimi.

EDFA’nın (Erbium Doped Fiber Amplifier, Erbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici) çıkışındaki sinyalin gücünün dalgaboyuna göre değişiminin verildiği Şekil 13’de yeşil renkli görülen kısım, gürültü spektrumudur. NRZ darbe üreticinin ve fotodetektör PIN’in çıkışlarındaki elektriksel sinyalin güçleri, sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15’de görülmektedir.

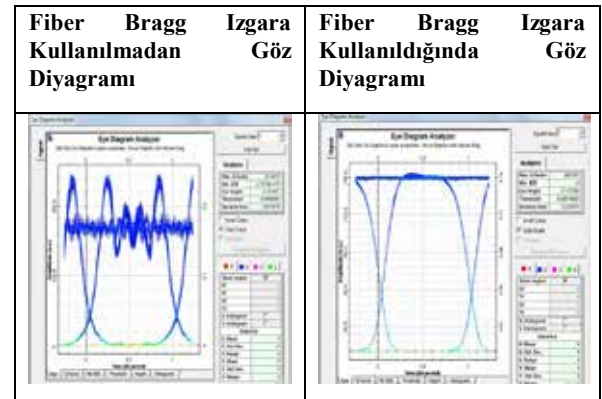


Şekil 14: NRZ darbe üreticinin çıkışındaki elektriksel sinyalin gücü.



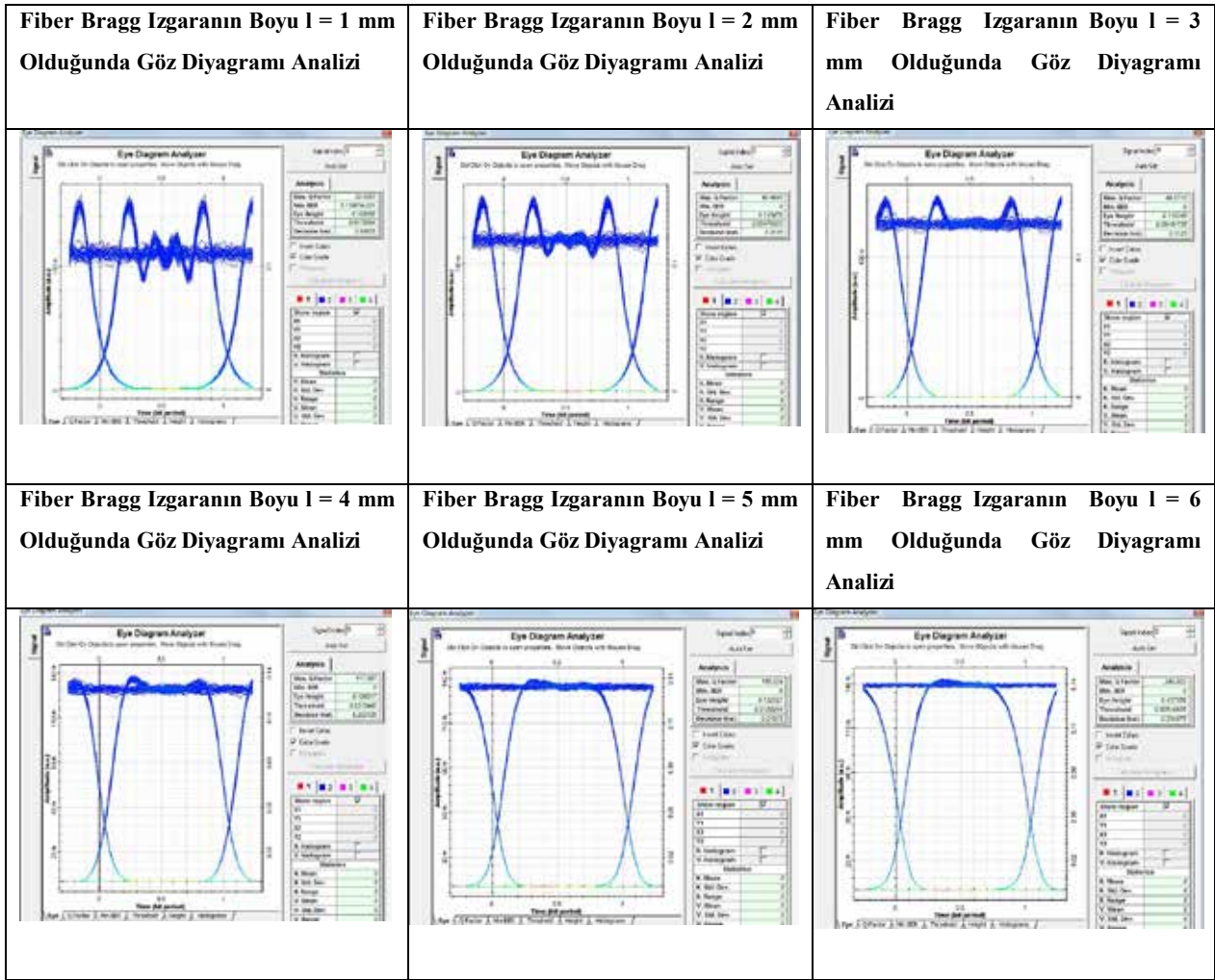
Şekil 15: Fotodetektör PIN’in çıkışındaki elektriksel sinyalin gücü.

Tasarlanan optik haberleşme sisteminde fiber Bragg ızgara kullanıldığında ve kullanılmadığında gözlenen göz diyagramları, Şekil 16’da verilmiştir.



Şekil 16: Tasarlanan optik haberleşme sisteminde fiber Bragg ızgara kullanıldığında ve kullanılmadığında gözlenen göz diyagramları.

Fiber Bragg ızgara boyunun değiştirilmesi ile oluşan göz diyagramları, Şekil 17’de ve fiber Bragg ızgara uzunluğundaki değişime göre güçölçerde gözlenen değerlerin tablosu ise Çizelge 1’de verilmiştir. Şekil 17’ye göre, fiber Bragg ızgaranın boyu arttıkça dispersiyonun ve sinyaldeki bozulmanın azaldığı ve daha düz bir şeklin görüldüğü saptanmıştır. Çizelge 1’de, fiber Bragg ızgara uzunluğunun artması ile dispersiyonun azaldığı görülmüştür.

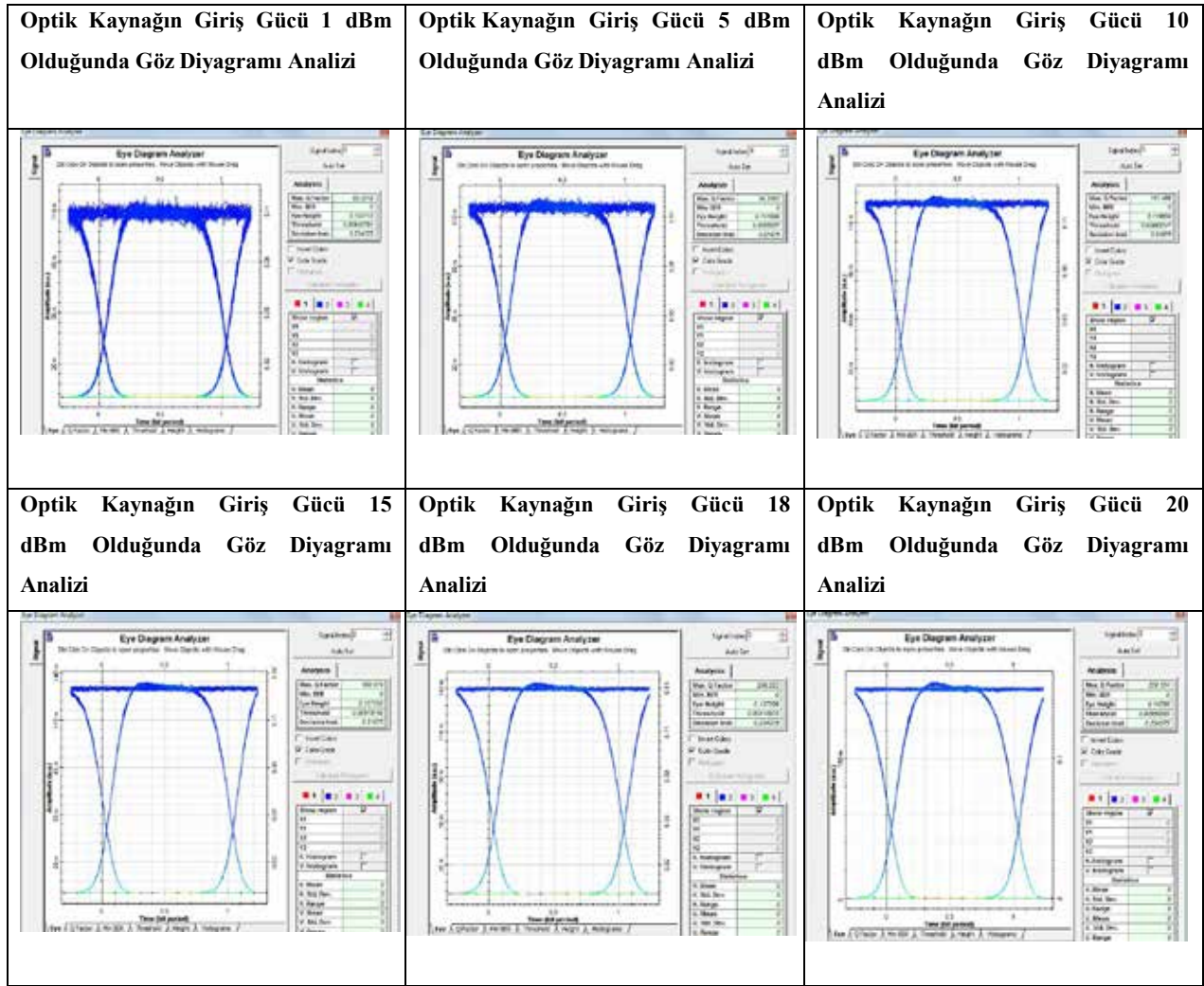


Şekil 17: Fiber Bragg ızgara boyunun değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramları.

Çizelge 1: Fiber Bragg ızgara uzunluğundaki değişime göre güçölçerde gözlenen değerlerin tablosu.

Fiber Bragg Izgara Uzunluğu (mm)	Sinyal Gücü (dBm)	Gürültü Gücü (dBm)
1	7.705	-28.213
2	8.211	-33.204
3	8.530	-35.652
4	8.827	-37.001
5	9.111	-37.793
6	9.371	-38.276

Optik kaynağın giriş gücünün değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramları, Şekil 18'de ve optik kaynağın giriş gücünün değişimine göre güçölçerde elde edilen değerlerin tablosu ise Çizelge 2'de yer almaktadır. Analizde, optik haberleşme sisteminde, optik kaynağın giriş gücü artırılması ile dispersiyonda azalmanın olduğu görülmüştür.

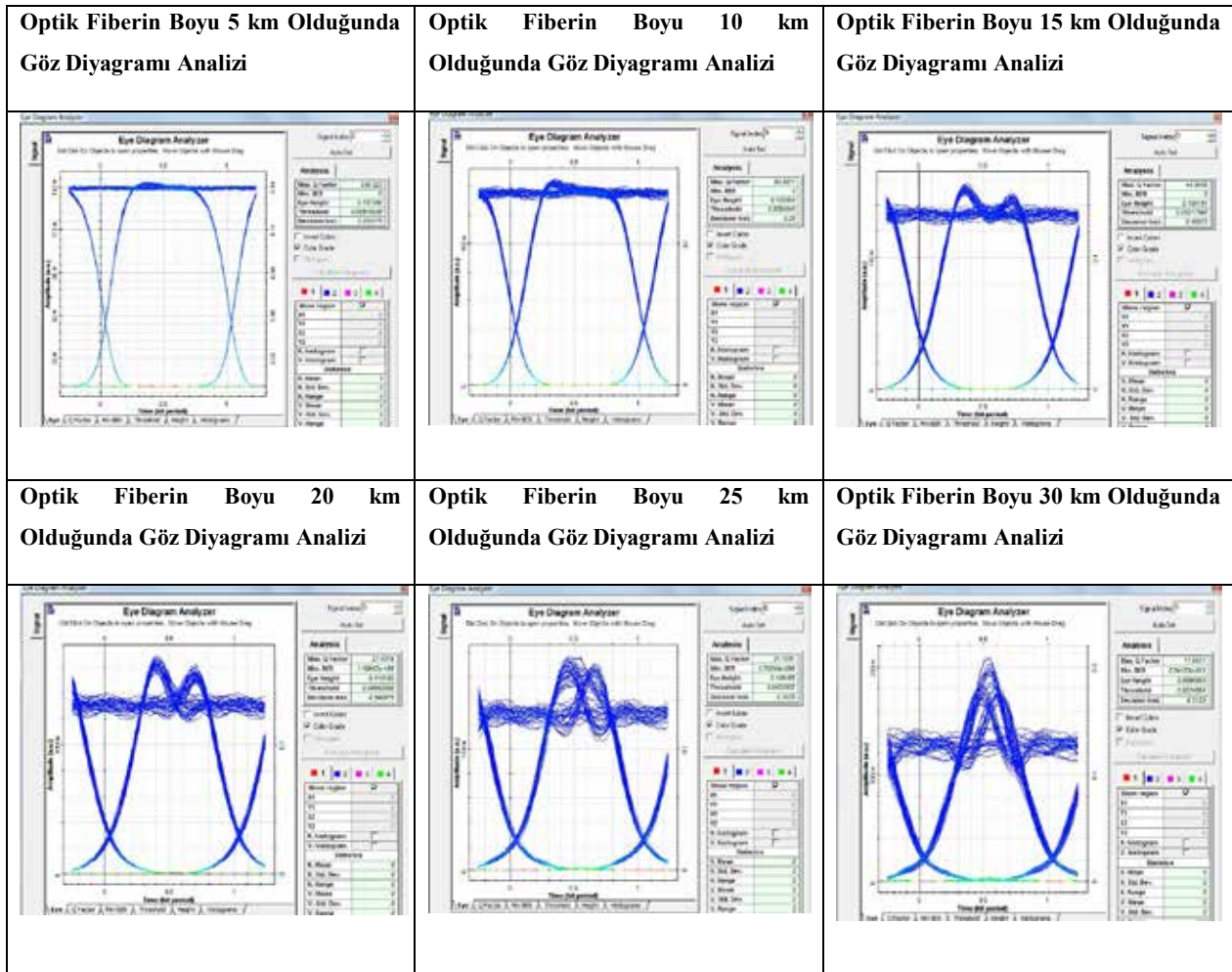


Şekil 18: Optik kaynağın giriş gücünün değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramları.

Çizelge 2: Optik kaynağın giriş gücünün değişimine göre güçölçerde elde edilen değerlerin tablosu.

Optik Kaynağın Giriş Gücü (dBm)	Sinyal Gücü (dBm)	Gürültü Gücü (dBm)
1	7.227	-25.472
5	7.555	-28.917
10	8.192	-33.172
15	8.761	-36.756
18	9.371	-38.276
20	9.998	-38.930

Optik fiberin uzunluğunun değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramları, Şekil 19'da ve optik fiberin uzunluğunun değişimine göre güçölçerde elde edilen değerlerin tablosu ise Çizelge 3'de görülmektedir. Analizlerde, optik fiberin boyunun uzaması ile göz diyagramlarında çıkış sinyalinin bozulduğu, güç ölçümlerinde ise çıkış sinyalinin gücünün azaldığı ve gürültü gücünün ise arttığı bilgisi edinilmiştir.

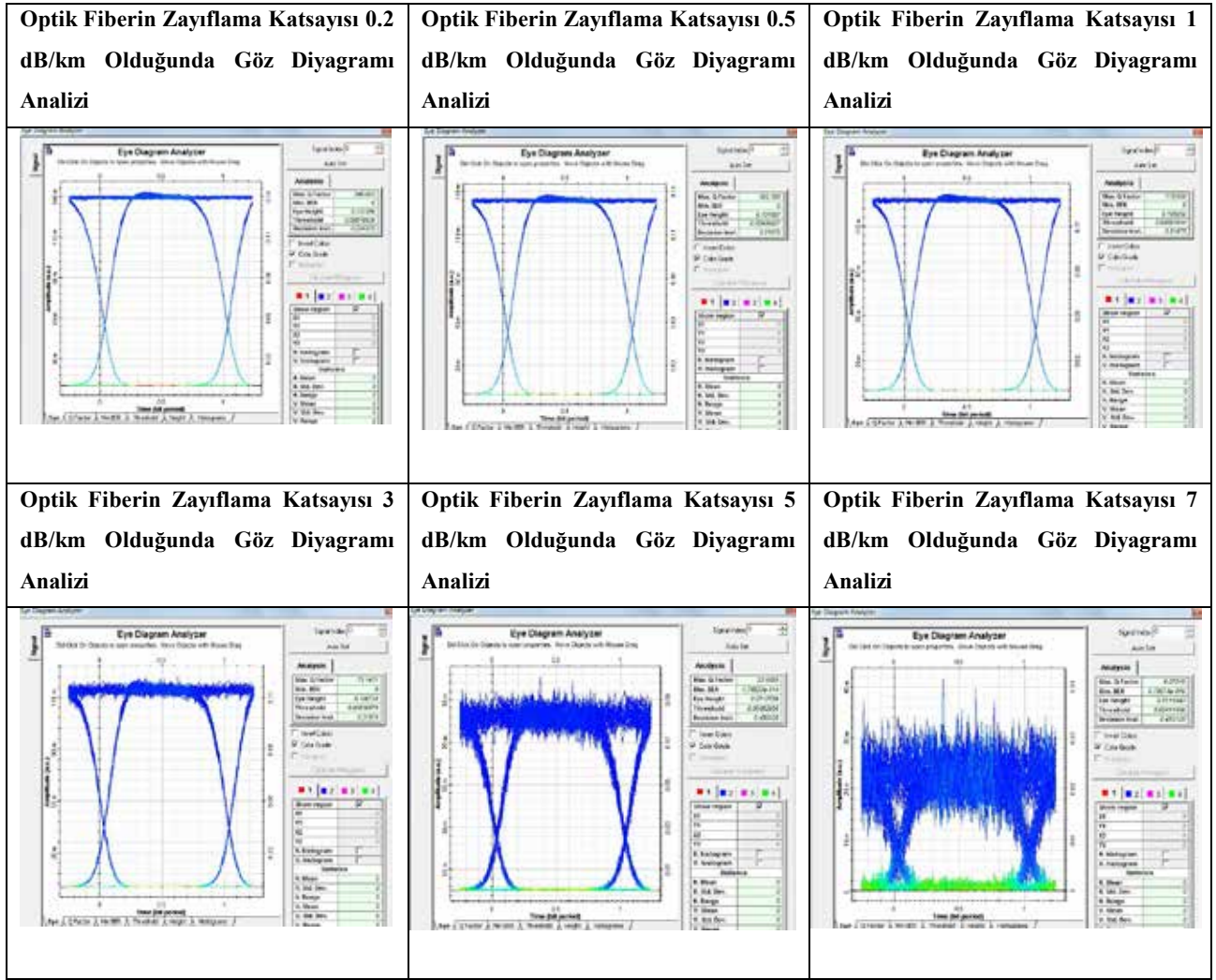


Şekil 19: Optik fiberin uzunluğunun değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramları.

Çizelge 3: Optik fiberin uzunluğunun değişimine göre güçölçerlerde elde edilen değerlerin tablosu.

Optik Fiber Uzunluğu (km)	Sinyal Gücü (dBm)	Gürültü Gücü (dBm)
5	9.371	-38.276
10	9.127	-37.788
15	8.957	-37.321
20	8.855	-36.661
25	8.879	-36.171
30	8.772	-35.493

Optik fiberin zayıflama katsayısının değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramlarının yer aldığı Şekil 20’de, optik fiberin zayıflama katsayısı arttığında çıkış sinyalinde dispersiyonun arttığı ve optik fiberin zayıflama katsayısı değişimine göre güçölçerlerde elde edilen değerlerin tablosunun verildiği Çizelge 4’de ise güç ölçümlerinde sistemin çıkış işaretinin gücünün azaldığı görülmektedir.



Şekil 20: Optik fiberin zayıflama katsayısının değiştirilmesi ile izlenen göz diyagramları.

Çizelge 4: Optik fiberin zayıflama katsayısı değişimine göre güçölçerde elde edilen değerlerin tablosu.

Optik Fiberin Zayıflama Katsayısı (dB/km)	Sinyal Gücü (dBm)	Gürültü Gücü (dBm)
0.2	9.371	-38.242
0.5	9.026	-37.558
1	8.614	-36.098
3	7.647	-28.021
5	4.730	-20.637
7	-6.749	-21.160

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, optik sensörler arasında yer alan fiber Bragg ızgara sensörler incelenmiştir. OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile dispersiyonun dengelenmesinin amaçlandığı optik haberleşme sistemi, optik Bragg ızgara sensör kullanılarak tasarlanmış ve optik Bragg ızgaranın, dispersiyonun dengelenmesini sağladığı yapılan analizlerle gösterilmiştir. Tasarlanan optik haberleşme sisteminin çıkış işaretindeki dispersiyon etkileri, göz diyagramları ve güçölçerde elde edilen değerler ile izlenmiştir.

Analizlerde, fiber Bragg ızgara uzunluğunun artmasıyla dispersiyonun azaldığı ve çıkış sinyalinin gücünün arttığı gözlenmiştir. Optik kaynağın giriş gücünün artırılmasının dispersiyonu azalttığı ve çıkış sinyalinin gücünü artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca optik fiberin uzunluğunun artmasıyla dispersiyonun ve sinyaldeki kaybın arttığı ve sinyalin iletiminde zaman gecikmesi yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Optik fiberin zayıflama katsayısının artırılmasıyla çıkıştaki dispersiyonun arttığı ve sinyal gücünün azaldığı belirlenmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Hummadi, A. M., "Study Performance of the Fiber Bragg Grating as a Dispersion Compensator an Optical Transmission System Using Optisystem Software", *Journal of Madent Alelem College*, Vol. 5, No. 2, p. 16, 2013.
- [2] Krohn, D. A., *Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications*, Instrument Society of America, Research Triangle Park, NC, USA, 2nd ed., 1992.
- [3] Karaman, L., *Fiber Bragg Izgara Tabanlı Optik Sensörlerin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [4] Hill, K.O., Fujii, Y., Johnson, D. C., Kawasaki, B. S., "Photosensitivity in Optical Fiber Waveguides: Application to Reflection Fiber Fabrication", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 32, Iss. 10, 647-649, 1978.
- [5] Agarwal, A., Kumar, M., Saxena, R., "Comparison of Different Techniques of Dispersion Compensation", *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, Vol. 2, Iss. 3, 912-918, 2013.
- [6] Teja, N. R., Babu, M. A., Prasad, T. R. S., Ravi, T., "Different Types of Dispersions in an Optical Fiber", *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 2, Iss. 12, 1-5, 2012.
- [7] Agarwal, A., Kumar, M., Jaiswal, A. K., Saxena, R., "Analysis to Compensate Dispersion in Optical Communication Link Using Chirp Grating", *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, Shiats, Allahabad, Vol. 2, No. 3, 980-986, 2013.
- [8] Kazancı, U. U., *Optik Sensörlerin Analizi ve Uygulamaları*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, 2015.

Optik Filtrelerin Analizi ve Uygulamaları

Analysis and Applications of Optical Filters

Meriç Bacak¹, N. Özlem Ünverdi²

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
meric.bacak@std.yildiz.edu.tr

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
unverdi@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, optik filtreler analiz edilmiş ve uygulamaları yapılmıştır. OptiSystem 13.0 simülasyon programı ile optik Butterworth filtre düzeneği, optik Bessel filtre düzeneği ve optik Gaussian filtre düzeneği hazırlanmış ve söz konusu olan filtrelerin band genişliklerine bağlı olarak verdikleri yanıtlar değerlendirilmiştir. Analizlerde, optik Gaussian filtrenin süzme gücünün, kullanılan diğer optik filtrelerle göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Abstract

In this study, some optical filter applications are analyzed. Butterworth, Bessel and Gaussian optical filter assemblies are designed and their responses as functions of their band widths are calculated by OptiSystem 13.0 simulation software. As a result of the analyses, it is found that a Gaussian optical filter has superior filtering power than the others.

1. Giriş

Günümüzde uzun mesafeli haberleşme sistemleri, santraller arasındaki bağlantılar, bina içi iletim sistemleri, kapalı devre televizyon sistemleri, veri iletimi, elektronik cihazları arasındaki bağlantılar, demiryolu iletişim ve haberleşme sistemleri, trafik kontrol sistemleri, nükleer enerji santrallerinin ve radyoaktif ışınların iletişimi bozduğu yerler ve tıp alanında optik fiberler kullanılmaktadır. Optik fiberler, kaybın az olması, kanal kapasitesinin fazla olması, yüksek hızda iletişimin sağlanması, kanal başına maliyetin düşük olması, elektromagnetik alanlardan az etkilenmesi, güvenilir olması, var olan sistemlerle uyumlu çalışması, değişik çevre koşullarına uyum sağlaması, elektriksel yalıtımın olması ve hammaddesinin doğada bol miktarda olması nedeniyle alternatiflerine göre tercih edilmektedir.

Optik haberleşme sistemlerinde optik sensör, optik doğrultu kuplörü, optik modülatör, optik kuvvetlendirici, optik izolatör, optik filtre, optik polarizör, optik sirkülatör ve optik dedektör gibi optik devre elemanları kullanılır. Bu çalışmada, söz konusu olan devre elemanlarından optik filtreler analiz edilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, sayısal filtrelerin karakteristik özellikleri açıklanmıştır. 3. Bölüm'de, optik filtrelerin tasarımları yapılmış ve 4. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Sayısal Filtreler

Sayısal filtrelerin, veri iletişimi, biyomedikal sistemler, askeri ve sivil sistemler ve endüstriyel uygulamalar olmak üzere değişik alanlarda kullanımı mevcuttur. Filtreler, pasif elemanlar olan direnç, kondansatör ve bobin ile tasarlanarak telefon ağlarında kullanılmıştır. Daha sonra aktif devre elemanı olan işlemsel kuvvetlendirici bipolar transistör kullanılmaya başlanmıştır [1, 2].

20. yüzyılın ikinci yarısında anahtarlı kondansatör filtresi olarak adlandırılan ve içerisinde sadece kondansatör ve CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken) işlemsel kuvvetlendiriciler içeren filtreler geliştirilmiştir. Bu filtrelerin özelliği, direnç ve bobin içermemesi ve bu devrelerin VLSI (Very Large Scale Integration, Çok Geniş Ölçekli Tümlleşim) teknolojiyle üretilmeleridir. Bu teknoloji ile ilk defa sayısal filtre kavramı ortaya atılmıştır. Analog filtrelerden örnekleme yaparak sayısal ölçekli filtrelerin tasarlanması gündeme gelmiştir. Bu kavramın uygulamalarında, Nyquist – Shannon Örnekleme Teoremi'nden yararlanılmaktadır.

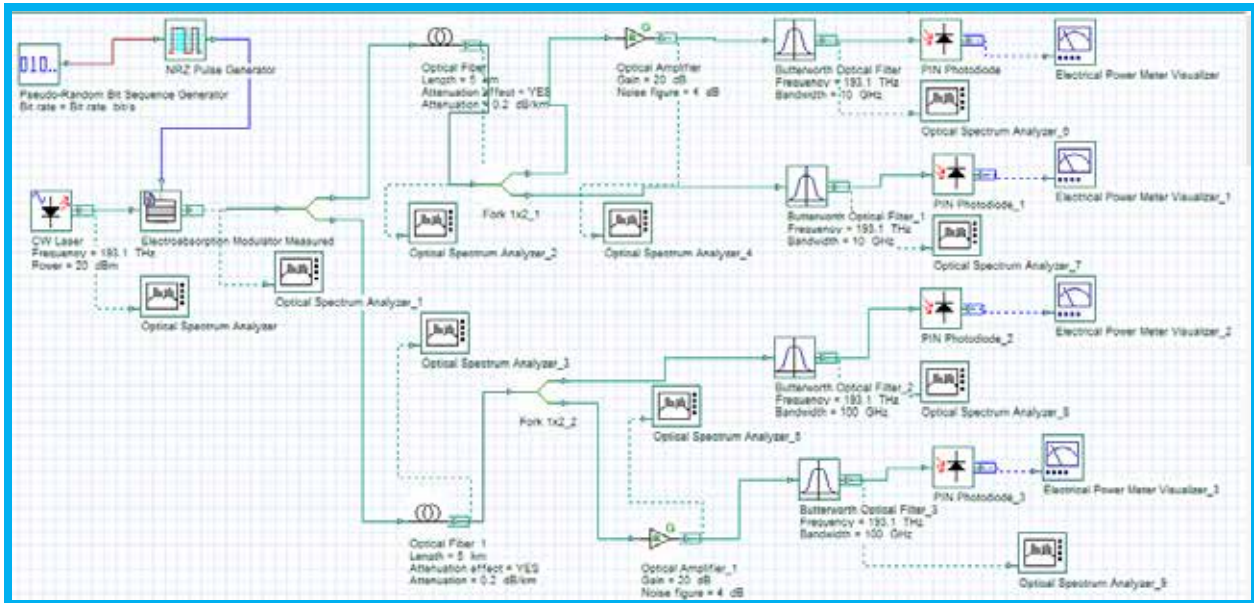
3. Optik Filtrelerin Tasarımı ve Analizi

Optik haberleşme sistemlerinin temel elemanları arasında yer alan optik filtreler, fotoğrafçılık, renkli televizyon, sahne ışıkları, koruyucu gözlük camları ve tayfbilim gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Bu bölümde, OptiSystem 13.0 simülasyon programı ile optik haberleşme sistemlerinde önemli bir konumda bulunan optik filtrelerden optik Butterworth filtresi, optik Bessel filtresi ve optik Gaussian filtresinin kullanıldığı düzenekler hazırlanmış ve filtrelerin performansları değerlendirilmiştir [3].

3.1 Optik Butterworth Filtre Uygulaması

Şekil 1'de görülen ve sürekli işaretli (CW, Continuous Wave) lazer ile beslenen düzende dört adet optik Butterworth filtre yer almaktadır. Optik Butterworth filtre ile optik Butterworth filtre_1, 10 GHz band genişliğinde ve optik Butterworth filtre_2 ve optik Butterworth filtre_3 ise 100 GHz band genişliğindedir. Bu düzenek ile optik Butterworth filtrenin band genişliğinin işaret üzerindeki etkisi incelenmiştir.

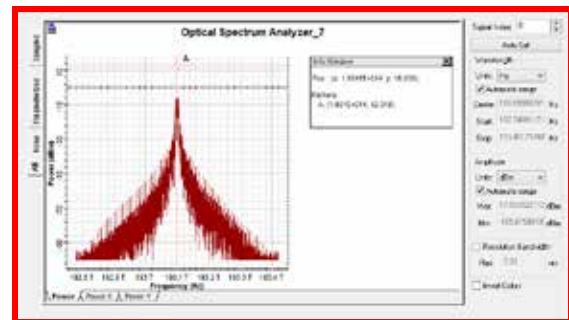


Şekil 1: Optik Butterworth filtre düzeneği.

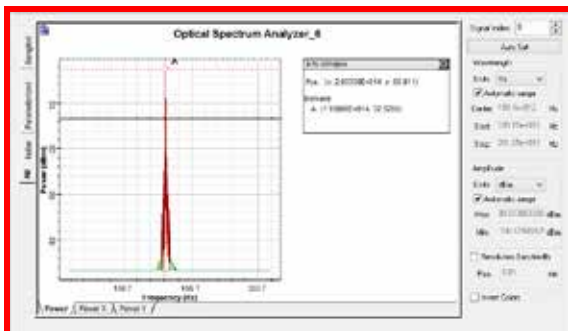
Düzenekte, 20 dBm güce sahip optik sinyal, optik kuvvetlendirici ile 20 dB kuvvetlendirilmiş ve ardından optik Butterworth filtreye uygulanmıştır. Optik Butterworth filtrenin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişiminin yer aldığı Şekil 2’de, 193.1 THz frekansında gücün değerinin, 32.32 dBm olduğu görülmektedir.

Kuvvetlendirilmemiş optik sinyalin uygulandığı optik Butterworth filtre_1'in çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi, Şekil 3'de verilmiştir. Burada, 193.1 THz frekansında gücün değeri, 12.31 dBm'dir.

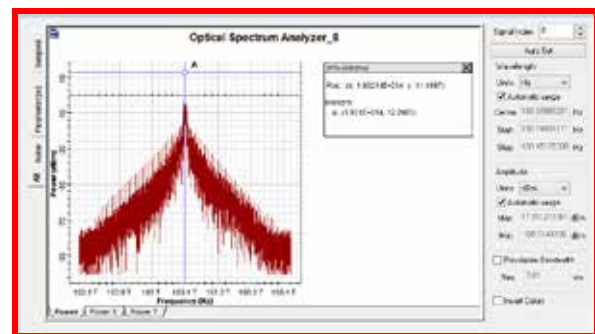
Kuvvetlendirilmemiş optik sinyalin uygulandığı optik Butterworth filtre_2'nin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi yer aldığı Şekil 4'de, 193.1 THz frekansında gücün değeri, 12.29 dBm olarak görülmektedir.



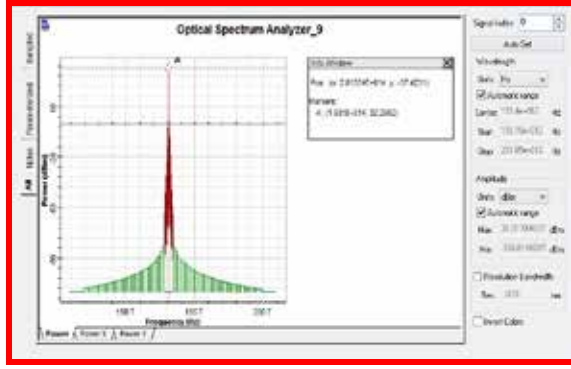
Şekil 3: Optik Butterworth filtre_1'in çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.



Şekil 2: Optik Butterworth filtrenin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.



Şekil 4: Optik Butterworth filtre_2'nin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.

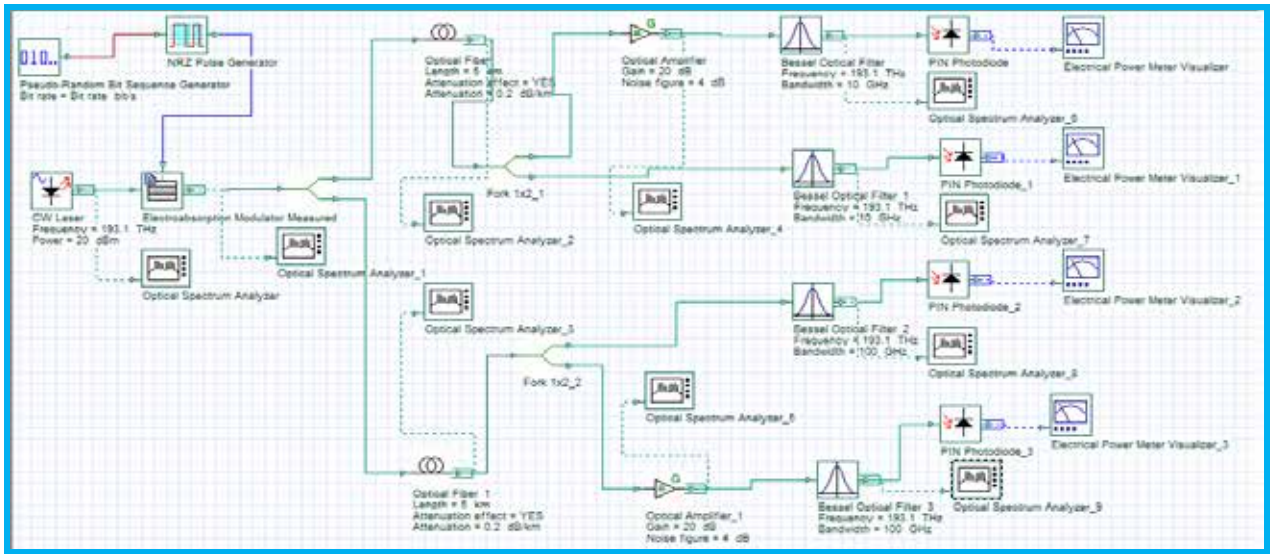


Şekil 5: Optik Butterworth filtre_3'ün çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.

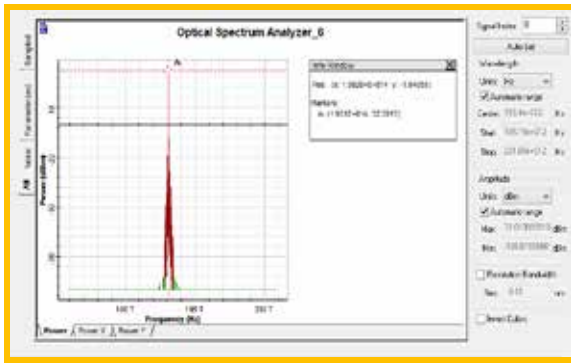
Şekil 5'de kuvvetlendirilmiş sinyalin uygulandığı optik Butterworth filtre_3'ün çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi yer almaktadır. Burada, 193.1 THz frekansında gücün değeri, 32.29 dBm'dir.

3.2 Optik Bessel Filtre Uygulaması

Şekil 6'da görülen ve sürekli işaretli (CW, Continuous Wave) lazer ile beslenen düzende, dört adet optik Bessel filtre kullanılmıştır. Optik Bessel filtre ile optik Bessel filtre_1, 10 GHz band genişliğinde ve optik Bessel filtre_2 ile optik Bessel filtre_3 ise 100 GHz band genişliğindedir. Bu düzende optik Bessel filtrenin band genişliğinin sinyal üzerindeki etkileri incelenmiştir.



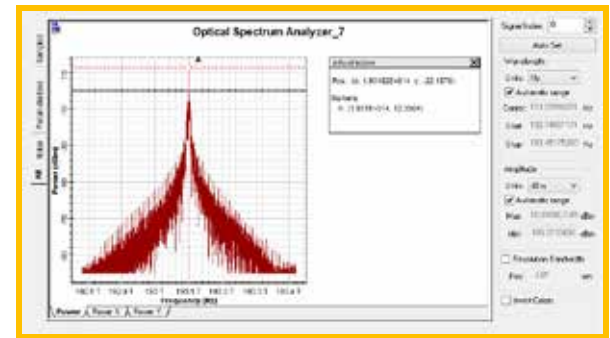
Şekil 6: Optik Bessel filtre düzeneği.



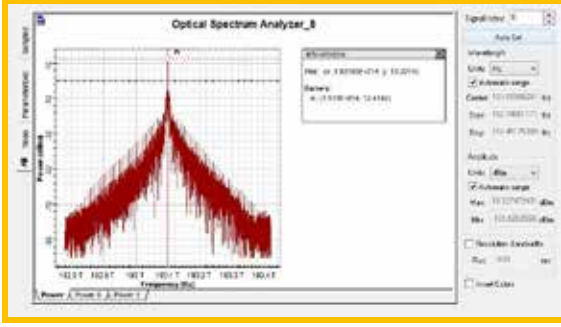
Şekil 7: Optik Bessel filtrenin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.

Optik Bessel filtrenin çıkışındaki kuvvetlendirilmiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi Şekil 7'de, optik Bessel filtre_1'in çıkışındaki kuvvetlendirilmemiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi Şekil 8'de, optik Bessel filtre_2'nin

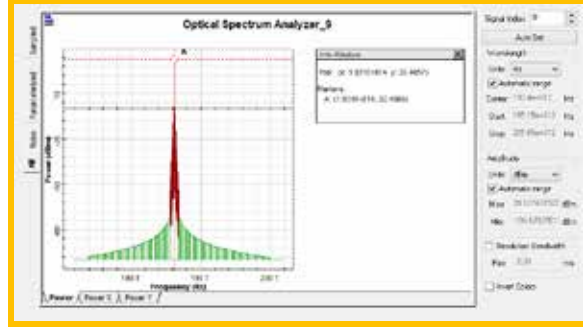
çıkışındaki kuvvetlendirilmemiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi Şekil 9'da ve optik Bessel filtre_3'ün çıkışındaki kuvvetlendirilmiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi ise Şekil 10'da görülmektedir.



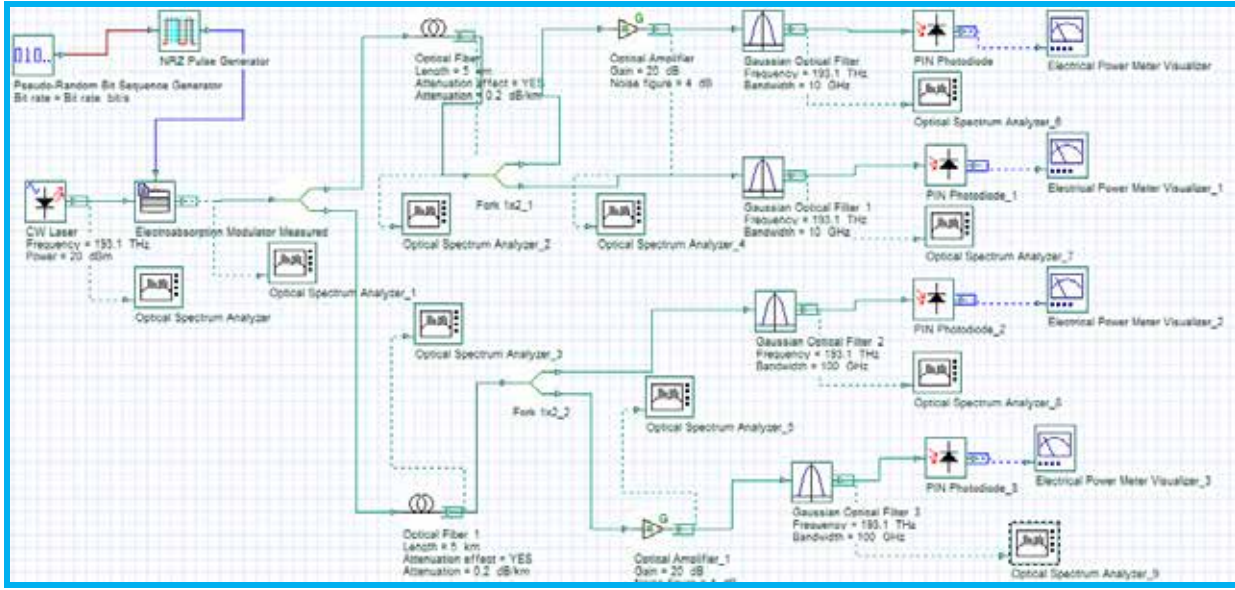
Şekil 8: Optik Bessel filtre_1'in çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.



Şekil 9: Optik Bessel filtre_2'nin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.



Şekil 10: Optik Bessel filtre_3'ün çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.

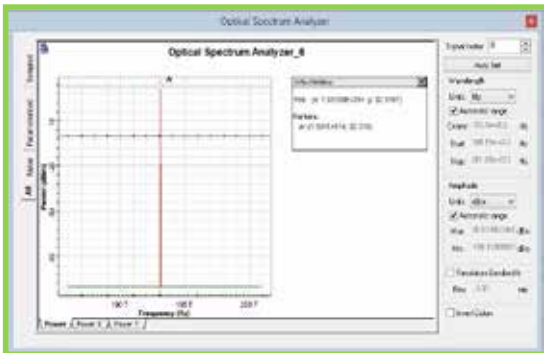


Şekil 11: Optik Gaussian filtre düzenegi.

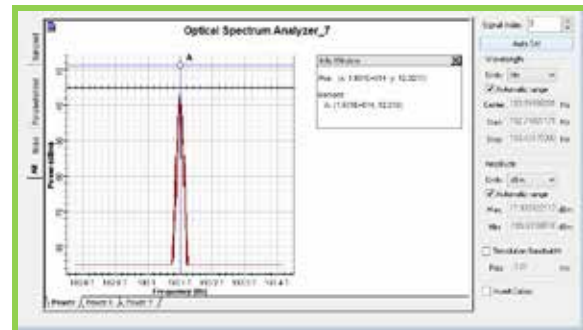
3.3 Optik Gaussian Filtre Uygulaması

Şekil 11'de görülen düzenekte, dört adet optik Gaussian filtre görülmektedir. Optik Gaussian filtre ve optik Gaussian filtre_1, 10 GHz band genişliğine sahip iken optik Gaussian

filtre_2 ve optik Gaussian filtre_3, 100 GHz band genişliğine sahiptir. Bu düzenek ile optik Gaussian filtrenin band genişliğinin işaret üzerindeki etkisi incelenmiştir. Optik Gaussian filtrenin çıkışındaki kuvvetlendirilmiş sinyalin



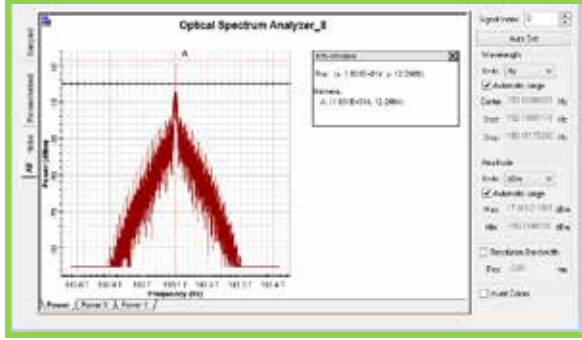
Şekil 12: Optik Gaussian filtrenin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.



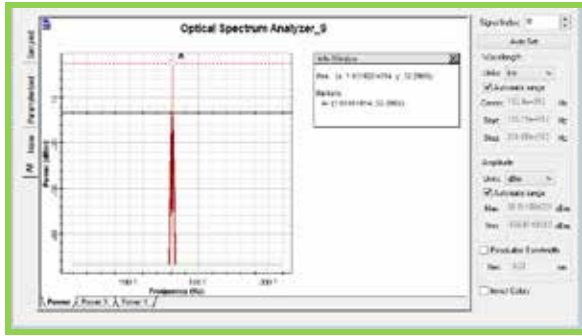
Şekil 13: Optik Gaussian filtre_1'in çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.

gücünün frekansa göre değişimi Şekil 12’de, optik Gaussian filtre_1’in çıkışındaki kuvvetlendirilmemiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi Şekil 13’de, optik Gaussian filtre_2’nin çıkışındaki kuvvetlendirilmemiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi Şekil 14’de ve optik Gaussian filtre_3’ün çıkışındaki kuvvetlendirilmiş sinyalin gücünün frekansa göre değişimi ise Şekil 15’de görülmektedir.

Yapılan uygulamalarda, optik Gaussian filtrenin süzme gücünün, kullanılan diğer optik filtrelerle göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 14: Optik Gaussian filtre_2’nin çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.



Şekil 15: Optik Gaussian filtre_3’ün çıkışındaki sinyalin gücünün frekansa göre değişimi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, optik filtrelerin analizinde kullanılan ölçümler sonrasında bazı parametrelerin filtreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. OptiSystem 13.0 simülasyon programı ile hazırlanan düzeneeklerde, dörder adet optik filtre kullanılarak çalışma band genişliğinin sinyal üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Hazırlanan optik Butterworth filtre düzeneği, optik Bessel filtre düzeneği ve optik Gaussian filtre düzeneğinde, 10 GHz band genişliğindeki filtre çıkışlarındaki sinyaller irdelendiğinde, komşu frekanslardaki güç değerlerinin, 100 GHz band genişliğindeki filtre çıkışlarındaki sinyallere oranla daha düşük seviyede olduğu görülmüş ve söz konusu olan optik filtrelerde band genişliğine bağlı olarak filtrenin süzme hassasiyetinin değiştiği belirlenmiştir. Optik Gaussian filtrenin süzme gücünün, kullanılan diğer optik filtrelerle oranla daha fazla olduğu izlenmiştir. Çalışma frekansına ait güç değerinin istenen değerde iken komşu frekanslardaki güç değerlerinin çok düşük olması, filtrenin çalışma frekansına karşı geçirgenliğini koruduğunu ve komşu frekansa karşı direnç gösterdiğini ifade eder; bu durum, optik filtrelerde istenen ve elde edilmesi gereken başarılı bir durumdur. Ancak analizde, filtrenin band genişliği 100 GHz olduğunda, komşu frekanslara ait güç değerlerinin düşük olmadığı ve komşu frekanslara ait sinyallerin de filtreden bir miktar geçebildiği görülmüştür.

5. Kaynaklar

- [1] Hacısalihoğlu, Y., *Halka Rezonatör Yapılarının Kullanıldığı Tamamen Optik Butterworth ve Chebyshev Filtrelerin Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [2] Ünverdi, N. Ö. ve Ünverdi, N. A., “Optik Haberleşme Sistemlerinin Dizayını”, *V. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu (ITUSEM 2013)*, İzmir, 127-133, 16-17 Mayıs 2013.
- [3] Bacak, M., *Optik Filtrelerin Analizi ve Uygulamaları*, Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2015.

