

AMORF SİLİKON P-İ-N GÜNEŞ PİLLERİ VE KALKAJONİD CAMLARDA FOTOTAŞIYICI ÖMÜR SÜRESİ ÖLÇÜMÜ

Ruhi KAPLAN
Mersin Üniversitesi
Eğitim Fakültesi
Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi Bölümü
Yenişehir Kampüsü, 33169 Mersin
ruhikaplan@yahoo.com

ÖZET

PECVD yöntemiyle üretilmiş ince film hidrojenlenmiş amorf silikon (a-Si:H) p-i-n güneş pillerinde ve termal kaplama tekniğiyle depo edilmiş ko-planer kalkajonid cam güneş pillerinde (a-Se, a-As₂Se₃, a-As₂Te₃, v.b) fotoakımı oluşturan fototaşıyıcıların ömür süresi (photocurrent lifetime) frekans-kararlı spektra (frequency-resolved spectra) metoduyla farklı parametreler altında ölçülmüştür. Bunun için HeNe laser ışığı kullanılmıştır. Laser ışığı, akosto-optik-modülatör yardımıyla 10 Hz ve 100 kHz arasında modüle edilerek güneş pilleri uyarılmıştır. Buna karşılık gelen güneş pillerinin fototepkisi, yani fotoakım sinyalleri lock-in amplifikatör ile dedekte edilerek analizi sağlanmıştır. Özellikle lock-in amplifikatörün kuadratur çıkışı kullanılarak, fototepkinin frekansa karşı spektral dağılımı elde edilmiş ve bunun maksimum değerinden fototaşıyıcıların ömür süresi belirlenmiştir. Kullanılan uyarıcı ışığın şiddetinin ve dalgaboyunun, sıcaklığın, ve uygulanan dış elektrik alanının fototaşıyıcı ömrü üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Sonuçlar, kullanılan farklı güneş pilleri için ve literatürde bilinen fotoakım modelleriyle karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Son 30 yıldan beri özellikle amorf maddeler ve daha çok da amorf yarıiletkenler, elektronik, optik ve magnetik özellikleri bakımından büyük önem kazanmıştır. Çünkü bu yarıiletkenler, başta güneş pilleri olmak üzere, ince film transistörler, gösteri cihazları (displays) anahtarlama devreleri (switching), hafıza elemanları (memory devices), dedektörler gibi geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. Dolayısıyla araştırmacılar bu yarıiletkenlerin özelliklerini anlayabilmek için büyük çaba sarfetmektedirler.

Kristal yapıdan farklı olarak, amorf yarıiletkenlerin atomları arasında kısa mesafelerde bir düzenlilik olsa bile uzun mesafelerde düzensizlik (disorder) hakimdir. Bu nedenle kristaller için geliştirilen ve atomlar arasındaki periyodik potansiyel kavramına dayanan Bloch teoremi [1] ve iyi bilinen diğer modeller [2] amorf yapıların elektronik band yapısını açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Amorf yapılar için farklı enerji band modelleri amaçlanarak bu tür yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlikleri ve optik özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Anderson teorisine dayanan tüm bu modeller enerji band uçlarındaki (band tails) lokalize enerji seviyelerini dikkate alır [3]. Farklı modellerin amaçlanması, farklı grup amorf yarıiletkenlerin farklı doğasından kaynaklanmaktadır. Yapılarındaki düzensizliklerden dolayı, amorf yarıiletkenlerin elektronik yapısı hala tam olarak anlaşılamamıştır ve buna bağlı olarak bir çok uygulama alanı da sır olarak kalmaktadır.

Amorf yarıiletkenlerin kristal yarıiletkenlere göre en büyük avantajı, geniş yüzeyli ince filmlerin kolayca üretilmesi ve dolayısıyla pahalı olan kristal filmlere göre nispeten ucuz olmasıdır. Doğal ve temel enerji kaynağımız olan güneşten gelen güneş ışınlarının toplanabilmesi için geniş yüzeyli güneş pillerine ihtiyaç duyulacağı, ve geniş yüzeyli kristal büyütmenin zorluğu dikkate alınırse amorf malzemelerin ne denli önemli olduğu ortaya çıkacaktır. Her ne kadar amorf yarıiletkenlerin verimi kristal kadar olmamakla birlikte, bugüne kadar yapılan ve halen yapılmakta olan çetin teorik ve deneysel çalışmalarla istenilen minimum yeterli düzeye getirilebildiğinden güneş piliyle çalışan birçok elektronik cihaz çok ucuza maledilmektedir.

Biz bu çalışmada a-Si:H p-i-n ve kalkajonid cam güneş pillerinde fotoakım ölçümleri gerçekleştirerek, fotoakımı oluşturan fototaşıyıcıların ömür sürelerini, yani foto tepki zamanlarını belirledik. Fototepki zamanı pillerin cihaz uygulamaları açısından büyük önem arz etmektedir.

2. DENEYSEL YÖNTEM

Tek katlı heteroeklem a-Si:H p-i-n güneş pilleri 7059 cam (glass) taban üzerine RF plazma CVD yöntemiyle depo edilmişlerdir. Pillerin katman yapısı **cam(glass)/SnO₂/p-i-n/Al/koruyucu kapsül** şeklindedir. P-katmanı yaklaşık 15 nm, n-katmanı ise 20 nm kalınlıktadır. Katkılanmamış i-katmanının kalınlığı ise yaklaşık 0,8-1 µm arasındadır. Elektriksel ölçümler için, pillerin arka kısmındaki koruyucu kapsül (boya) özel çözücü ile kaldırılarak iletken gümüş boya ile iki adet Cu tel kontak yapılmıştır. Güneş pili alanı ise 1cm² dir.

Çalışmalarımızda kullanılan diğer kalkajonid camlar (a-Se, a-As₂Se₃, a-As₂Te₃) ise termal buharlaştırma yöntemiyle cam taban üzerine depo edilmiştir. Al maske kullanılarak Au veya Al aynı teknikle buharlaştırılarak 0.1 mm aralıklı ko-planer kontaklar yapılmıştır. Bunun üzerine yine iletken Ag boya ile iki adet Cu tel kontağı oluşturulmuştur. Pil üretimi ve ölçüm sisteminin detayı referans [4] de verilmiştir.

3. FOTOTAŞIYICILARIN ÖMÜR SÜRESİ (LIFETIME) DAĞILIMI

Fototaşıyıcı ömür süresi analizi, ya zaman boyutunda (time domain) yada frekans boyutunda (frequency domain) ölçümler alınarak yapılır. Aslında prensip olarak ikiside birbirine eşittir ve aynı bilgiyi verirler. Birbirlerine Fourier transformasyonu ile bağlıdırlar. Her iki yöntemin birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Genellikle hızlı ve çok keskin ömür süresi dağılımları için zaman boyutundaki ölçümler, yavaş ve geniş ömür süresi dağılımları için frekans boyutlu ölçümler tercih edilir.

Frekans boyutundaki ömür süresi ölçümleri için matematiksel analiz Depinna ve arkadaşları [5] tarafından yapılmıştır. Buna göre, Lock-in yükselticinin kuadratur çıkışı ($\phi = \pi/2$), ömür süresi dağılımını direk olarak verirken; faz çıkışı ($\phi = 0$), $\tau \sim (2\pi\omega)^{-1}$ ve ∞ arasında ömür süresi dağılımının integralini verir. Biz buradaki ömür süresi ölçümlerimizde kuadratur çıkışı kullandık. Tek bir karakteristik τ ömür süresine sahip bir sistem için, kuadratur çıkış dağılımı,

$$f_p = 1/(2\pi\tau) \quad (1)$$

frekansında maksimumdur ve simetriktir. Bu dağılım 0,7 desimallık bir fwhm (yarı maksimumdaki tam genişlik) değerine sahiptir. Frekans taranırken, bütün ömür süresi dağılımı bileşenleri üzerinden lock-in yükselticinin çıkışı,

$$S(\omega) = \int_0^\infty P(\tau) s(\omega, \tau) d\tau \quad (2)$$

ile verilir. Burada $P(\tau)$ ömür süresi dağılımını (distribution), $s(\omega, \tau)$ da tepki (response) fonksiyonunu göstermektedir. Kuadratur çıkış için lock-in yükseltici tepki fonksiyonu,

$$s(\omega, \tau) = g_r / (\omega \tau + 1 / \omega \tau) \quad (3)$$

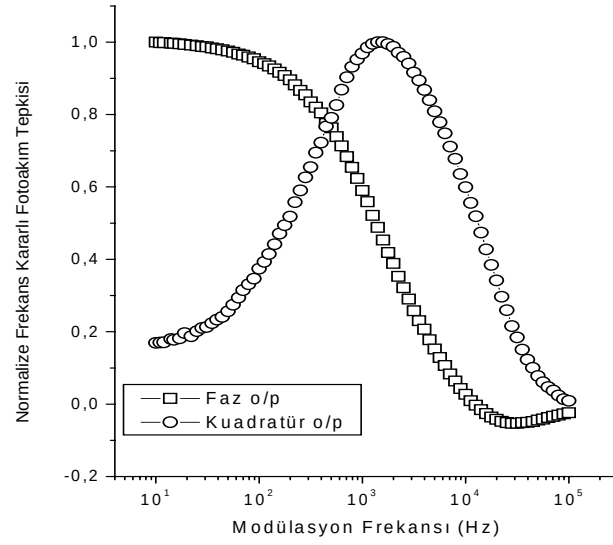
ile verilirken, faz çıkışı için tepki fonksiyonu,

$$s(\omega, \tau) = g_r / (1 + \omega^2 \tau^2) \quad (4)$$

formunu alır. Buradaki g_r uyarma hızını (rate) göstermektedir.

a-Si:H p-i-n güneş pili için, lock-in yükselticinin kuadratur ve faz çıkış tepki fonksiyonları HeNe laser ışığının (632,8 nm) 2,3 mW uyarım şiddeti altında karşılaştırmalı olarak Şekil 1 de gösterilmiştir. Bu şekilde, düşey eksen bağıl (relative) olup, veriler oda sıcaklığında (290 K) alınmıştır. Güneş piline uygulanan besleme voltajı ise -2 V dur.

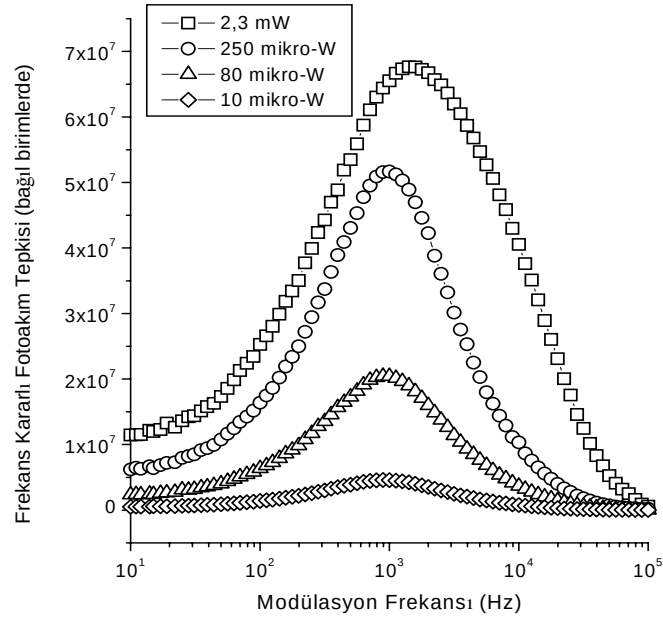
Şekil 1 de verilen şekilden de görüleceği üzere her iki çıkış dağılımı belli bir frekans değeri için birbirini ortalar ve simetriktir. Yukarıda da belirtildiği gibi, biz bundan sonraki sonuçlarımızda ömür süresini doğrudan belirlememizi sağladığı için sadece kuadratur çıkışı çizeceğiz.



Şekil 1. Lock-in amplifikatörün fotoakım faz ve kuadratur çıkışları. Her iki çıkış 1'e normalize edilmiştir.

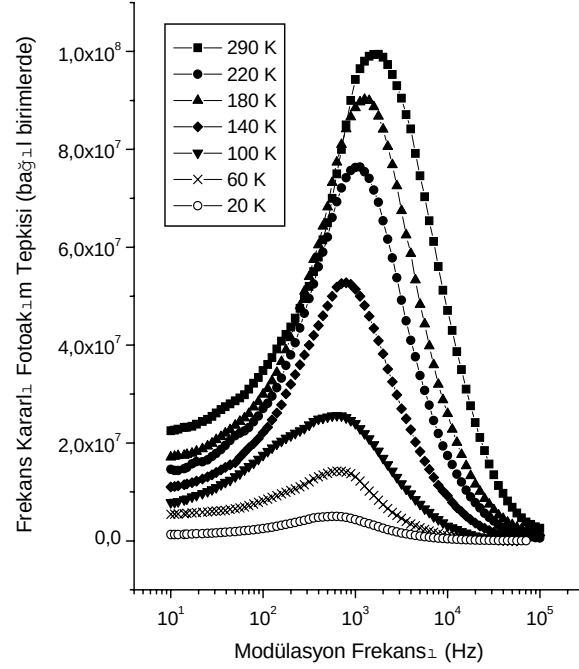
4. SONUÇLAR

Güneş pillerinde fototaşıyıcıların ömür sürelerinin ölçümü pillerin veriminde etkin olduğu kadar, cihaz uygulamaları açısından da anahtar bir rol oynar. Şekil 2 de fotoakım tepkisi uyarıcı ışığın değişik değerleri için frekansın fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi geniş bir dağılım gözlenmiştir. Dağılımların maksimum değerlerinden ve Denklem (1) den yararlanarak fototaşıyıcı ömür süreleri 2,3 mW için 112,78 μ s, 250 μ W için 159,24 μ s, 80 μ W ve 10 μ W için 178,72 μ s hesaplanmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere, fototaşıyıcı ömür süresi uyarıcı ışığın şiddetine bağlıdır. Yani ışık şiddeti azaldıkça ömür süresi artmaktadır.

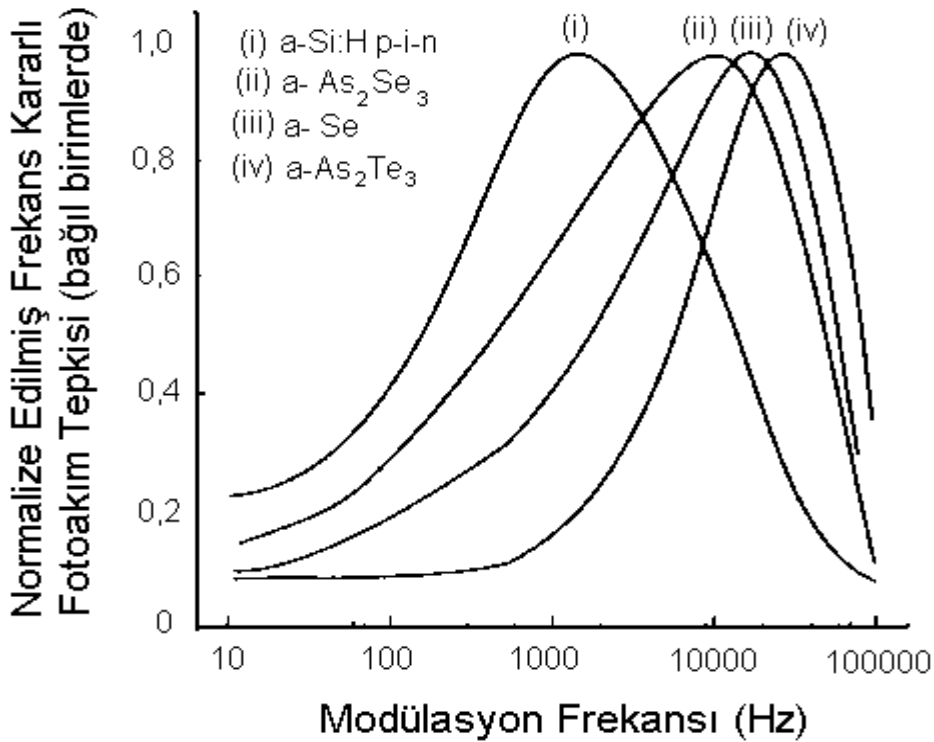


Şekil 2. a-Si:H p-i-n güneş pili için değişik ışık şiddetlerinde kuadratur fotoakım çıkışı. Dağılım T=290 K (Oda sıcaklığı) de ve ters beslem altında (-2 V) alınmıştır.

Şekil 3 ise, sıcaklığın fotoakım tepkisinin üzerine etkisini aynı pil ($a\text{-Si:H p-i-n}$) için göstermektedir. Şekilden de açıkça görüleceği üzere, dağılımın tepe (maksimum) değeri sıcaklık azalırken sola kaymaktadır. Bunun fiziksel anlamı, fototaşyıcı ömür süresinin sabit bir uyarıcı ışık şiddeti altında sıcaklık azalırken artmasıdır.



Şekil 3. $a\text{-Si:H p-i-n}$ güneş pilinde frekans-kararlı fotoakım tepkisinin sıcaklık bağımlılığı. Kullanılan uyarım ışığının dalga boyu 632,8 nm ve şiddeti 2,3 mW 'dır. Beslem voltajı -2V 'dur.



Şekil 4. Farklı pillerin frekans-kararlı fotoakım tepkilerinin karşılaştırılması. Dağılımlar 1'e normalize edilmiştir. Uyarıcı ışığın şiddeti 2,3 mW (632,8 nm). T=295 K.

Şekil 4 de fotoakım tepkisi farklı güneş pilleri için karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada pillere uygulanan besleme voltajı ve dolayısı ile elektrik alan değeri farklıdır. Ancak bunun ömür süresi üzerine bir etkisi olmadığı gözlenmiştir [4]. Ayrıca ömür süresinin kullanılan uyarıcı ışığın dalga boyundan da bağımsız olduğu bulunmuştur [4]. Şekildeki dağılımların tepe değerlerine karşılık gelen frekans değerlerinden yararlanarak fototaşıyıcı ömür süresi değeri a-Si:H p-i-n güneş pili için 118 μ s bulunmuştur. Diğer kalkajonid cam güneş pillerinde ise bu değer, a-As₂Se₃ için 17 μ s, a-Se için 8,5 μ s ve a-As₂Te₃ için 5,6 μ s hesaplanmıştır. Gerçi bu dağılımlar oda sıcaklığında alınmış olsa da, şekilde verilen trendin farklı sıcaklık değerlerinde de korunduğu gözlenmiştir. Bu değerlerden de açıkça anlaşılacağı üzere, fototaşıyıcı ömür süresi a-Si:H p-i-n güneş pilinde kalkajonid cam güneş pillerdekenden çok daha yüksektir.

Bilindiği gibi saf Si çok sayıda kusur içerdiğinden hemen hemen bir yalıtkan özelliği gösterir. Ancak Si hidrojenlenerek sarkık bağlar hidrojen atomlarıyla doldurularak iletkenliği büyük oranda artırılabilir ve bunun sonucu katılabilir. Kalkajonid camlarda ise kusurlar Si dan çok daha fazla olduğu için hidrojenlenerek bunlar azaltılamamaktadır. Dolayısıyla Fermi enerji seviyesi değiştirilemediğinden kalkajonid camlar henüz Si gibi katılandırılmamaktadır. Bunun sonucu olarak ta kalkajonid camların iletkenlikleri Si 'a göre çok düşüktür. Şekil 4 deki sonucun şüphesiz bununla ve söz konusu materyallerin enerji aralıklarıyla bir ilişkisi olduğu düşünülebilir. Ancak gerçek neden tam olarak anlaşılabilmiş değildir.

Şunu da belirtmeliyiz ki, Şekil 4 hariç olmak üzere, Şekil 2 ve 3 den elde edilen sonuçlar, literatürde bilinen uzak-çift (distant-pair) rekombinasyon modelinin [6] öngörülerıyla uyum içindedir.

5. YORUM

a-Si:H p-i-n ve kalkajonid camlardan üretilen güneş pillerinde fototaşıyıcıların ömür süreleri lock-in tekniği kullanılarak frekans boyutunda ölçülmüştür. Ölçülen ömür süreleri uyarıcı ışığın şiddetine ve kullanılan güneş pilinin sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Sonuçların uzak-çift (distan-pair) rekombinasyon modeline destek sağladığı anlaşılmıştır.

Ayrıca, aynı uyarıcı ışık şiddeti ve sıcaklık altında ölçülmesine rağmen farklı güneş pillerinde fototaşıyıcıların ömür süreleri için farklı değerler bulunmuştur. Bunların güneş pillerinin farklı yapısal doğasından kaynaklandığı sanılmaktadır.

Teşekkür:

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi [BAP FEF FB (RK) 2002] tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Bloch F., Z. Phys., 52, s.555, 1982.
- [2] Elliott R.S., Physics of Amorphous Materials, Longmann, 1984.
- [3] Mott N.F., Davis E.A., Elektronik Processes in Non-Crystalline Materials, Clarendon Press, 1971.
- [4] Kaplan R., Optically modulated photoconductivity studies of amorphous semiconductors, Doktora tezi, University of Sheffield, Department of Physics, Sheffield, İngiltere, 1993.
- [5] Depinna P.S., Dunstan D.J., Phil. Mag., B50, s.579, 1984.
- [6] Searle T.M., Phil. Mag. Lett., 61, s.251, 1990.