

GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILAN ELEKTRİKSEL MALZEMELER

Canan PERDAHÇI Şule KUŞDOĞAN
Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü , Anıtpark İZMİT
e-mail: cananperdahci@ixir.com
e-mail: s.kusdogan@superonline.com

ÖZET

Ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınmasının en önemli göstergesi olan enerjiye gün geçtikçe daha çok ihtiyaç duyulması, bu alanın gelişmesini ve daha çok yakından incelenmesini gerekli kılmaktadır. Pil, fotovoltaik etkiyi enerji üretmekte kullanan en küçük pratik elemandır. Silikon bir çok yarıiletken malzemede kullanıldığı gibi güneş pillerinde de oldukça yaygın bir kullanıma sahip bir elektriksel malzemedir. Tek kristal silikon güneş pili günümüzde en popüler ticari pil kullanımıdır. Fakat maliyetinin oldukça yüksek olması, araştırmacıları diğer maddelerden de oluşan (CdS, CdTe... gibi) güneş pillerinin verim iyileştirme çalışmaları yapmasını gerekli kılmıştır. Bu çalışmada malzemeler, verimleri, ekonomileri ve kullanım alanları üzerine karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Pilleri, Si, CdS, CdTe... Elektriksel Malzemeler

1. GİRİŞ:

Pil, fotovoltaik etkiyi enerji üretmekte kullanan en küçük pratik elemandır. Silikon bir çok yarıiletken malzemede kullanıldığı gibi güneş pillerinde de oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Tek kristal silikon güneş pili günümüzde en popüler ticari pil kullanımıdır. Fakat maliyetinin oldukça yüksek olması, araştırmacıları diğer maddelerden de oluşan (CdS, CdTe... gibi) güneş pillerinin verim iyileştirme çalışmaları yapmasını gerekli kılmıştır. Biz ilk olarak bu kısımda tekli kristal silikon pillerinin nasıl yapıldığını, performans ölçümlerini ve dünyadaki uygulamalarını göreceğiz. Daha sonra polikristal silikon, amorf silikon, CuInSe₂, CdS-CdTe ve GaAs gibi piller incelenip mukayese yapılacaktır.

2. TEK KRİSTAL SİLİKON PİLLER:

Silikon yeryüzünün ikinci en yaygın maddesidir. (Oksijen en yaygın olanıdır). Silikon çoğunlukla doğada SiO₂ olarak oluşur. Ve ayrıca silikaytler olarak da bulunurlar. Silikayt, bileşik içerikli silikon, oksijen, metal ve biraz da hidrojen içerir. Kum ve kuvarz onun en yaygın şekillerinden

ikisidir. Kum genellikle silikona dönüştürülmesi zor olan safıktadır. Fakat kuvarsitin yüksek kalitedeki parçaları neredeyse % 99'luk saf silika içerir.

Bu silika, silikon güneş pilinin temel maddesi olan silikona dönüştürülür.

2.1. SİLİKON PROSESİ:

Sürece başlamak için biz sanayide ilk olarak kuvarsiti metalurjik polikristalin silikona indirgeriz. Bu işlem; % 98 kuvarsitten % 99 saf silikon elde edilerek polisilikon elde edilmesini içerir. Fotovoltaik piller daha saf olan polisilikona ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle daha farklı işlemler yapılması gerekir. Günümüzde en yüksek saflık derecesine sahip polisilikonlardan biri de yarıiletken polisilikon olarak yapılan yarıiletken cihazlarda kullanılanlardır. (Fotovoltaik endüstrisi aslında daha saf bir silikon üretmektedir, fakat kullanım alanı yoktur.)

Metalurjik polisilikonu üretmek için kuvarsiti ısıtırız ve kontrol edilmiş bir karbon miktarını ekleriz. Bu ise oksijenin karbondioksit'e dönüşümüne yol açar. Ek işlemler saf olmayan maddeleri yoketmek için yapılır. Sonuç olarak, bir blok veya orta gri metalurjik polisilikon olan metal görünümlü maddenin külçesi olur.

Bu metalurjik maddenin yarıiletken polisilikona dönüştürülmesi daha düşük bir sınıfta üretilmesinden daha pahalıdır. Diğer prosesler arasında metalurjik polisilikon clorasilanes isimli bir kimyasal aileye dönüştürülür. Clorasilanes, petrol rafineleme işleminden farklı bir şekilde saflaştırılır ve yarıiletken polisilikonu yaratan ikincil bir kimyasal reaksiyona tabi tutulur. Yüksek saflıktaki yarıiletken silikonların ekonomik üretimini düzeltmek için, bazı yeni metodlar ortaya atılıyor. En başarılı olanı aslında yarıiletken polisilikondan daha saf olan yüksek kalitede polisilikon üreten bir silikon hidrid süreç olmaktadır.

2.2. KRİSTAL SİLİKON GÜNEŞ PİLİNİN YAPISI:

Şekil 1 de kristal silisyum güneş pilinin iç yapısı gösterilmektedir. Bu pil, saf silisyum kristaline bor atomu katılarak 250-400 µm kalınlığında olan ince bir parçadır. Şekilde görüldüğü gibi, dört köşenin köşeleri kesilmiş, dairesel, yarıdairesel veya dörtlü bir şekildedir. Bugünlerde 100 mmlik dört köşe veya 100 mm.lik çaplı dairesel şekilde dizaynları mevcuttur.

Fosfor aktif yüzey veya ön kısımda 1 µm lik bir p-n jonksiyonunu oluşturmak için bu parçaya difuze eder. Bu bilinen bir n-on-p tipi pildir. Bunun alternatifi olan p-on-n fosfora borun difuze edilmesiyle elde edilir.

Arka taraftaki kontak genellikle tüm arka yüzeyi kaplarken, ön kısımdaki metal kontak ince bir parmak çizgisi kalınlığındadır. Ayrıca ön yüzey yansıtıcı olmayan bir kaplamaya sahiptir.

3. SPEKTRAL DAVRANIŞ:

Üretilen akım, yarıiletken enerji boşluğunda oluşmuş enerji içeren fotonlarla üretilen katkılarla meydana gelir. Eğer, belirli bir dalga boyunda temel ışınım ile oluşan akım yoğunluğu artışı, dalga boyunun bir artışı olarak çizilirse, sonuçta çıkacak olan eğri tam bir spektral davranış olarak tanımlanabilir. Şekil 2. de bir kristal silikon pil için böyle bir tipik örnek gösterilmektedir. Dikkat edilirse, görünen spektrumun tümü burada gösterilmiştir. Ayrıca 900 nm de bir tepe değerine sahip olan kızıl ötesi bölge de görülmektedir.

Yoğunluk ve spektral karışım olarak bilinen radyasyon içindeki bir güneş pilinin üretilmiş akım yoğunluğu, ani radyasyonlu tam bir spektral ışınmanın uygun koordinatları vasıtasıyla tam spektral davranışın ordinatlarını çarparak hesaplanabilir. Sonucun integrali alınırsa.

$$I_L = \int s(\lambda) E(\lambda) d\lambda \dots \dots \dots (1)$$

I_L : Am⁻² Üretilmiş akım yoğunluğu
 $s(\lambda)$: AW⁻² λ dalga boyundaki tam spektral davranış
 $E(\lambda)$: Wm⁻² mm⁻¹ λ dalga boyundaki tam spektral ışınım

Hem spektral davranış hem de güneş spektral ışınması eğrileri keskin bir tepe değerlerine sahip olduklarından her iki durumda da ufak bir değişimin üretilen akıma tam olarak etkimesi oldukça iyidir. Bir güneş pilinin performansı böylece ani ışınmanın spektral içeriğine çok duyarlı olur.

Şekil 3. bir güneş pilinin basit bir eşdeğer devresidir. Pozitif bağlı bir diyot gibi davranan

jonksiyona paralel olan sabit bir akım üreticini içerir. R_s seri direnç ve R_y yük direncidir.

Şönt direnç ve kapasite normalde ihmal edilebilir. Yük akımı I_y. I_L ile I_D (jonksiyon akımının farkı) ile oluşan akımdır.

$$I_y = I_L - I_D \dots \dots \dots (2)$$

$$I_y = I_L - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + I R_s)}{nkT} \right) - 1 \right) - \frac{(V + I R_s)}{R_{\text{ŞÖNT}}} \dots \dots \dots (3)$$

Kısa devre olduğunda yani pilin terminallerinde hiç bir gerilim yokken I_D çok küçüktür. Pratik olarak akan tüm akım dış bağlantıya akar. Kısa devre akımı böylece üretilen akımın yararlı bir ölçümü olur. Açık devre gerilimini I_y = 0 için denklem 2.ye göre aşağıdaki denklem ile tanımlanır.

$$V_{oc} = \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \dots \dots \dots (4)$$

4. Cd S / Cd Te GÜNEŞ PİLLERİ:

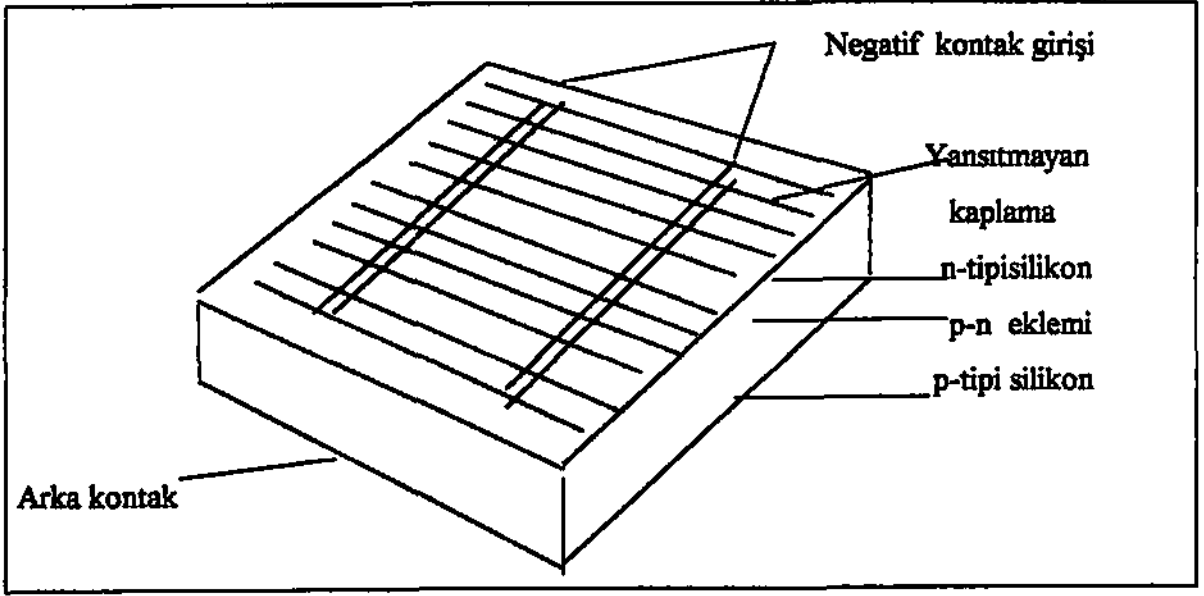
Diğer bir polikristal ince film malzemesi de Cadmium Telleride (CdTe)'dir. Yaklaşık olarak bant genişliği 1.44 eV'tur. Absorpsiyonu oldukça yüksektir. Zaten CdTe, PV cihazlarında alışım olmadan önce de sık sık kullanılıyordu. Genellikle çinko (Zn), ve diğer benzeri elementlerle kolayca bileşik oluşturur.

Cd Te pil çeşitleri şekil 4 de gösterilmektedir.

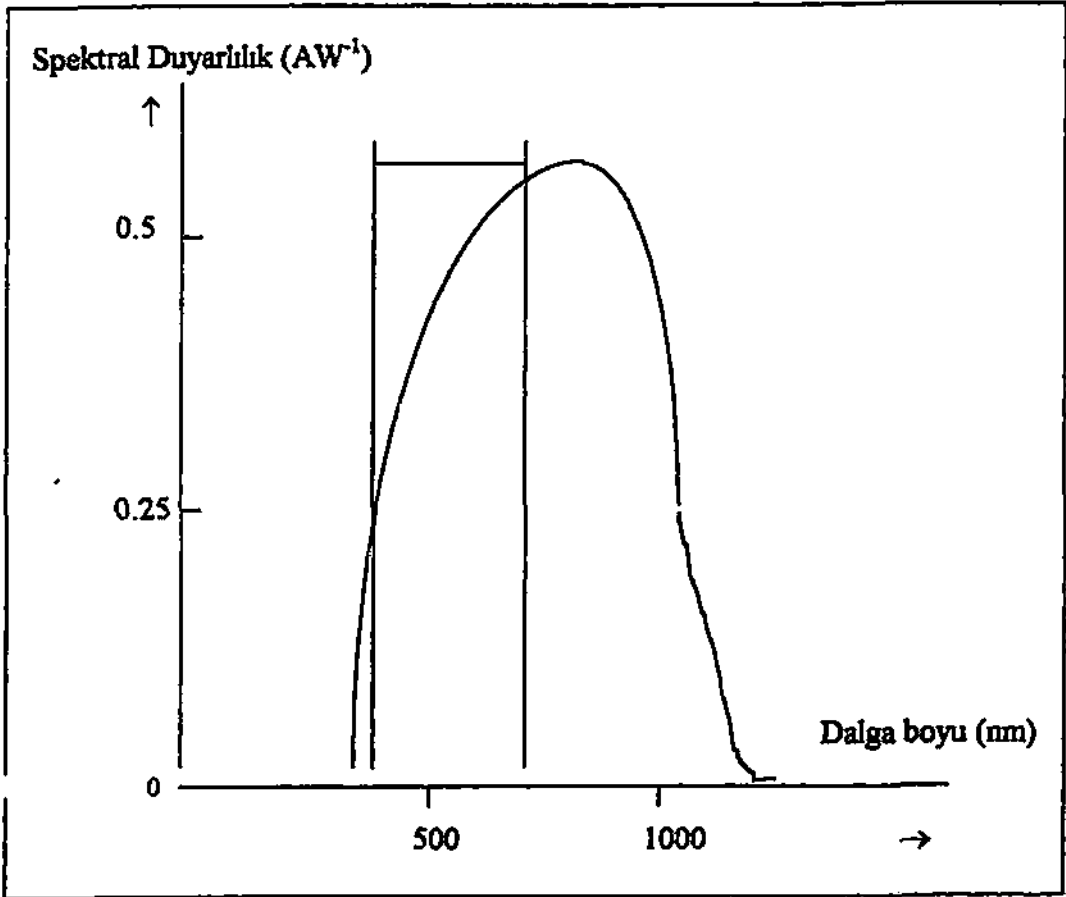
4.1. pTİPİ CdTe OLUŞUMUNDA KULLANILAN TEKNİKLERDEN ELEKTRODEPOZİSYON UYGULAMASI:

Kullanım alanı 300mmx300mm olan, ulaşılabilen en yüksek verimi %10'un üzerinde olan CdS/CdTe güneş pilleri fabrikasyon halinde üretilmeye başlatılmıştır, güvenli ve ucuz maliyetli elektrodepolama CdTe depolanmasında izlenecek yoldur. CdS katı kimyasal banyo depolaması yolu ile oluşturulmaktadır. Maliyeti fazla olan yolla uniform şekilde yapışık filmler üretilmektedir. Küçük alanlı (0.02 cm²) cihazların elektriksel karakterizasyonunun biçimi p-n, daha doğrusu p-i-n olarak kabul edilmektedir. Modül güvenilirlik testleri, azami 16000 saatten fazla verimliliğin stabil olduğunu ve ev içinde çevresel testlerde kullanılmasıyla çok az bir deşipiklik gerektirdiği görülmektedir.

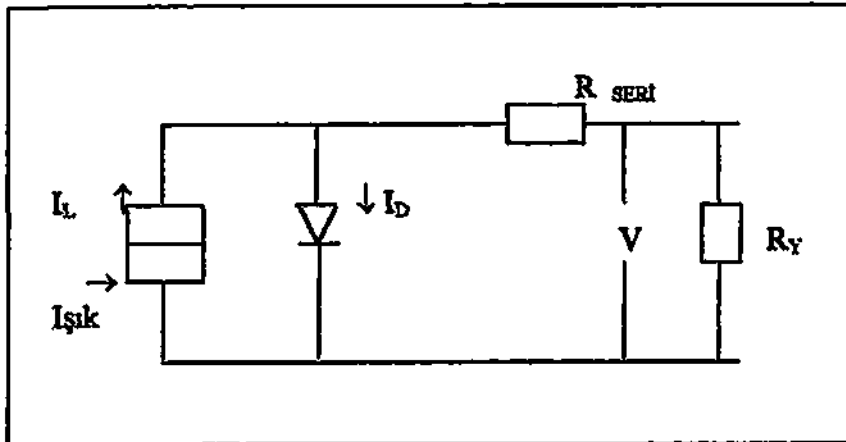
CdS'ün üzerine depolanan CdTe, oksijenli ortamda 500°C sıcaklığın altında tavlama ile n tipinden p tipine dönüştürülmektedir. Küçük alanlı test cihazları ayrıntılı cihaz ölçümlerini



Şekil 1. Kristal silikon güneş pilinin yapısı.



Şekil 2. Spektral Davranış



Sabit 2 Güç verisinin spektral davranış

Tablo 1.(a): MODÜL VERİMLİLİK ÖLÇÜMLERİ, AM 1.5 GLOBAL ALTINDA, $P_{INC} = 1000 \text{ W/m}^2$, PİL SICAKLIĞI 25°C , (GREEN 1995, EMERY, 1994)

PİL TİPİ	VERİMLİLİK %	ALAN ^b cm ²	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	FF %	TEST MERKEZİ (ve tarihi)	ORGANİZATÖR
Si (kristal) pil	21.6	862	32.6	0.703	81.3	Sandia 2.94	Honda/Sun Power, 48
Si (multikristal)	15.3	1017	14.6	1.36	78.6	Sandia 10.94	Sandia/HEM
Si (bıyık spiral)	10.3	3931	20.1	2.72	73.6	NREL 9.94	Texas Instruments
CIGS	11.1	938	25.9	0.637	64	NREL 6.88	ARCO, 55 cells
CIGS (geniş)	10.2	3859	27.2	2.40	61	NREL 7.94	Siemens Solar
CdTe	8.1	838	21.0	0.573	55	NREL 9.91	Photon Energy
CdTe (geniş)	7.8	6838	92.0	0.969	60	NREL 10.93	Solar cells, Inc.
a-Si/aSiGe/a-SiGe	10.2	903	2.32	6.47	61.2	NREL 12.93	USSC (tandem)

a CIGS= CuInGaSe₂; a-Si= amorf silikon/ hidrojen alaşım; a-SiGe= amorf silikon/germanyum/hidrojen alaşım
b Uygulama alanı

Tablo 52a.b.c.Kaynak: Advances in Solar Energy, An Annual Review of Research and Development Volume 10, Karl W. Böer, University of Delaware, 1995, American Solar Energy Society.

Tablo 2.(b): YOĞUNLAŞTIRICI PİL VE MODÜL VERİMLİLİK ÖLÇÜMLERİ, AM 1.5 GLOBAL ALTINDA,
P_{INC}= 1000W/m², PİL SICAKLIĞI 25°C, (GREEN 1995)

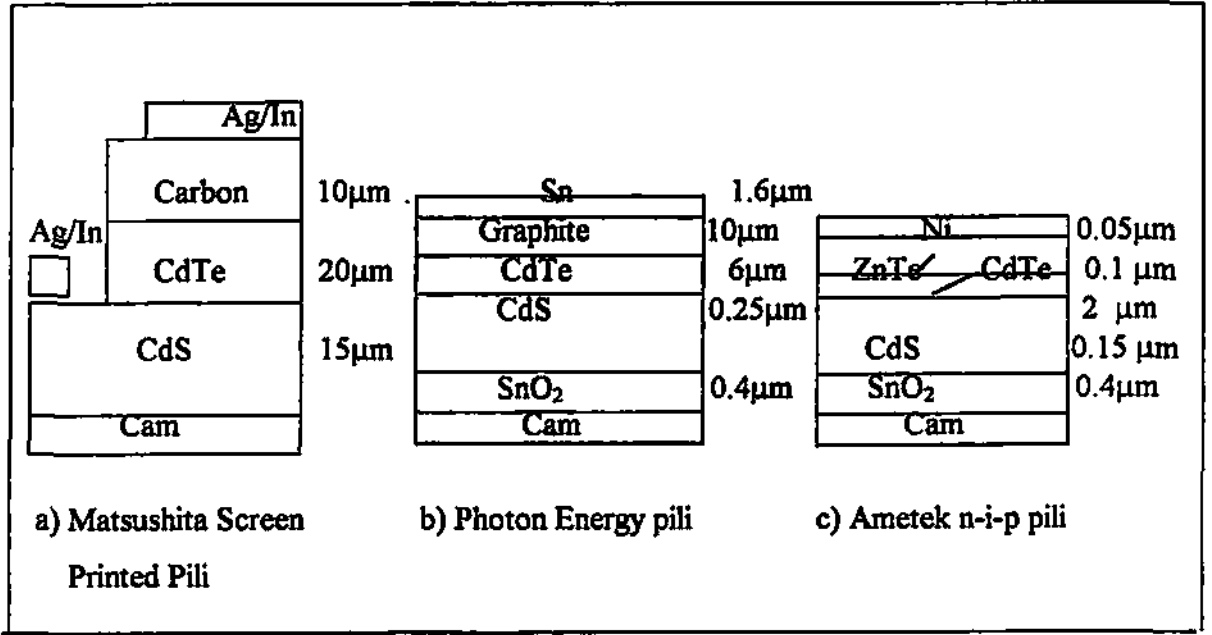
PİL TİPİ	VERİMLİLİK %	ALAN (cm ²)	GÜNEŞ KONSANTRASYONU	TEST MERKEZİ (ve tarihi)	ORGANİZATÖR
TEK PİLLER					
GaAs	27.6	0.126 (ta)	255	Sandia 5.91	Spire
Si	26.5	0.150 (ta)	140	Sandia 5.87	Stanford tek kontak
Si (orta alanlı)	25.7	1.21 (ta)	74	Sandia 7.93	SunPower arka kontak
Si (geniş)	21.6	20.0 (ta)	11	Sandia 9.90	UNSW laser kesmeli
GaAs (Si tabanlı)	21.3	0.126 (ta)	237	Sandia 5.91	Spire
ÇOK EKLEMLİ PİLLER					
GaAs/GaSb	32.6	0.053 (ta)	100	Sandia 10.89	Boeing
InP/GaInAsP	31.8	0.063 (ta)	50	NREL 8.90	NREL
GaAs/GaInAsP	30.2	0.053 (ta)	40	NREL 10.90	NREL
GaInP/GaAs	30.2	0.103 (ta)	180	Sandia 3.94	NREL
GaAs/Si	29.6	0.317 (ta)	350	Sandia 9.88	Varian/Stanford/Sandia
ALT MODÜLLER					
GaAs/GaSb	21.5	41.4 (ua)	57	Sandia 3.93	Boeing
MODÜLLER					
Si	20.3	1875 (ua)	80	Sandia 4.89	Sandia/UNSW/ENTE CH (12 pilli)

ta : Toplam yüzey alan, ua : Uygulamada kullanılan aktif alan

Tablo 1.(c): PİL VE ALTİMODÜL VERİMLİLİK ÖLÇÜMLERİ, AM 1.5 GLOBAL ALTINDA, $P_{inc} = 1000W/m^2$, PİL SICAKLIĞI $25^{\circ}C$, (GREEN 1995, EMERY, 1994)

PİL TİPİ	VERİMLİLİK %	ALAN ^b cm ²	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF %	TEST MERKEZİ (ve tarihi)	ORGANİZATÖR
Silikon Piller							
Si (Kristal)	24	400 (up)	0.709	40.9	82.7	Sandia 9.94	UNSW PERL
Si (Çok kristal)	17.8	1.0(up)	0.628	36.2	78.5	Sandia 3.94	GEORGIA TECH
Si (Geniş çok kristal)	17.2	100 (ta)	0.610	36.4	77.7	JQA 3.93	SHARP
Si (İnce kristal)	17	4.02 (ua)	0.651	32.6	80.3	Sandia 9.94	ANU (20µm kalınlıkta)
Si (Geniş ince film)	14.2	100 (ta)	0.608	30.0	78.1	JQA 3.93	MITSUBISHI
III-V							
GaAs (Kristal PİL)	25.1	3.91 (ta)	1.022	28.2	87.1	NREL 3.90	KOPIN AlGaAs pencece
GaAs(Ge- alt modül)	24.3	4.00 (ta)	1.035	27.6	85.3	NREL3.89	ASEC AlGaAs pencece
GaAs (İnce film pil)	23.3	4.00 (ua)	1.011	27.6	83.8	NREL4.90	KOPIN 5µm CLEFT
GaAs (Alt modül)	21.0	16 (ta)	4.04	6.6	80	NREL4.90	KOPIN 4 CLEFT pilleri
InP (Kristal PİL)	21.9	4.02 (ta)	0.878	29.3	85.4	NREL4.90	SPIRE

Polikristal İnce Film										
CdTe (pil)	15.8	1.05 (ua)	0.843	25.1	74.5	NREL6.92	GÜNEY FLORIDA CSVT SOLAR CELLS INC.			
CdTe (Alt modül)	9.8	63.6 (ua)	6.62	2.2	69	NREL5.93				
CIGS(Pil)	16.4	1.025 (ta)	0.678	32.0	75.8	NREL11.94	NREL, CIGS Camda			
CIGSES (Alt Modül)	12.7	69.1 (ua)	7.49	2.49	68.0	NREL4.94	SIEMENS			
Amorphous Si										
a-Si (Pil)	12.7	1.0 (sa)	0.887	19.4	74.1	JQA 4.92	SANYO			
a-Si (Alt Modül)	12.0	100 (ua)	12.5	1.3	73.5	JQA 12.92	SANYO			
Çok Eklemli Piller										
GaInP/GaAs	29.5	0.25(ta)	2.385	14.0	88.5	NREL6.93	NREL (tek parça)			
GaAlAs/GaAs	27.6	0.50(ta)	2.403	14.0	83.4	NREL3.89	VARIAN (Tek parça)			
GaAs/CIS (İnce film)	25.8	4.00(ta)	-	-	-	NREL11.89	KOPIN / BOEING (4 Terminal)			
a-Si/CIGS (İnce film)	14.6	2.40(ua)	-	-	-	NREL6.88	ARCO (4 Terminal)			
a-Si/ a-SiGe	12.5	0.26(ua)	1.621	11.7	65.8	NREL12.92	USSC/ CANNON (Tek parça)			
a-Si/a-Si/a-SiGe	12.4	0.27(ta)	2.541	7.0	70.0	NREL2.88	ECD (Tek parça)			
a-Si/a-SiGe/a-	12.4	1.0(sa)	2.289	7.9	68.5	JQA12.92	SHARP (Tek			



Şekil 4. CdTe pil çeşitlerinin dizaynları.

kolaylaştırmak için istenilene göre üretilebilmektedir. Bu pillerde geri kontak 0.02 cm^2 alanda, altın vakum altında buharlaştırılır.

4.2. CdTe İNCE FİLMİNE DAYALI TEKNOLOJİLERLE ÇALIŞAN ÖNEMLİ TİCARİ KURULUŞLAR:

1. BP SOLAR: 706 cm^2 modül, %10.1 verimlilik, 7.1 W.
2. PHOTON ENERGY: 832 cm^2 , %8.1 verimlilik, 6.8 W.
3. MATSUSHITA BATTERY: 1200 cm^2 , %8.1 verimlilik, 9.73 W.
4. SOLAR CELL INC.: 6838 cm^2 , %7.8 verimlilik

5. ÇEŞİTLİ GÜNEŞ PİLLERİNİN PARAMETRİK DEĞERLERİ:

Tablo 1.a, 1.b, 1.c. de çeşitli güneş pillerinin parametrik değerleri verilmiş, uygulama yılları ve firma adları belirtilmiştir.

6.SONUÇLAR:

Bu çalışmada, çeşitli güneş pillerinin oluşumları, oluşum karakteristikleri ve verimleri incelenmiştir. Verimi arttırmak için gerekli çalışmalar belirtilmiştir. Güneş pili çeşitleri arasındaki ekonomik analiz yapılmıştır ve günümüzde kullanılabilirlik koşulları araştırılmıştır. Ve ancak hibrit sistemler olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Çevre kirliliğine hiç bir yan etkisi yoktur. Sürekli ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi dışa bağımlı olmadan kullanılabilir. Küçük elektrikli aletler için kullanımı ekonomik ve rahattır. Büyük güneş santralleri, pil verimliliğinin düşük olması nedeni ile, ancak hibrit sistemler şeklinde kurulursa ekonomik olmaktadır.

KAYNAKLAR:

1. RICHARD J. SCHWARTZ., 1993. Proceedings of The IEEE, Vol 81, No 3.
2. SIEMENS, 1.1996, Power Journal.
3. S.K.Das.1993.Preparation and properties of CdS/CdTe thin film solar cell produced by periodic pulse electrodeposition technique.Solar Energy Materials and Solar Cells.
4. S.K.DAS.1993.Characterisation of CdCl_2 treated electrodeposited CdS/CdTe thin film solar cell.Solar Energy Materials and Solar Cell.

5. Solar Energy Materials and Solar Cells.Volum 35, NOS.1-4, September II, 1994

6. T.C.Lee.1993.A photovoltaic study of current transport and its influence on the determination of the Schottky barrier height in Schottky diodes.Semiconductor Science Technologie.

7. Takumi Takashima.1994.New proposal for photovoltaic-thermalsolar energy utilization method.Solar Energy Vol 52.

8. ALLISON J, 1990 Electronic Engineering Semiconductors and Devices, Mc Graw-Hill Book Company Limited U.K.

9. Canan Aytacıoğlu PERDAHÇI, 1997 Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü