

## **E-Beam Tekniği ile üretilmiş CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS İnce Film Güneş Pillerinin Elektriksel Özellikleri**

İbrahim KIRBAŞ<sup>1,\*</sup>, Rasim KARABACAK<sup>2</sup>, Duygu TAKANOĞLU<sup>3</sup>, Koray YILMAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur, Türkiye.

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye.

<sup>3</sup>Pamukkale Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Denizli, Türkiye.

\*ikirbas@mehmetakkif.edu.tr

### **ÖZET**

*Bu çalışmada Elektron Demeti Buharlaştırma (E-beam) tekniği ile biriktirilmiş CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş pillerinin elektriksel özelliklerine tavlamanın etkisi incelendi. İnce film güneş pilleri için alttaş olarak İndiyum kalay oksit (ITO) kaplı cam kullanıldı. Güneş pili absorber tabakası (CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>) azot ortamında 400 °C de 1 saat tavlama yapıldı. Daha sonra pencere tabakası Kadmiyum Sülfür (CdS) biriktirilerek güneş pili oluşturuldu. Üretilen ince film güneş pillerinin elektriksel özellikleri incelemek için solar simülatör ile karanlık ve ışık altında ölçümler yapıldı. İnce film güneş pillerine ait I-V eğrileri incelendiğinde ise elektriksel iletkenliğin tavlama ile arttığı belirlenmiştir.*

**Anahtar kelimeler: İnce Film Güneş Pili, E-beam, II–VI Yarıiletkenler, Elektriksel Özellikler.**

### **Electrical Properties of CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS Thin Film Solar Cells Produced by the E-Beam Technique**

#### **ABSTRACT**

*In this study, the effect of annealing to the electrical properties of CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS thin film solar cells deposited by electron beam evaporation (E-beam) technique was investigated. Indium Tin Oxide (ITO) coated glass was used as a substrate for thin film solar cells. The solar cell absorber layer (CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>) was annealed at 400 °C for 1 hour in nitrogen atmosphere. Then, the window layer Cadmium Sulfur (CdS) was deposition and the solar cell was formed. Dark and light measurements were made with a solar simulator to examine the electrical properties of the thin film solar cells produced. When the I-V curves of thin film solar cells are examined, it is determined that the electrical conductivity is increased by annealing.*

**Keywords: Thin films solar cells, E-beam, II–VI semiconductors, Electrical properties.**

#### **GİRİŞ**

Enerji ihtiyacı; günlük yaşantımızda ve konforumuz için gerekli olduğu gibi her geçen gün giderek artmaktadır. Halen dünyada kullanılmakta olan enerjinin %90'ı fosil tabanlı dönüşümsüz enerji kaynaklarıdır (Sayın ve Koç, 2011). Fosil kaynaklı enerjilerin oluşturduğu çevresel kirlenme ve bu tür enerji kaynaklarının bir gün biteceği bir gerçektir. Ayrıca enerji üretirken çevreyi kirletmek, ardından da temizlemek ve arıtmak yerine, çevreyi kirletmeyen enerji üretim sistemlerini ve kaynaklarını geliştirmek; üretilen enerjinin bir kısmını da arıtma

için kullanılması yerine, bu enerjinin temiz üretim sistemlerinin geliştirilmesi için harcanması muhtemelen daha akıllıca olacaktır (Varınca ve Varank, 2005).

Yukarıda bahsedilen sorunlar sebebiyle dikkatler alternatif enerji kaynakları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu enerji kaynaklarının kendilerini yenileyebiliyor olmaları, ekonomik olmaları ve çevreye zarar vermemeleri gelişmiş ülkelerin bu tür enerji kaynaklarına yatırım yapmaları için yeterli olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde en başta güneş enerjisi gelmektedir. İnsanlık güneş enerjisinde çeşitli şekillerde yararlanmaktadır. Son günlerde güneş enerjisi üzerine yapılan araştırmalar güneş pilleri üzerinedir. Güneş pilleri güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Güneş pilleri üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmış belirli teknolojik birikimler elde edilmiştir. Fakat gelinen nokta yeterli düzeyde değildir. Araştırmacılar küçük alanlardan yüksek verim elde edilebilmesi için çalışmalarını ince film güneş pilleri üzerine odaklamışlardır.

İnce film güneş pilleri için periyodik cetvelin II-VI yarıiletken grubundan olan CdTe ideal bant aralığı (1,5 eV) ve yüksek foton soğurma katsayısı ( $5,1 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) nedeniyle ilgi çekici soğurucu materyal olmuştur (Peksöz 2016). CdTe ikili bileşiğinin yanı sıra çeşitli üçlü yarıiletkenlerin potansiyelleri fotovoltaik uygulamalar için incelenmiştir. Bu tür bazı II-III<sub>2</sub>-VI<sub>4</sub> üçlü bileşikler örneğin CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> son zamanlarda dikkatleri üzerine çekmiştir. CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> enerji bant aralığı 1.1 eV olan yarı iletken bir bileşiktir ve yapısı temel olarak kalkopirit yapıdır (Jain ve ark., 2003).

CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> bileşiği ile oluşturulacak güneş pillerinde en uygun yapı için pencere materyali olarak CdS bileşiğinin kullanılmasıdır. Yarıiletken CdS bileşiği periyodik tablonun II. grup elementlerinden Cd ile VI. grup elementlerinden S'den oluşan bir II-VI grubu bileşiktir. Özellikle güneş pilleri, fotodetektörler, transistörler ve optoelektronik aygıtlarda istenen elektrik ve optik özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir (Ebenezer ve ark., 1988). CdS ince filmlerindeki azınlık taşıyıcılarının ömrü güneş pillerinin üretiminde önemli bir parametredir. n-tipi yarıiletken materyallerde elektron yoğunluğu boşluk yoğunluğundan büyük olduğundan elektriksel iletkenliğe elektronlardan gelen katkı daha fazla olacaktır. Ayrıca güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılacak malzemenin düşük özdirençle sahip olması istenir. CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirençleri 10<sup>4</sup> – 10<sup>8</sup> Ω cm arasında değişmektedir (Süvüt, 2005). Düşük özdirençle sahip CdS ince filmlerinin ucuz tekniklerle elde edilmesi fotovoltaik uygulamalar için çok önemlidir (Vigil ve ark., 1988; Martinez ve rak., 1997).

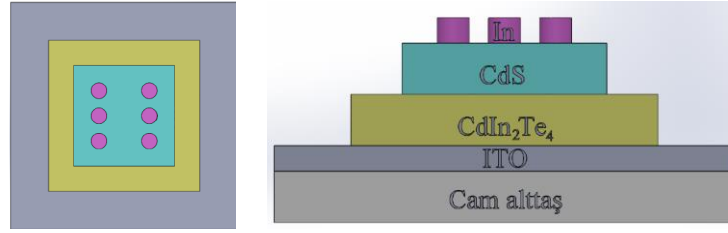
Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden olan vakumda buharlaştırma iki alt guruba ayrılır. Bunlar Termal buharlaştırma ve Elektron Demeti ile buharlaştırmadır. Elektron demeti ile fiziksel buhar biriktirme işlemi anottaki hedef malzemenin çok yüksek vakum altında tungsten flaman ile elektron bombardımanına tutulması ile gerçekleştirilir. Hedefteki atomların yüzeyden koparak gaz fazına geçmesini sağlar. Buharlaştırılan bu atomlar, vakum altında hareket ederek altlık malzemeye yapışır ve ince bir film oluşmasını sağlarlar. Termal buharlaştırma yönteminde rezistif olarak ısıtılan malzeme ile birlikte pota ve ısıtıcılardan bulaşan kalıntılar olabilir. Bu da saf filmler elde etmeyi ya da yüksek ergime noktalı malzemelerin buharlaştırılmasını zorlaştırır. Elektron demeti ile buharlaştırma bu dezavantajları ortadan kaldırır (Aydoğan, 2009).

Bu çalışmada da, Elektron Demeti (E-beam) buharlaştırma yöntemiyle üretilmiş CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS güneş pillerinin elektriksel özelliklerine tavlamanın etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

## MATERYAL VE METOD

ITO kaplı cam alttaşlar E-beam sistemi tutucusuna yerleştirildikten sonra toz halindeki polikristal malzeme kuartz potalar içinde su soğutmalı pota kabinine yerleştirildi.  $2 \times 10^{-5}$  Torr

vakum değerine ulaşıncaya depolama işlemine geçildi. İlk olarak alttaş döndürücü devreye alındı. Akım 2 mA'den başlayarak verilmeye başlandı. Depolama sırasında buharlaşma hızı 25-35 Å/s değerlerinde tutuldu. Depolama kalınlığı 1 µm olduğunda sistem otomatik olarak kesiciyi kapatarak depolama işlemini sonlandırdı. CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> biriktirilerek ince film haline getirilen alttaşlar tavlama işlemine tabi tutulmak üzere 400 °C ye kadar ısıtılmış (Rajendra ve Kekuda, 2012) PROTHERM marka yatay fırın içinde azot ortamında 1 saat süre ile tavlandı. Tavlanmış ve tavlansamış Cam/ITO/CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> numuneleri güneş pili yapısını oluşturmak için E-beam sistemine yerleştirildikten sonra karbon pota içine %99.999 saflıkta CdS polikristali konularak sistem kapatıldı. 2x10<sup>-5</sup> Torr basınçta kalınlık 1 µm değerine ulaşmaya kadar biriktirme işlemi gerçekleştirildi. Cam/ITO/CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS yapısı oluştuktan sonra tavlansamış ve tavlansamış numuneler, üzerine İndiyum kontaklar alındı. Hazırlanan numunelerin şematik yapısı Şekil 1'de verilmiştir.

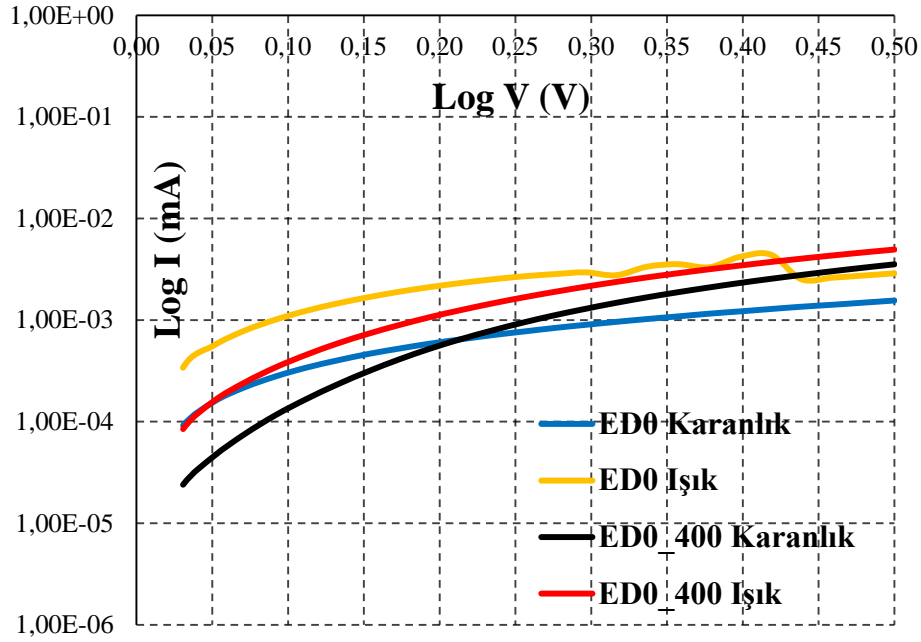


Şekil 1. Güneş Pili Şematik Yapısı

Yapılacak ölçümler için hazırlanışı materyal metod kısmında anlatılan güneş pillerinde, aktif alan olarak, 1.44 cm<sup>2</sup> alan üzerine CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS biriktirilmiştir. Güneş pillerine ait akım-voltaj karakteristikleri Solar Light XPS300 solar simülatör, Solar Light Radiometre PMA2100 ve Keithley 2400 Sourcemeter cihazları yarımıyla 4 sun (4000 W/m<sup>2</sup>) altında AM0 koşullarında oda sıcaklığında incelendi.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Elektron demeti buharlaştırma tekniği ile ITO kaplı cam alttaş üzerine biriktirilen, CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş pillerinin karanlık ve ışık altındaki I-V karakteristiği Şekil 2'de verilmiştir. Materyal metod kısmında da bahsi geçtiği üzere absorber tabakası tavlansamış olarak üretilen ince film güneş piline ED0, absorber tabakası tavlansamış olarak üretilen ince film güneş piline ise ED0\_400 denilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, güneş pillerinin yarıiletken bir diyot olarak çalıştığı dolayısıyla güneş pili yapısının oluştuğu belirlenmiştir. Işık altında vermiş oldukları tepkimeler sonucundan da ışığa karşı duyarlı oldukları gözlemlenmiştir. Tavlanmış pillerin akım gerilim eğrileri incelendiğinde tavlansamış pillere nazaran daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir, bu yüzden tavlamanın etkisinin olumlu yönde olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. ED0 ve ED0\_400 Numunelerinin I-V Karakteristiği

## SONUÇ

ITO kaplı cam alttaş üzerine p-CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> ve n-CdS ince film güneş pilleri Elektron demeti buharlaştırma tekniği ile oluşturuldu. Absorber tabakası tavllanmış ve tavlamanmış ince filmler güneş pili yapısı oluşturulduktan sonra elektriksel özellikleri incelendi. Elde edilen sonuçlar neticesinde ince film güneş pillerinin yarıiletken bir diyot gibi çalıştığı ışığa karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir. İdeal diyot karakteristiği gösteren güneş pillerine tavlamanın etkisine bakıldığında tavllanmış güneş pillerinin akım-gerilim eğrilerinin daha iyi olduğu görülmüştür. E-beam buharlaştırma tekniği ile üretilen CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş pillerinde, tavlama ile akım-gerilim değerlerinin olumlu yönde etkilendiği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- A. Peksöz, "Güneş Pili Uygulamaları için CdTe Yarıiletken İnce Filmlerin Elektrodpozisyon Yöntemiyle Üretilmesi" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21:2 (2016) 1-7.
- B. V. Rajendra and D. Kekuda, "Flexible cadmium telluride/cadmium sulphide thin film solar cells on mica substrate", *J Mater Sci: Mater Electron*, 23 (2012) 1805-1808.
- E. Ebenezer, K.R. Murali, M.J. Chockalingam and V.K. Venkateson, "Electrical properties of vacuum annealed CdS films", *J. Mater. Sci.*, 23 (1988) 3861-3863.
- H.H. Suvüt, "Değişik yöntemlerle elde edilen CdS'ün optik ve elektriksel özelliklerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir, (2005).
- J.L. Martinez, G. Martinez, G. Torres-Delgado, O. Guzman, P. Del Angel, O. Zebya Angel and R. Cozada-Morales, "Cubic CdS thin films studied by spectroscopic ellipsometry", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 8 (1997) 399-403.
- K. Jain, R.K. Sharma, S. Kohli, K.N. Sood, A.C. Rastogi, "Electrochemical deposition and characterization of cadmium indium telluride thin films for photovoltaic application", *Current Applied Physics*, 3 (2003) 251-256.

- K. B. Varınca ve G. Varank, “Rüzgar Kaynaklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Enerji Yönetimi Sempozyumu*, 2005.
- O. Vigil, O. Zelaya-Angel, U. Rodriguez and A. Morales-Aceuedo, “Electrical characterization of chemically deposited CdS thin films under magnetic field application”, *Phys. Stat. Sol.(A)*, 167 (1998) 143-150.
- Ö. Aydoğan, “Elektron demeti buharlaştırma yöntemi ile üretilmiş NiTi ince-şekilli filmlerin faz yapılarının ve optik özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).
- S. Sayın ve İ. Koç, “Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi*, 26:3 (2011) 89-106.