

**ISISAL BUHARLAŞTIRMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİLMİŞ  
CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS İNCE FİLM GÜNEŞ PİLLERİNDE  
TAVLAMANIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

*"UMAS 2017'de sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir."*

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

<sup>1</sup> Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, 15100 Burdur, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., Makine Müh. Böl., Kınıklı 20070 Denizli, TÜRKİYE

<sup>3</sup> Pamukkale Üniversitesi, Fen ve Edebiyat Fak., Fizik Böl., Kınıklı 20070 Denizli, TÜRKİYE  
ikirbas@mehmetakif.edu.tr

**Özet-**Bu çalışmada ısısal buharlaştırma tekniği ile biriktirilmiş CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş pillerinin elektriksel özelliklerine tavlamanın etkisi incelendi. Isısal buharlaştırma tekniği kullanılarak üretilen ince filmler için alttaş malzemesi olarak ITO kaplı cam malzeme seçildi. İlk olarak p-CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> katmanı oluşturuldu. Daha sonra azot ortamında 400 °C de 1 saat tavlama yapıldı. Tavllanmış olan ince filmler üzerine n-CdS katmanı ve İndiyum kontaklar alınarak ince film güneş pilli yapısı oluşturuldu. Elde edilen güneş pillerinin elektriksel analizleri yapıldı. Elektriksel özellikler incelendiğinde güneş pilli yapısı oluştuğu ve tavllanmış güneş pillerinin ideal diyot karakteristiği gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** İnce film güneş pilli, Isısal buharlaştırma, CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,

**THE EFFECT OF ANNEALING ON ELECTRICAL  
CHARACTERISTICS OF CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS THIN FILM SOLAR  
CELLS PRODUCED BY THERMAL EVAPORATION  
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 thermal evaporation technique was investigated. The ITO coated glass material was selected as the substrate material for the thin films produced using the thermal evaporation technique. First a layer of p-CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> was formed. Then annealing at 400 °C for 1 hour in nitrogen atmosphere was performed. The n-CdS layer and indium contacts were deposited on the annealed thin films to form a thin film solar cell structure. Electrical analyzes of the obtained solar cells were performed. When electrical properties were examined, it was determined that solar battery structure and annealed solar cells showed ideal diode characteristics.

**Key Words-** Thin film solar cells, Thermal evaporation, CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>,

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda, silikon tabanlı güneş pillerinin yanı sıra ince film güneş pilleri araştırmacılar tarafından oldukça dikkat toplamıştır. Geleneksel yöntemler ile üretilen silikon tabanlı güneş pilleri maliyetinin yüksek olması, güneş pili yapımında kullanılan malzemelerin rezerv sıkıntısının olması, doğaya ve canlı yaşamına zarar veriyor olması gibi dezavantajları sebebiyle bilim dünyası maliyet olarak daha ucuz güneş pillerine yönelmişlerdir [1]. Bu esnada karşımıza ince film güneş pilleri çıkmaktadır. İnce film teknolojisinin gelişmesi ile elde edilen yarıiletken malzemeler endüstride sıklıkla kullanım alanı bulmaktadır. Yarıiletken cihazlar, fotovoltailer, optoelektronik aygıtlar, güneş enerjisi dönüştürücüler başta gelen çeşitli uygulama alanlarıdır.

Güneş enerjisi dönüşümü için periyodik cetvelin II-VI yarı iletken grubuna ait CdTe bileşiği 1,5 eV band aralığına sahip olması bakımından uygunluğu ile bilinmektedir. CdTe bileşiği ile yapılan ince film güneş pilleri için en uygun yapı p-tipi CdTe ve n-tipi CdS eşleşmesi ile olmuştur [2]. CdS yarıiletken filmi, oda sıcaklığında geniş bir yasak enerji aralığına ve direk band geçişine sahip n tipi bir fotoiletken yarıiletken malzemedir. CdS filminin yasak enerji aralığı değeri 2,42-2,5 eV arasında değişmektedir [3]. Kendisine oranla nispeten daha dar bat aralığına sahip olan CdTe (1,5 eV) gibi yarıiletkenler ile birlikte heteroeklem ince film güneş pillerinde gelen ısınları toplayıp iletme sokan pencere materyali olarak tercih edilmektedir [4].

II-VI bileşiklerinin yanı sıra, çeşitli üçlü yarıiletkenlerin potansiyelleri fotovoltaiik uygulamalar için incelenmiştir. Bu malzemelerin bileşiminin değiştirilmesi ile bant aralığı ve kafes parametrelerinin değişebilir olması önemlidir. Diğer yandan 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 yapısıdır [5].

Son yıllarda, bilimsel ve teknolojik araştırmalarda oldukça çalışılan ince filmler çeşitli yöntemler ile elde edilmiştir [6]. Vakum cihazlarının geliştirilmesi ile üretilen ince filmlerin kristal yapıları, elektriksel ve optik özellikleri araştırılmaya başlanmıştır. Temel olarak ince film üretim teknikleri buhar, sıvı ve katı fazda biriktirme olarak üç ana gruba ayrılmaktadır [7]. Buhar fazda yapılan biriktirme teknikleri ise kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden birisi olan ve en basit mantığa sahip olan ısısal buharlaştırma ise vakum ortamında kaynak malzemenin sıcaklığının artırılması esasına dayanır. Kaplama işlemi, sarılı bir tel veya açık bir bot yardımı ile kaynak malzemenin buhar fazına geçerek altlık üzerine birikmesi ile gerçekleştirilir.

Elektron demeti ile buharlaştırma [8], kimyasal depolama [9], elektrokimyasal depolama [5], gibi birçok biriktirme tekniği, CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> filmler hazırlamak için kullanılmıştır. Çeşitli makaleler ile CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> filmlerin farklı özellikleri incelenmiştir [10,11] ama daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Bu çalışmada da, ısısal buharlaştırma tekniği ile üretilmiş CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS güneş pillerinin elektriksel özelliklerine tavlamanın etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Bu bölümde kullanılan yöntemler yazım formatına uygun bir şekilde açıklanmalıdır. Metin içinde yer verilen matematiksel eşitlikler Eş.1 şeklinde eşitlikten önce verilmelidir [3].

$$X_v = X_L \frac{\pi}{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha} \quad (1)$$

## **2.1. CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> Biriktirilmesi (Deposition of CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>)**

Isısal buharlaştırma sisteminde  $5 \times 10^{-5}$  Torr basınçta ITO kaplı cam alttaş üzerine CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> polikristali biriktirilmiştir. Biriktirme işlemi esnasında alttaş sabit bir hızla döndürülerek biriktirmenin daha kaliteli ve homojen yapıda olması sağlanmıştır. Malzemelerin buharlaşma hızı yaklaşık olarak 15-25 Å/s değerinde tutulmuştur. Yaklaşık 1 µm (10kÅ) kalınlığa ulaşıldığında kesici kapatılarak biriktirme işlemi sonlandırılmıştır.

## **2.2. Tavlama İşlemi (Annealing Process)**

CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> biriktirilmiş alttaşlar tavlama işlemine tabi tutulmak üzere 400 °C ye kadar ısıtılmış [2] PROTHERM marka yatay fırın içinde azot ortamında 1 saat süre ile tavlansmıştır.

## **2.3. CdS Biriktirilmesi (Deposition of CdS)**

Cam/ITO/CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> yapısı oluştuktan sonra tavllanmış ve tavlansmamış numuneler, üzerine pencere tabakası olan CdS polikristalini depolamak üzere ısısal buharlaştırma sisteminin tutucusuna yerleştirildi. Tungsten pota içine toz haldeki % 99.999 saflıkta CdS konularak sistem kapatıldı. Alttaş tutucunun döndürülmesi ve sistemi vakuma alma işlemi başlatıldı. Vakum çemberi iç basıncı  $5 \times 10^{-5}$  Torr basınca gelinceye kadar vakum işlemi devam etti. Daha sonra 1 µm (10kÅ) kalınlığa ulaşıncaya kadar biriktirme işlemine devam edilmiştir. İşlem sırasında malzemenin buharlaşma hızı yaklaşık olarak 10-15 Å/s değerinde tutulmuştur. Kontak Alma İşlemi

Cam/ITO/CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS yapısı oluştuktan sonra tavllanmış ve tavlansmamış numuneler, üzerine kontak almak için ısısal buharlaştırma sisteminin tutucusuna yerleştirildi. Tungsten pota içine katı haldeki In konularak vakum çemberi iç basıncı  $5 \times 10^{-5}$  Torr basınca gelince kontak alma işlemi başlatıldı. Kalınlık monitöründen kaplama kalınlığı 0.5 µm (5 kÅ) değeri okunduğunda kesici kapatılarak biriktirme işlemine son verildi.

## **2.4. Elektrokimyasal Ölçümler (Electrochemical Measurements)**

Yapılacak ölçümler için hazırlanışı materyal metod kısmında anlatılan güneş pillerinde, alttaş malzemesi olarak boyutları: 18 mm X 18 mm X 2 mm ITO kaplı cam kullanıldı. Güneş pillerinde aktif alanlar olarak, 12 mm X 12 mm: CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> ve 8 mm X 8 mm: CdS biriktirilerek elde edilmiştir. Güneş pillerine ait akım-voltaj karakteristikleri Solar Light XPS300 solar simülatör, Solar Light Radiometreler PMA2100 ve Keithley 2400 Sourcemeter cihazları yarımıyla 4 sun (4000 W/m<sup>2</sup>) altında AM0 koşullarında oda sıcaklığında incelendi

## **3. BULGULAR (FINDINGS)**

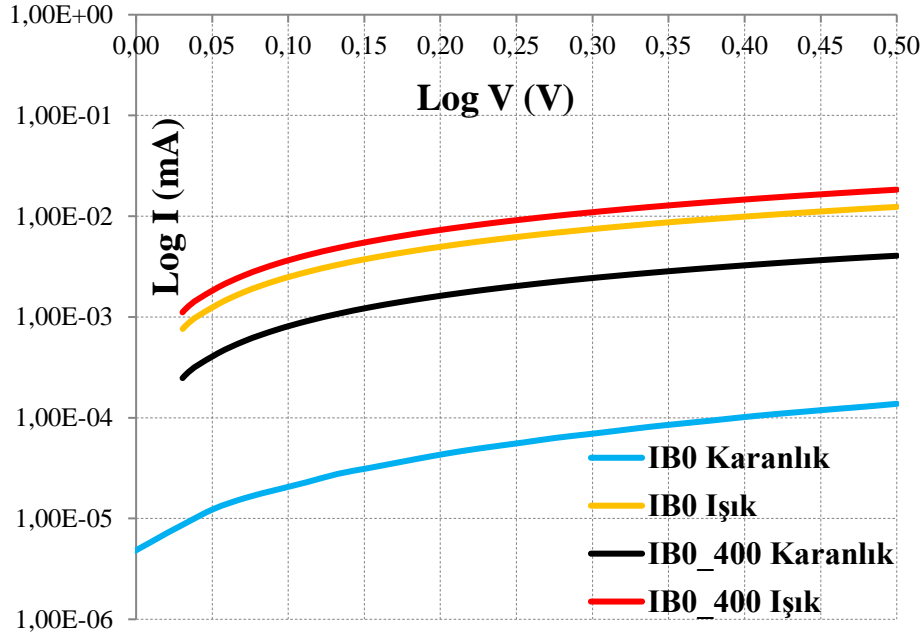
Isısal buharlaştırma tekniği ile ITO kaplı cam alttaş üzerine biriktirilen, yaklaşık 2,0 µm kalınlığındaki CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş pillerinin I-V karakteristiği Şekil 1'de verilmiştir. p-CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> katmanı 400 °C'de 1 saat tavlansmış ve n-CdS katmanı biriktirildikten sonra CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş piline (IB0\_400) denilmiş ve tavlama işlemine tabi tutulmayan CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş piline (IB0) denilmiştir. Grafikte dikey eksen akım değerini yatay eksen ise gerilim değerini göstermektedir ve grafik karşılaştırmanın daha iyi yapılabilmesi için logaritmik olarak hazırlanmıştır.

IB0 ve IB0\_400 güneş pillerine ait karanlık ve ışık altındaki ölçümlerin sonucunda elde edilen karşılaştırmalı grafik (Şekil 1) incelendiğinde, CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS ince film güneş pilleri için akım-gerilim değişimi doğrusal olarak bulunmuştur. Güneş pili yapısı oluştuğu ve güneş pillerinin ışık

altındaki tepkimesi açıkça görülmektedir. Fakat verimlilik bakımından %1'in altında bir değer elde edilmiştir (1). Fotovoltaik güneş pillerinin güneş enerjisini elektrik enerjisine çevrim verimi, diğer enerji sistemlerine göre daha düşüktür. Verimin düşük olması doğal ve teknolojik sınırlamalardan kaynaklanmaktadır [12].

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{opt} \times I_{opt}}{G \times A} \quad (1)$$

(4.5)



Şekil 1. IB0 ve IB0\_400 numunelerinin I-V karakteristiği

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Isısal buharlaştırma tekniği ITO kaplı cam alttaş üzerine p-CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> ve n-CdS yapısını oluşturmak için kullanıldı. Elektriksel özellikleri için p-CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> katmanı 400 °C de tavllanmış ve tavlınmamış ince film güneş pilleri incelendi.

Elektriksel özellikleri incelendiğinde ise güneş pili yapısının oluştuğu ve güneş pillerinin ışığa duyarlı olduğu gözlenmiştir. Isısal buharlaştırma yöntemi ile üretilen tavllanmış güneş pilinin ideal diyot karakteristiği gösterdiği belirlendi. Tavllanmış güneş pillerinin hem karanlık hem de ışık altındaki akım-voltaj ölçümlerinde tavlınmamış güneş pillerine nazaran daha iyi özellik gösterdiği belirlenmiştir. Buda tavlamanın olumlu bir etkisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Verimlilik bakımından incelendiğinde güneş pillerinin verimi için %1'in altında bir değer elde edildi.

Bu yüzden CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>/CdS güneş pili üretimi için diğer üretim yöntemleri yerine, maliyeti düşük ve kullanım parametresi daha az olan ısısal buharlaşma tekniğinin daha uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

Öneri;

Teknolojik kısıtlamalar nedeniyle üzerinde çalışılan pillerin verimleri %1 in altında elde edilmiştir. Teknolojisi geliştirilmiş ısısal buharlaştırma cihazları kullanarak bu malzemeler ile üretilmiş güneş pillerinde daha yüksek verim elde edilebileceği düşünülmektedir.

## **5. KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Akman, E. Akın, S. Karanfil, G. Sönmezoğlu, S., (2013). Organik güneş pilleri, *Trakya Univ J Sci*, 14(1), 1-30.
- [2] B. V. Rajendra and D. Kekuda, (2012). Flexible cadmium telluride/cadmium sulphide thin film solar cells on mica substrate, *J Mater Sci: Mater Electron*, 23, 1805-1808.
- [3] Chavez, H., Jordan, M., McClure, J.C, Cush, G. and Singh, V.P., (1997). Physical and electrical characterization of CdS films deposited by vacuum evaporation, solution growth and spray pyrolysis, *Journal of Materials Science: Materials Electronics*, 8, 151-154.
- [4] Galloway, S.A., Edwards, P.R. and Durose, K., (1999). Characterization of thin film CdS/CdTe solar cells using electron and optical beam induced current, *Solar Energy Materials&Solar Cells*, 57, 61-74.
- [5] K. Jain, R.K. Sharma, S. Kohli, K.N. Sood, A.C. Rastogi, (2003). Electrochemical deposition and characterization of cadmium indium telluride thin films for photovoltaic application, *Current Applied Physics*, 3, 251-256.
- [6] Gölcür, D.,(2012). *CdInTe ince filmlerinin elektriksel ve optik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı.
- [7] Sönmezoğlu, S. Koç, M. Akın, S., (2012). İnce film üretim teknikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5), 389-401.
- [8] Yılmaz, K. and Gölcür, D., (2014). Investigations on structural, electrical and optical Properties of polycrystalline CdInTe thin films grown by thermal evaporation, *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 9, 150-162.
- [9] Singa-ngah, M., et al., (2015). Undoped and Manganese<sup>2+</sup>-doped polycrystalline Cd<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>Te sensitizer for liquid-junction solar cell devices, *Journal of Colloid and Interface Science*, 451, 189-197.
- [10] Mishra, S. and B. Ganguli, (2016). Electronic and optical properties of defect CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> chalcopyrite semiconductor: A first principle approach, *Materials Chemistry and Physics*, 173, 429-437.
- [11] Quintero, M., et al., (1996). Temperature variation of lattice parameter and optical energy gap values of the compounds CdIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> and MnIn<sub>2</sub>Te<sub>4</sub>, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 57(3), 271-276.
- [12] Korur, E., (1990). Güneş enerjisi, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Tübitak, Cilt 23, Sayı 268.