

Al/CuO/p-Si/Al Diyot Yapısının Elektriksel Özellikleri

Mehmet Faruk Karabat¹, İsmail Arsel^{2*}

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman Üniversitesi, Batman, TÜRKİYE

²Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Batman Üniversitesi, Batman, TÜRKİYE

*ismail.arsel@batman.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Metal-yarıiletken arasına yerleştirilen ince metal-oksit (CuO) filmin diyot karakteristikleri üzerine etkisi araştırıldı. Metal yarıiletken arasına yerleştirilen CuO nano yapıları büyütmek için spin coating metodu kullanıldı ve bir Al/CuO/p-Si/Al diyot yapısı üretildi. Üretilen Al/CuO/p-Si/Al diyot yapısının geleneksel (I-V) karakteristiklerinden, idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_{B0}) ve Norde fonksiyonları kullanılarak seri direnç (R_s) değerleri hesaplandı. Elde edilen filmlerin, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alındı. Ayrıca CuO filmlerin optiksel özellikleri UV-VIS spektroskopisi ile incelenmiş ve buradan optiksel enerji bant aralığının 2.08 eV olduğu belirlendi. Hesaplamalara göre, üretilen diyotun doğrultucu diyot olduğu ve fotodiyot özellik gösterdiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Schottky diyot, CuO ince filmler, Sol-jel döndürerek kaplama, SEM, I-V, UV-Vis-NIR

Electrical Characterization Of Al/CuO/p-Si/Al MIS Photovoltaic Cells

ABSTRACT

In this study, The diode characteristics of the thin film of metal-oxide (CuO) was investigated. Spin coating method was used to grow CuO nano-structured thin films interfaced between the metal and semiconductor and an diode structure of Al / CuO / p-Si / Al was produced. Ideality factor (n) and barrier height (Φ_{B0}) were calculated from conventional (I-V) characteristics of Al /CuO/p-Si /Al diode structure and series resistance values (R_s) were calculated by using Norde functions. Scanning electron microscope (SEM) images of that films were obtained. Furthermore, the optical properties of CuO films were analyzed with UV-VIS spectroscopy, and then the optical energy band gap was determined as 2.08 eV.

The calculations suggest that the produced diode was a rectifier diode with photodiodes feature.

Keywords : Schottky diode, CuO thin films, Sol-Gel Spin Coating, SEM, I-V, UV-VIS-NIR,

1. GİRİŞ

Yarıiletken teknoloji katıhal fiziğinin en önemli ilgi alanlarından biridir. Son yıllarda metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) kontaklar ile metal-oksit-yarıiletken yapılar (MOS), yarıiletken teknolojisinde ve optoelektronikte yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Metal-yarıiletken kontaklar üzerinde ilk defa engelin oluşumu için bir model geliştiren Walter H. Schottky olduğu için metal-yarıiletken kontaklara Schottky diyotlar denilmektedir. Metal-yarıiletken (MS) Schottky diyotlarda metal ile yarıiletken arasında, doğal ya da yapay olarak arayüzey tabakası oluşturulabilir. Oluşturulan bu metal-yarıiletken (MS) diyotların çalışma prensibini belirlemek ve bu özelliklerin kullanım alanlarının belirlenmesi önemlidir [1-2].

Literatür incelendiğinde metal-yarıiletken kontaklar, elektronik ve optoelektronik teknolojisinde aygıtların yapımında önemli bir rol oynadığı ortaya çıkmaktadır. Çoklu eklem diyotlar, ışık yayan diyotlar (LEDs), lazer diyotları (LDs), UV fotodedektörler ve Schottky diyotların önemli metal-yarıiletken kontaklar arasında olduğunu düşünürsek, araştırmaların nedenlerinin çok geniş uygulama alanlarına sahip olmasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. İlk bakır oksit tabaka doğrultucular 1920'lerde ortaya çıkmıştır [3].

CuO dar bir bant aralığına sahip olması, spektrumun görünür bölgesinde yüksek soğurum yapabilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla hetero-birleşimli güneş pillerinde, elektronikte ve sensör uygulamalarında kullanılmaktadır [4]. Bunun dışında gaz sensörü olarak da kullanımı oldukça yaygındır [5-6]. Bakır (II) oksit (CuO), zehirli olmayan, doğada bol miktarda bulunabilen ve üretim maliyeti düşük, kahverengi veya siyaha yakın oldukça koyu bir renge sahip parlak bir katıdır ve p-tipi bir yarıiletken malzemedir. Molekül ağırlığı 79.45 g/mol ve yoğunluğu 6.3 g/cm³'tür. Direk enerji bant aralığına sahiptir ve enerji aralığının değeri 1.3 eV ile 2.4 eV arasındadır [7].

Bu çalışmada CuO nano yapılı ince filmleri büyütme için sol-jel döndürme tekniği olan spin coating metodu kullanılmıştır. Üretilen filmlerin optik özellikleri UV-VIS spektroskopisi yardımı ile incelenmiş ve bu filmlerden elde edilen Al/CuO/p-Si/Al yapısının oda sıcaklığında *I-V* ölçümleri alınmıştır. Analizler neticesinde Schottky diyotu için temel parametreler olan engel yüksekliği (Φ_{B0}), idealite faktörü (n) ve Norde fonksiyonları kullanılarak da seri direnç (R_s) gibi parametreler belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda

Al/CuO/p-Si/Al yapısı, diyot özelliğini göstermiş olup daha sonra diyotun morfolojik özelliklerini araştırmak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. CuO Çözeltisinin Hazırlanması

Bakır kaynağı olarak bakır (II) asetat monohidrat ((CH₃COO)₂Cu+H₂O) kullanıldı. İlk önce 100 ml etil alkol (C₂H₅OH) içinde 2.5 gr bakır (II) asetat monohidrat ((CH₃COO)₂Cu+H₂O) yaklaşık 50 °C'de karıştırılarak çözülmesi sağlandı. Çözöldükten sonra 20 damla laktik asit (CH₃CHOH-COOH) damlatıldı. Manyetik karıştırıcıda karışan çözeltiye çözünürlüğü arttırmak için 3 ml triethylamin (C₆H₁₅N) eklendi. Hazırlanan çözelti 1 gün dinlendirildi. Soğuyan çözelti manyetik karıştırıcıda 2 saat karıştırıldı.

2.2. Silisyum Altlığın Hazırlanması

Bu çalışmada, (100) doğrultusuna sahip, $\rho = 1-10 \Omega \cdot \text{cm}$ öz dirençli, önceden parlatılmış p-tipi Si (Silisyum) kristali kullanılmıştır.

2.3. Omik Kontak Yapımı

Kullandığımız yarıiletkenin bir tarafına omik kontak yapılması gerekir. Buharlaştırmada kullandığımız ısıtıcı quartz pota, aseton ve metanol ile ayrı ayrı ultrasonik banyoda 5'er dakika yıkandı ve ısıtıcı yüzeyini etch etmek için seyreltilmiş HCl (%10) ile ve sonra deiyonize su ile iyice yıkandıktan sonra azot gazı ile kurutularak vakum cihazındaki yerine yerleştirildi. Numunelerin omik tarafına buharlaştırılacak olan metal, kimyasal olarak 5'er dakika aseton ve metanolle ultrasonik olarak ve daha sonra metal yüzeylerini etch etmek için seyreltilmiş %10'luk HCl ile temizlendi ve azot gazı ile kurutuldu. Yarıiletkenin omik kontak yapılacak tarafı, önceden çalıştırılarak işlem yapılmaya hazır hale getirilen vakum sistemi içine uygun şekilde yerleştirildi. Vakum içindeki basınç, yaklaşık olarak 5×10^{-6} torr değerine düşünce kimyasal temizliği yapılmış ve ısıtıcı üzerine yerleştirilmiş olan %99.99 saflıktaki alüminyum metali buharlaştırıldı. Kısa bir süre sonra vakum cihazına hava verildi, numune vakum cihazından çıkartılarak kimyasal olarak temizlenmiş quartz pota içine yerleştirilerek,

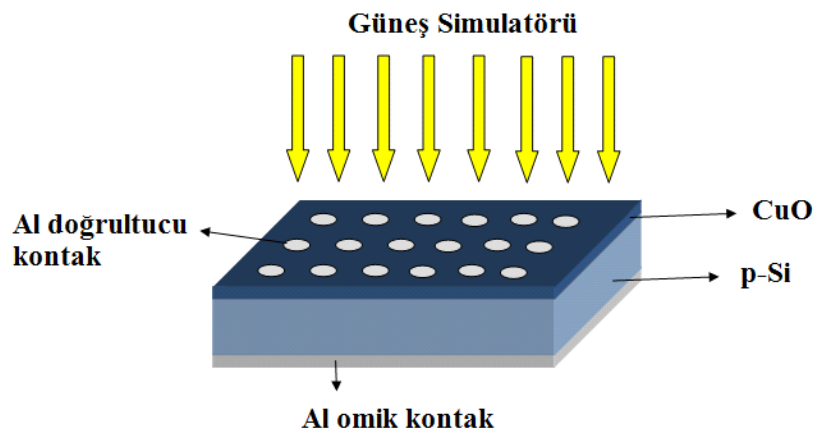
önceden tavlama işlemi için hazır hale getirilen fırına yerleştirilip 570 °C de ve 3 dakika tavlandı. Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu.

2.4. CuO Film Kaplanması

Spin coating tekniği ile CuO filmlerini oluşturabilmek için omik kontak yapılmış p-Si kristal ve cam lamelleri (optik ölçümler için) altlık olarak kullanıldı. Hazırlanmış olan çözeltiden bir mikro pipet yardımı ile yaklaşık 2.5 ml'den daha az olacak şekilde altlık üzerine damlatıldı. Sonra 3000 devir/dakika hız ile 30 saniye döndürüldükten sonra 120 °C'de 5 dakika kurutuldu. Bu işlemler 6 kez tekrar edildikten sonra 500 °C'de 30 dakika tavlansak istenmeyen tüm uçucu kimyasalların çözeltiden ayrılması ve oksitlenmenin gerçekleştirilmesi sağlandı. Cam üzerine kaplanan CuO filmin optik özellikleri, Perkin Elmer Lambda 25 UV-Vis spektrometresi ile ölçüldü.

2.5. Schottky Diyot Elde Edilmesi

Gerekli elektriksel ölçümleri alabilmek için ~ 2000 Å kalınlığında, 1.5 mm çapında Al kontaklar maske yardımıyla CuO/p-Si/Al yapısı üzerine 5×10^{-6} torr basınç altında buharlaştırıldı. Kontakın doğrultucu özellik göstermesi oldukça önemlidir. Diyotun etkin alanı doğrultucu kontak yapılan yüzüdür. Böylece doğrultucu kontakla oluşturulmasıyla Al/CuO/p-Si/Al şeklinde diyot elde edildi.



Şekil 2.1. Al/CuO/p-Si/Al diyotun şematik gösterimi

Diyotun akım-gerilim (I - V) ölçümleri Keithley 2400 sourcemeter cihazı ile yapıldı. Yapılan hesaplamalardan sonra Al/CuO/p-Si/Al diyotunun doğrultucu özellikte olduğu görüldü.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri

Bu çalışmada öncelikle Al/CuO/p-Si/Al Schottky diyotun oda sıcaklığında doğru besleme I - V karakteristikleri incelendi ve diyot için I - V eğrileri Şekil 3.1’de verildi.

İdeal bir Schottky diyotun doğru besleme I - V karakteristiği $V > 3kT/q$ sınırında azınlık taşıyıcı etkileri ihmal edilerek termoiyonik emisyon (TE) teorisine göre [1-2],

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada V_D diyot üzerine düşen gerilim, k Boltzmann sabiti T mutlak sıcaklıktır. I_0 ise doyum akımı olup,

$$I_0 = A^*AT^2 \exp\left(-\frac{e\phi_B}{kT}\right) \quad (3.2)$$

ifadesi elde edilir. Buradan $eV \gg 3kT$ olması durumunda I ihmal edilebilir. Eşitliğin her iki tarafının logaritması ve V ’ye göre türevi alınır, (n) idealite faktörü için,

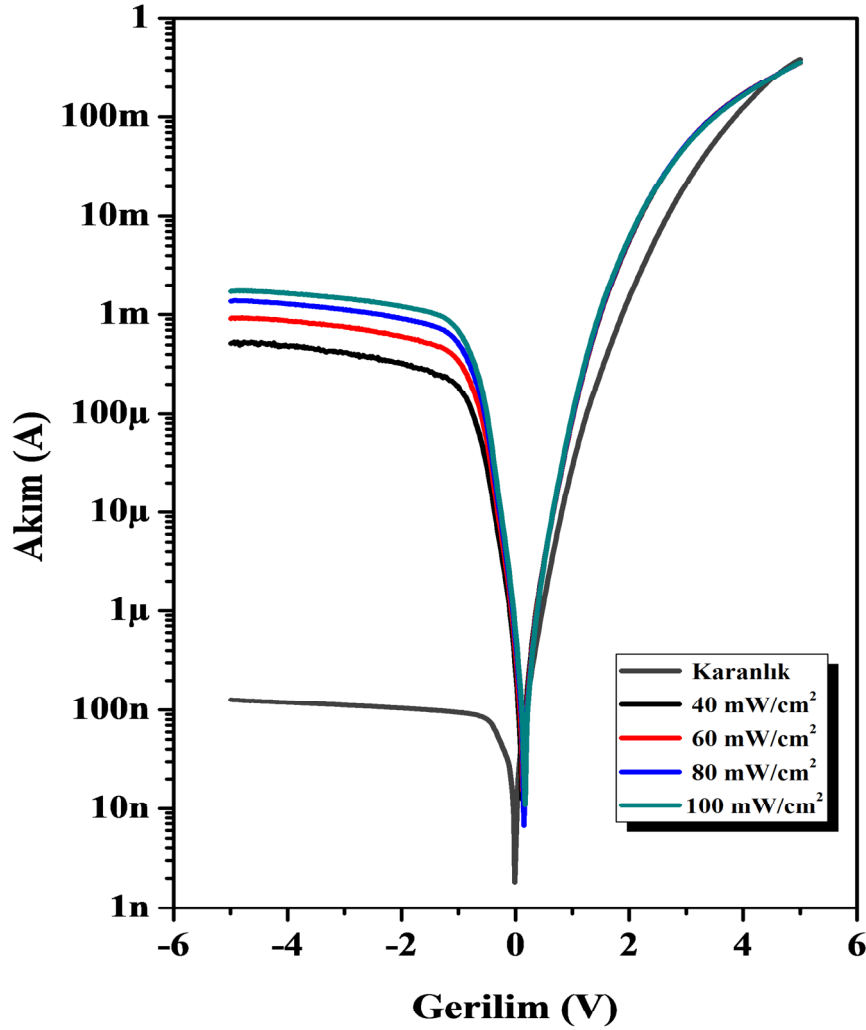
$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3.3)$$

denklemleri elde edilir. Bu ifadedeki $dV/d(\ln I)$ terimi $\ln I$ - V grafiğinden belirlenir. Buna göre Al/CuO/p-Si/Al Schottky diyotun $\ln I$ - V grafiğinin lineer kesiminin eğimi denklem (3.3)’de yerine yazılarak (n) idealite faktörü ve düşey eksen kestiği noktadan doyma akım yoğunluğu hesaplanabilir ve aşağıdaki denklem yardımıyla da,

$$e\phi_{B0} = kT \ln\left(\frac{A^*AT^2}{I_0}\right) \quad (3.4)$$

engel yüksekliği bulunabilir. Hesaplamalarda etkin Richardson sabiti p-tipi Si için $32 \text{ AK}^{-2} \text{ cm}^{-2}$ olarak alındı. Bu hesaplamalardan idealite faktörü 3.47, engel yüksekliği ise 0.70 eV olarak hesaplandı.

Al/CuO/p-Si/Al diyotunun fotoelektriksel karakterizasyonunun gerçekleştirilebilmesi için diyotun I - V ölçümleri AM1.5 global filtreye sahip güneş simülatörü altında 40-100 mW/cm^2 şiddetindeki ışık kullanılarak gerçekleştirildi. Diyotun ışığa karşı duyarlılığının gözlemlenebilmesi için -0.5 V'da 40-100 mW/cm^2 ışık altındaki ve karanlıktaki akım değerleri oranı hesaplanmış ve diyotun fotodiyot özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Tablo 3.1'de diyota ait bulduğumuz değerler verilmiştir.



Şekil 3.1. Al/CuO/p-Si/Al diyotunun simülatör altında ve karanlıkta $\ln I$ - V grafikleri.

Tablo 3.1. 40-100 mW/cm² altında Al/CuO/p-Si/Al diyotunun duyarlılık, V_{oc} ve I_{sc} değerleri

	Duyarlılık	V _{oc} (mV)	I _{sc} (nA)
40 mW/cm ²	4029	110	228
60 mW/cm ²	7112	151	346
80 mW/cm ²	10596	151	598
100 mW/cm ²	13286	171	733

3.2. Norde Fonksiyonları Yardımı ile Engel Yüksekliği ve Seri Direnç Değerlerinin Bulunması

Norde (1979) engel yüksekliği ile seri direncin hesaplanmasında yeni bir metot önermiştir. Bu metoda göre modifiye edilmiş Norde fonksiyonu şu şekildedir [12];

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{e} \left(\frac{I(V)}{AA^* T^2} \right) \quad (3.5)$$

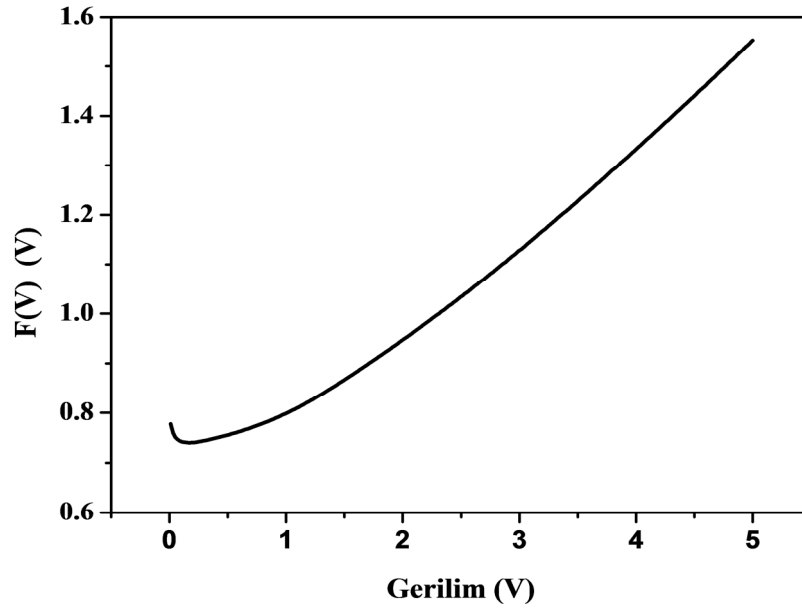
Yapmış olduğumuz çalışmada idealite faktörü $n=3.47$ olduğu için buradaki γ değerini 4 olarak aldık. Çünkü γ ifadesi (n) değerinden büyük olan ilk tamsayıdır. Norde metodunda engel yüksekliği şu şekilde verilir;

$$\phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{e} \quad (3.6)$$

Burada $F(V_0)$ ifadesi $F-V$ grafiğinin minimum $F(V)$ değeridir yapılan hesaplamalara göre bu değer 0.74 eV olarak bulundu. V_0 ise bu değere karşılık gelen gerilim değeridir ve bu değerde 0.1714 V olarak hesaplandı. Bu verilerle Φ_{B0} engel yüksekliği 0.757 eV olarak bulundu.

$$R_s = \frac{kT(\gamma-n)}{el} \quad (3.7)$$

Norde metodunda seri direnç değeri ise yukarıdaki formül (3.7) yardımı ile 145 k Ω olarak bulundu.



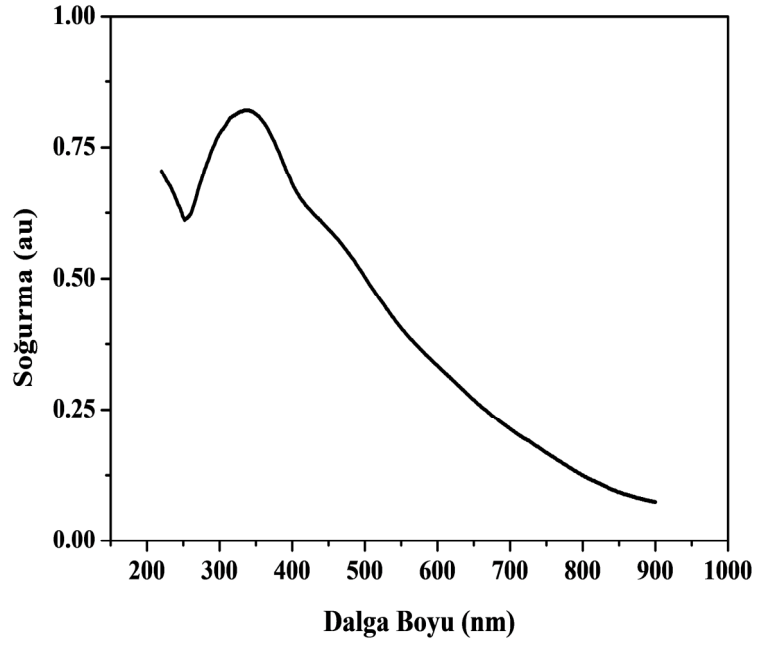
Şekil 3.2. Al/CuO/p-Si/Al diyotunun $F(V)$ - V grafiği

3.3. CuO Filmin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

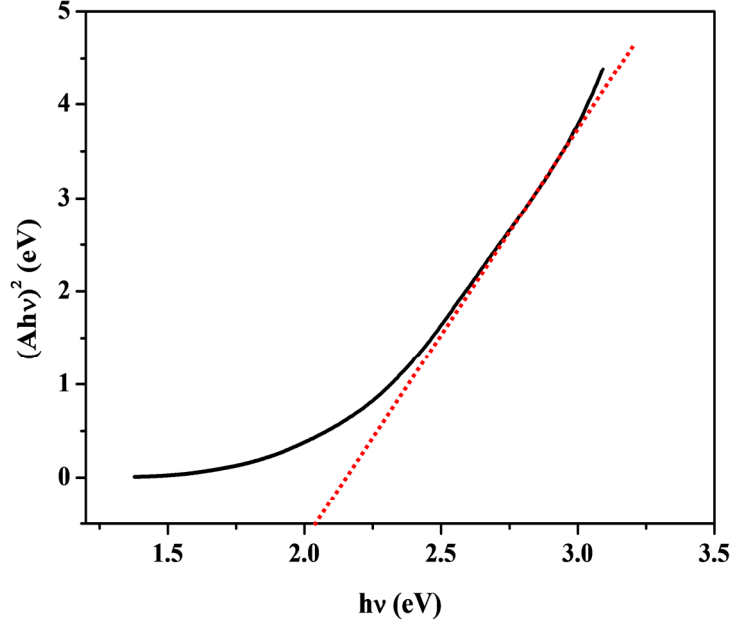
CuO filmin optik özelliklerini tayin etmek için temizleme aşamaları kısım 2.2'de verildiği şekilde cam alt tabakalar temizlenmiştir. CuO film kaplanması işlemleri kısım 2.4'de anlatıldığı gibi yapıldı. CuO filmin optik bant aralığı [8],

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^m \quad (3.8)$$

denkleminde 2.08 eV olarak hesaplandı. Bulunan bu E_g değerinin literatüre uygun olduğu gözlemlendi. Direk bant geçişli p-tipi yarıiletkenler olan Cu_2O ve CuO filmleri sırasıyla 2.1-2.6 eV ve 1.7-2.1 eV' luk yasak enerji bant aralığına sahiptir [9-11].



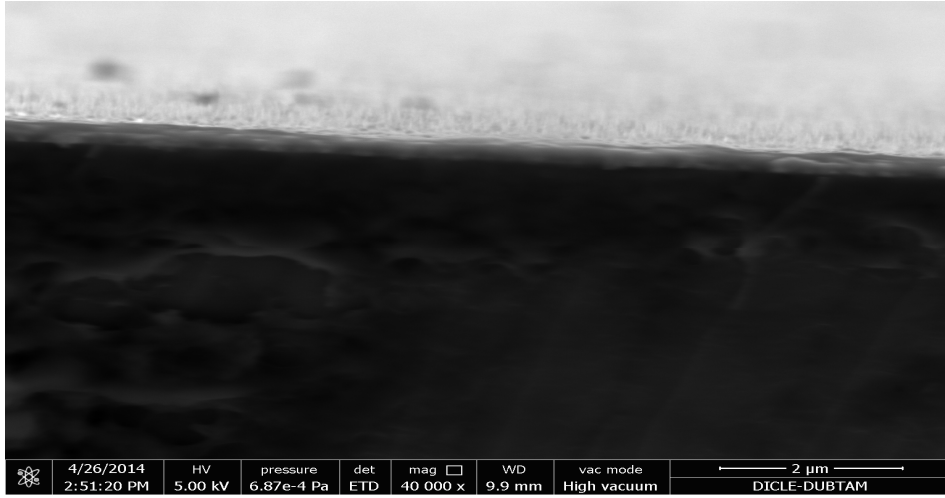
Şekil 3.3. CuO ince filmlerin soğurma spektrumu



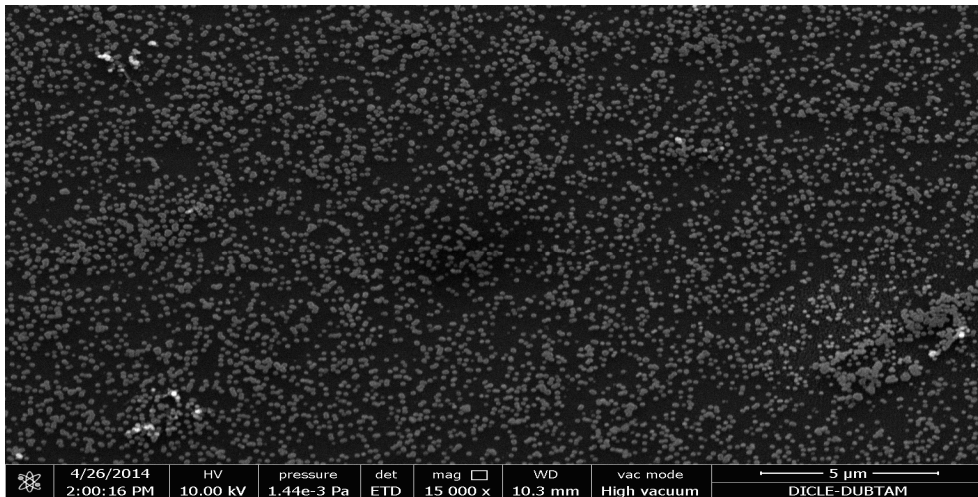
Şekil 3.4. CuO filminin $(Ahv)^2 - hv$ grafiği

3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

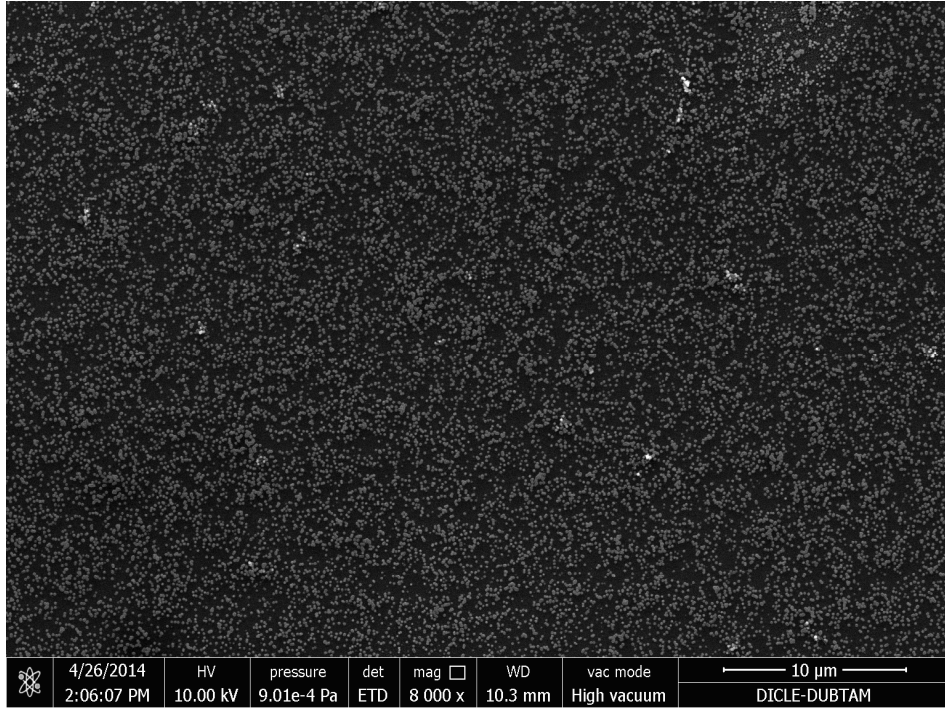
Elektron mikroskobu yüksek voltaj altında hızlandırılmış elektronların malzeme yüzeyine çarptırılıp yansıma prensibine dayanır. Bu yansıyan elektronlar X-ışınları kullanılarak değişik analizler sonucu yüzeyin topoğrafisi elde edilir. Numunelerin mikro yapısal özelliklerinin analizi için yüksek çözünürlüğe sahip taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Döndürerek kaplama yöntemi ile üretilen CuO ince filminin 40000x boyutundaki (yan kesit) SEM görüntüsü.



Şekil 3.6. Döndürerek kaplama yöntemi ile üretilen CuO ince filminin 15000x boyutundaki (yüzey) SEM görüntüsü.



Şekil 3.7. Döndürerek kaplama yöntemi ile üretilen CuO ince filminin 8000x boyutundaki (yüzey) SEM görüntüsü

Halin ve ark. (2008), çalışmalarında aynı yöntemi kullanarak n-tipi silisyum yüzey üzerine büyüttükleri Cu₂O'ların Şekil (3.6) ve Şekil (3.7)'deki benzer yapısı için, düzgün pürüzsüz bir film yüzeyi yerine adacıklar halinde kümelenmiş yapıların oluştuğunu tespit etmişlerdir [13]. Bu durumun yarıiletken tek kristal bir altlık üzerine büyütülen Cu₂O taneciklerinin, yüzeyde dağılımı ve şeklinden dolayı Volmer-Weber büyümesi olarak ifade edilen bir yapının oluştuğunu tayin etmişlerdir. Şekil (3.6) ve Şekil (3.7)'de görülen, elde ettiğimiz yapının Volmer-Weber büyümesinde olduğu gibi adacıklar halinde kümelenen taneciklerden oluştuğunu gözlemlendi. Bu durumun tek kristal yarıiletken bir yüzeyin seçilmesi, ayrıca depo edilen filmin kimyasal potansiyeli ve filmde oluşan gerilimden dolayı (kaplanan metal atomlarının termodinamik olarak sahip oldukları termodinamik enerjiden kaynaklanan bir gerilme durumu) kaynaklandığı söylenebilir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada (100) yönelimine sahip, önceden parlatılmış $\rho=1-10 \Omega.cm$ özdirençli, p-tipi Si (silisyum) kristali kullanılmıştır. Metal ile yarıiletken arasına yerleştirilen CuO nano yapıları ince filmleri büyütme yöntemlerinden biri olan Sol-Jel Spin Coating (döndürme

kaplama) yöntemi kullanıldı. Yapının omik ve doğrultucu kısmı, termal buharlaştırma metodu kullanılarak 5×10^{-6} torr basınç altında ve %99.99 saflığında alüminyum metali kullanıldı. CuO/p-Si/Al yüzeyi üzerine Al (alüminyum) metali 5×10^{-6} torr basınç altında buharlaştırılarak Al/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı üretildi. Metal ile yarıiletken arasına yerleştirilen ince metal-oksit bir filmin diyot karakteristikleri üzerine etkisi araştırıldı. Üretilen filmlerin, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alındı. Diyotun seri direnç ve engel yüksekliği değerleri Norde fonksiyonları kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalardan engel yüksekliği 0.757 eV ve seri direnç ise 145 k Ω olarak bulunmuştur. Üretilen diyot yapısının düz beslem $I-V$ grafiklerinden, idealite faktörü (n) 3.47 olarak bulundu ve engel yüksekliği (Φ_{B0}) değerleri hesaplandı. Diyotun doğru belsem $\ln I-V$ grafiğinin doğrusal kısmı göz önünde bulundurularak engel yüksekliği 0.70 eV ki bu değer Norde fonksiyonlarıyla bulunan değere çok yakındır.

İdealite faktörü değerinin idealden sapması metal ve yarıiletken arasındaki CuO yalıtkan tabakasına ve arayüzey durumlarının özel dağılımlarına atfedildi. Pratikte ideal bir durum için $n=1$ dir. Ancak uygulanan gerilimin engel yüksekliğini bir miktar etkilemesinden dolayı bu duruma literatürde hemen hemen hiç rastlanmamıştır. Hesaplanan (n) değerinin 1'den büyük çıkması metal/yarıiletken arasındaki yalıtkan ara yüzey tabakasına ve aradaki ara yüzey durumlarının dağılımına atfedilebilir [14-17]. İdeal faktörünün 1'den büyük çıkmasının bir diğer nedeni de seri direnç değerinin büyük çıkmasıdır. Uygulanan voltajın bir kısmının yalıtkan tabaka üzerine düşmesi sonucu diyot üzerine düşen gerilimde bir azalma meydana gelir. Bu durum $I-V$ karakteristiklerinin ideal durumdan sapmasına neden olmuştur.

Ayrıca CuO filmlerin optik özellikleri UV-VIS spektroskopisi yardımı ile incelenmiş ve buradan enerji bant aralığının $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye grafiğinin lineer kısmı kullanılarak, değeri 2.08 eV olduğu tayin edilmiştir. Literatürdeki yayınlarla karşılaştırıldığında bulduğumuz bu değer daha önceki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür. Direk enerji bant aralığını olarak bizim elde ettiğimiz değer CuO ile ilgili yayınlardaki verilerle karşılaştırıldığında yakın değerler olduğu gözlenmiştir.

Yaptığımız Al/CuO/p-Si/Al Schottky diyotun fotovoltajik parametleri AM1.5 filtre ile filtrelenmiş güneş simülatörü altında 40, 60, 80, 100 mW/cm² ışık altında bulduğumuz duyarlılık, V_{oc} ve I_{sc} değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Yaptığımız diyot ışığa karşı duyarlı olmasından dolayı fotodiyot özelliktedir. Elde ettiğimiz Al/CuO/p-Si/Al diyotunun simülatör

altında ve karanlıkta $\ln I-V$ grafikleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Işık altındaki değerler karanlıktaki akım değerlerine göre çok farklılık gösterdiğinden dolayı diyotun fotodiyot özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar CuO filmlerin, MIS yapılar ve heteroeklem güneş pillerinde, elektronikte ve sensör uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma İsmail Arsel danışmanlığında, M. Faruk Karabat tarafından 2014 yılında Batman Ü. – Bingöl Ü. Ortak yüksek lisans programı kapsamında yapılan yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Makalenin hazırlanmasında bilgi birikimini bizimle paylaşan Sayın Tahsin KILIÇOĞLU, Ömer GÜLLÜ, Osman PAKMA, Yusuf Selim OCAK ve Cihat ÖZAYDIN'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Ziel A.V., Solid State Physical Electronics Prentice-Hall, New-Jersey, p. 245 (1968).
- [2]. Sze, S. M., Physics of Semiconductor Devices. John-Wiley & Sons Inc., New York (1981).
- [3]. Grondah, L. O. Phys. Rev. 27 813 (1926).
- [4]. Zhang J., Chunshi Li at all., Thin Solid Films 517 5700-5704 (2009).
- [5]. Mangamma, G.; Jayaraman, V.; Gnanasekaran, T.; Periaswami, G., Sensors and Actuators B: Chemical, 53-3 133 (1998).
- [6]. Dandeneau, C. S., Jeon, Yu-H., Shelton, C. T., Plant, T. K., Cann, D. P., Gibbons, B. J., Thin Solid Films, 517-15 4448 (2009).
- [7]. Rafea, M.A., Roushdy, N., Journal of Physics D: Applied Physics 42(1) 015413 (2009).
- [8]. Erdoğan, İ.Y., Güllü, Ö., Journal of Alloys and Compounds 492 378 (2010).
- [9]. Thobor, A. and Pierson, J.F., Materials Letters 57 3676-3680 (2003).
- [10]. Ray, S.C., Solar Energy Materials and Solar Cells 68(3-4) 307-312 (2001).
- [11]. Liu, Y.L., Liu, Y.C., Mu, R., Yang, H., Shao, C.L., Zhang, J.Y., Lu, Y.M., Shen, D.Z., and Fan, X.W., Semiconductor Science Technology 20 44-49 (2005).
- [12]. Norde, H., J. Appl. Phys., 50 5052 (1979).
- [13]. Halin, D. S. C. , Talib, I. A., Hamid, M. A. A. , Daud, A. R., J. Solid State Science & Technology, 16 232 (2008).
- [14]. Singh A., Solid-State Electronics. 28(3) 223 (1985).
- [15]. Singh A., J. Appl. Phys. 68(7) 3475 (1990).

- [16].** Szatkowski J., Sieranski K., *Solid-State Electronics*. 31(2) 257 (1988).
- [17].** Cova P., Singh A., *Solid-State Electronics*. 33(1) 11 (1990).