



Türk Doğa ve Fen Dergisi Turkish Journal of Nature and Science

<http://www.bingol.edu.tr/dergiler/turk-doga-ve-fen-dergisi.aspx>



Ag/Azure A /n-Si Schottky Diyodun elektriksel ve fotovoltaik özelliklerinin araştırılması

Nezir YILDIRIM*¹, Enes DURUMLU ²

Özet

Bu çalışmada; Ag/Azure A/n-Si/Al Schottky diyodların oda sıcaklığında karanlıkta ve solar simülatörde elektriksel ve fotovoltaik özellikleri araştırıldı. Hesaplamaların sonucunda karanlıkta idealite faktörü ve engel yüksekliği I-V ölçümlerinden 1,79, 0,79 eV olarak elde edildi. Fotovoltaik parametreler 100 mW/cm² ışınım altında $V_{oc} = 162$ mV, $I_{sc} = 1,47 \cdot 10^{-6}$ μ A, fill faktörü (FF) % 30 ve verim (η) % 4,09 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere imal edilen diyodun fotovoltaik özelliği olmakla beraber verimleri düşük çıkmıştır. Ayrıca I-V ölçümlerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında diyodun iyi bir doğrultma özelliğine sahip olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: n-tipi Si; organik arayüzey maddeleri; Azure A; Schottky diyot

Electrical and photovoltaic properties of Ag/Azure A /n-Si Schottky Diode

Abstract

In this study; we fabricated Ag / Azure A / n-Si / Al Schottky diodes were investigated electrical and photovoltaic parameters in the dark and solar simulator. The current voltage measurements, the ideality factor and barrier height at room temperature and in the dark were obtained 1.79, 0.79 eV respectively. The photovoltaic parameters were calculated as $V_{oc} = 162$ mV, $I_{sc} = 1,47 \cdot 10^{-6}$ μ A, fill factor (FF) 30% and yield (η) 4,09% under 100 mW / cm² radiation. The results obtained from electrical and photovoltaic properties show that the device can be used as photodiode and in opto-electronic circuit applications. In addition, it can be said that the diode rectifying ability is good when the results obtained from I-V measurements are taken into consideration.

Keywords: n-type Si; Organic interface substances; Azure A; Schottky diode

1. Giriş

Metal-yarıiletken (MY) kontaktların elektriksel karakteristikleri metal ile yarıiletken arasında kullanılan ara yüzey malzemesinin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Metal-yarıiletken kontaktların ara yüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü gibi diyota ait birçok özelliği değiştireceğinden kullanılan malzemenin özellikleri önemlidir. Organik yarıiletkenlere geleceğin malzemesi gözüyle bakılmaktadır. Günümüzde birçok araştırmacı MY yapıların elektriksel özelliklerini değiştirmek için ara yüzey malzemesi olarak organik yarıiletken malzeme kullanımı üzerine çalışmalar yapmaktadır. Fotodiyotlar, ışığı akıma dönüştüren yarıiletken optoelektronik aygıtlardır. Fotodiyodların temeli Schottky diyot veya p-n eklemi gibi yarıiletken malzemelerdir. Elektronik ve optoelektronik cihazlar üzerine yapılan son çalışmalarda, organometalik bileşikler üzerinde daha çok durulmaktadır. Bu uygulamalardan, boya duyarlılaştırılmış güneş pilleri (dye-sensitized solar cells DSCs) geleneksel silisyum fotovoltaik

cihazlara alternatif olarak dikkat çekmektedir. Pek çok güneş pilleri ve Schottky diyotları, ftalosiyanın kompleksleri kullanılarak imal edilmiştir [1-9]. Ocak ve ark., [10], yeni, sentezlenmiş Mn heksamid (MnHA) organometalik kompleksi ile Schottky diyot oluşum ihtimalini göstermiştir. Organik yarıiletken ince filmler, elektronik ve optoelektronik cihazları aktive etmek için yararlı ve hatta gerekli malzemeler olabilir. MY yapıların elektriksel ve fotovoltaik özellikleri inorganik yarıiletken ile metal arasında bir organik katman eklendiğinde değiştirilebilir. Schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliği (Φ_b) ve idealite faktörü (n) gibi diyot parametrelerinin belirlenmesinde arayüzey durumlarının yoğunluğu önemli rol oynar. Literatürde bulunan çalışmalar, inorganik bir yarı iletken üzerinde organik ince filmin büyütülmesiyle engel yüksekliğinin artırılabilceğini veya azaltılacağı gösterilmiştir [6-9]. Çaldıran ve ark., [11], Au/ Antrasene/n-Si/Al Schottky diyodunun iyi bir doğrultucu özelliği sergilediğini gösterdiler. Ayrıca Antrasene organik tabakanın Au ve n-Si arasındaki fiziksel engel oluşturarak Au / n-Si / Al diyotun etkin engel yüksekliğini arttırdığını da göstermişlerdir. Orak ve ark., [12], organik-inorganik heteroeklemler üreterek organik tabaka kalınlığının

¹ Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 12000, Bingöl, Türkiye

*Sorumlu yazar E-posta: nilyildirim@bingol.edu.tr

elektriksel ve fotovoltaik performans üzerindeki etkisini araştırdılar. Aydoğan ve ark., [13], Si üzerinde elektrokimyasal polimerizasyon tekniği ile bir polianilin tabakası oluşturarak bir polianilin / p-Si / Al MIS yapısını elde ettiler. Kapasitans-voltaj-frekans (C-V-f) ölçümlerini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gerçekleştirdiler.

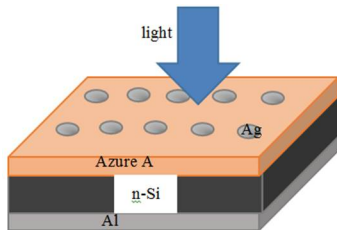
Yakuphanoglu ve ark., [14], organik boya ile n-tipi Si / metal yapısını elde ettiler. Au/Metilen mavisi /n-Si diyotlarının elektronik parametrelerini ve fotovoltaik özelliklerini akım voltaj (I-V) ve kapasitans-iletkenlik frekans (C-G-f) teknikleri ile ölçmüşlerdir. Diyodun organik tabaka ve seri direnç varlığından dolayı ideal olmayan davranış gösterdiğini ispatladılar. Yine; diyodun solar simülátörde (100 mW cm⁻²) 230 mV'luk maksimum açık devre voltajı ve 20,8 µA'luk kısa devre akımı ile fotovoltaik davranışa sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada, literatürde hakkında az çalışma yapılan Ag/Azure A/n-Si/Al yapısının elektriksel ve fotovoltaik özelliklerini araştırmaktır. Metal/organik/yarıiletken/metal yapısı elde edildikten sonra karanlıkta ve solar simülátörde 100 mW/cm² aydınlatma koşullarında elektiksel karakteristiklerinden fotovoltaik parametreleri elde edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

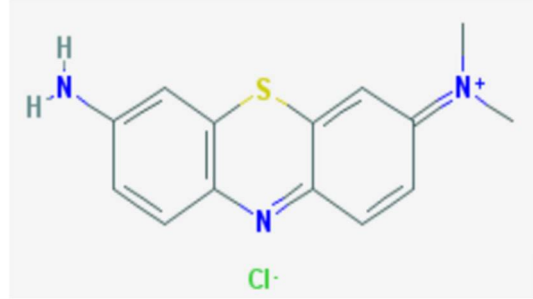
2.1. Numunenin Temizlenmesi ve Elde Edilmesi

400µm kalınlıkta, [100] doğrultusunda büyütülmüş, donör konsantrasyonu 2,5x10¹⁵ cm⁻³ olan ve iki yüzü parlatılmış n-Si kristali kullanıldı. Numunenin her iki yüzünün parlatılmış olmasından dolayı, yüzeylerde herhangi bir mekanik temizlemeye ihtiyaç duyulmadı. Kristal üzerindeki organik ve anorganik kirlilikleri temizlemek ve yüzeyde olması muhtemel pürüzleri gidermek için Aseton ve Metanolde ultrasonik olarak 10'ar dakika yıkandıktan sonra RCA1 ve RCA2 çözeltilerinde 10 dak. 50-60 °C'de yıkandı. Akan 18 MΩ deiyonize su içinde 15-20 dakika bekletildikten sonra Azot gazı ile kurutuldu [15-17]. Omik kontak için kullanılacak Al önceden temizlendi. Daha sonra vakum ünitesine yerleştirilen wafer üzerine 10⁻⁵ torr basınçta bir yüzeyine termal olarak Al buharlaştırıldı. Vakum ortamından alınan numune kontakın homojen olması ve yarıiletkenin içine nüfuz etmesi için buharlaştırma işleminden sonra numune N₂ ortamında 420 °C'de 3 dakika tavlama fırınında tavlanaarak omik kontak elde edildi. Bir tarafına omik kontak yapılmış wafer'dan 1 cm x 1 cm lik parça kesildi. n-tipi Si waferin diğer yüzeyine 3 µL'lik Azure A organik boyar maddeye 0,001 M alkol eklenerek oluşturulan çözelti damlatıldı. Oda sıcaklığında 60 dakika N₂ atmosferi altında kurumması beklendi. Daha sonra Schottky kontak yapmak için DC magnetron sputter sistemine Ag hedef plaka yerleştirildi. DC Sputter tekniği ile Si waferin diğer yüzeyine yaklaşık 1,5 mm çapında Schottky kontaklar yapıldı. Sonuç olarak Ag/Azure A/n-Si/Al (Metal/aryüzey/yarıiletken/metal) numuneler elde edildi.



Şekil 1. Ag/Azure A/n-Si/Al Schottky diyodun şematik gösterimi

Elde edilen Schottky diyodun (SD) karanlıkta ve solar simülátörde 100mW/cm² ışık altında elektriksel ve fotovoltaik özellikleri araştırıldı. Organik ara yüzey malzemesi kullanılarak elde edilen Al/Azure A/n-Si/Ag yarıiletken Schottky diyodun şematik gösterimi Şekil 1'de verilmektedir. Azure A organik boya maddesinin moleküler yapısı 2 boyutlu olarak Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Azure A (C₁₄H₁₄ClN₃S) moleküler yapısı

2.2. Akım-Voltaj Karakteristikleri

Diyodun idealite faktörünün hesaplanmasında deneysel I-V ölçümleri termiyonik emisyon teorisi ile analiz edilebilir [2].

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_d}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

(1) eşitliğinde her iki tarafın ln'i alındıktan sonra V'ye göre diferansiyel alınıp düzenlenirse;

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln I} \right) \quad (2)$$

elde edilir. İdealite faktörü (n), diyodun ideal özelliklerden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir. İdeal bir diyot için bu faktör yaklaşık olarak 1'e eşit olmalı. Grafiklerin doğru beslem bölgesindeki lineer kısmına fit edilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi ve düşey eksenini kestiği noktadan doyma akımı yardımıyla termiyonik emisyon teorisinden idealite faktörleri ve engel yükseklikleri elde edilir.

lnI-V grafiğinin doğrusal kısmına fit edilen doğrunun V=0'da düşey eksenini kestiği nokta I₀ doyma akımını verir. (1) ifadesindeki I₀ doyma akımı;

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada A diyot alanı, A*Richardson sabiti, T Kelvin olarak sıcaklık, k Boltzmann sabiti, q elektronun yükü ve Φ_B sıfır gerilimde engel yüksekliği olarak tanımlanmıştır. (3) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, Φ_B'ye göre çözümlürse;

$$e\Phi_B = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (4)$$

şeklinde engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

2.3. Norde Modeli Yardımı ile Engel Yüksekliği ve Seri Direncin Hesaplanması

Norde, engel yüksekliği hesabı ve seri direncin hesaplanmasında yeni bir metot ileri sürmüştür [18]. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonu şöyle yazılabilir.

$$F(V) = \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (5)$$

fonksiyonu kullanılarak Schottky diyotların akım-gerilim karakteristikleri gösterildi [18-19]. Burada A diyodun alanı, A* modifiye edilmiş Richardson sabiti, q elektronik yüküdür. F(V) fonksiyonunun minimum noktası düşünüldüğünde, minimum V₀ voltajına karşılık gelen F(V₀) değeri kullanılarak engel yüksekliği değeri;

$$\Phi_B = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{q}{kT} \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Seri direnç değeri V₀'a karşılık gelen I₀ değeri kullanılarak;

$$R_s = kT \frac{(\gamma - n)}{qI_0} \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. Burada γ ifadesi n değerinden büyük olan ilk tam sayıdır. I₀ ise V potansiyelinin minimum olduğu akım değeridir. Norde'nin kullandığı bu model, ideal durumlar ve seri direncin küçük olduğu durumlar için geçerli olup, ideal olmayan durumlar için genelleştirilmiş Norde modeli kullanılarak seri direnç ve engel yüksekliği değerlerinde hesaplanabileceği gösterilmiştir [19-20].

2.4. Fotovoltaik Özelliklerin İncelenmesi

Dünyanın farklı yerlerindeki laboratuvarlarda üretilen ve karakterize edilen güneş pillerinin karşılaştırılabilmesi için, ölçümlerin tamamı standart test şartlarında yapılmalıdır. Bu şartlara göre ölçümü yapılan güneş pilinin sıcaklığı 25 °C, ölçüm alınan ışının şiddeti 100 mW/cm² ve spektral dağılımı 1,5 AM olmalıdır. Hava Kütlesi (air mass AM), güneş ışınlarının, güneş Zenith noktasına θ ° konumunda iken atmosferde aldığı yolu, ışınların güneş Zenith konumunda iken atmosferde aldığı yola oranıdır. 1,5 AM hava kütlesi spektral dağılımı, standart test şartı olarak belirlenmiştir ve güneş ışınları θ=48° açıyla gelirken sahip oldukları spektral güç dağılımıdır. Fotovoltaik sistemler genellikle, karanlık da dahil olmak üzere farklı ışınım şiddetlerinde uygulanan gerilime göre değişen akım yoğunluğunun ölçülmesi ile karakterize edilirler [21].

Kısa Devre Akımı (I_{sc}), Pil üzerine uygulanan gerilim V_a=0 Volt iken ölçülen akım, kısa devre akımıdır (Şekil 3). Bu durumda

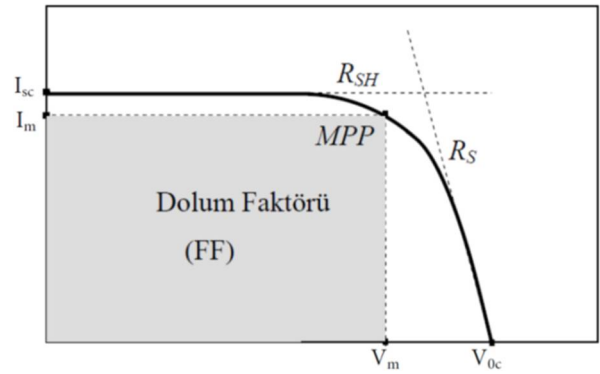
$$I_{sc} = I_{aydınlık} \quad (8)$$

şeklinde basitleşmektedir. Kısa devre akımı, ışının bir fonksiyonudur. Kısa devre akımı yoğunlu ise (J_{0c}), kısa devre akımının, fotoaktif yüzey alanına bölümüdür. Açık Devre Gerilimi (V_{oc}): devre üzerinden hiç akım geçmiyor iken (I=0), ölçülen gerilim değeridir. Şekil 4'de görüldüğü üzere

$$V_a = V_{oc} \quad (9)$$

Bu durumda,

$$I_{ayd} = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{V_{th}}\right) - 1 \right] \text{ mA} \quad (10)$$



Şekil 3. Güneş pilinin akım-gerilim (I-V) grafiği

$$V_{oc} = V_{th} \ln\left(\frac{I_{ayd}}{I_0} - 1\right) \cong V_{th} \ln\left(\frac{I_{ayd}}{I_0}\right) \text{ (Volt)} \quad (11)$$

Eşitliği V_{oc}'nin ışınım şiddetine bağlılığını göstermektedir. Maksimum Güç Noktası (MPP) güneş piline V_a gerilimi uygulanırken elde edilen güç, uygulanan potansiyelde oluşan akım ile potansiyelin (V_a) çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen gücün en yüksek olduğu noktaya Maksimum Güç Noktası (MPP) denir. Bu noktadaki akım ve gerilim güneş pilinin maksimum akımı (I_m) ve maksimum gerilimi (V_m) şeklinde ifade edilir.

$$MPP = V_m \times J_m \text{ (mW/cm}^2\text{)} \quad (12)$$

Dolum Faktörü (FF), pilin bir güç kaynağı olarak kalitesinin bir ölçüsüdür ve maksimum gücün, açık devre gerilimi ile kısa devre akımı çarpımına oranıdır [18-19].

$$FF = \frac{V_m \cdot J_m}{V_{oc} \cdot J_{oc}} = \frac{MPP}{V_{oc} \cdot J_{oc}} \quad (13)$$

Güneş pilinin "iyi" olarak nitelendirilmesi için, dolum faktörünün (FF) = 0,75-0,80 aralığında olması gerekmektedir. Verim (η), güneş pilinin performansının ifadesidir ve elde edilen maksimum gücün (MPP), güneş pili yüzeyine gelen ışık şiddetine (P_{ışık}) oranıdır [21-24].

$$\eta = \frac{MPP}{P_{ışık}} = \frac{V_m \cdot J_m}{P_{ışık}} \quad (14)$$

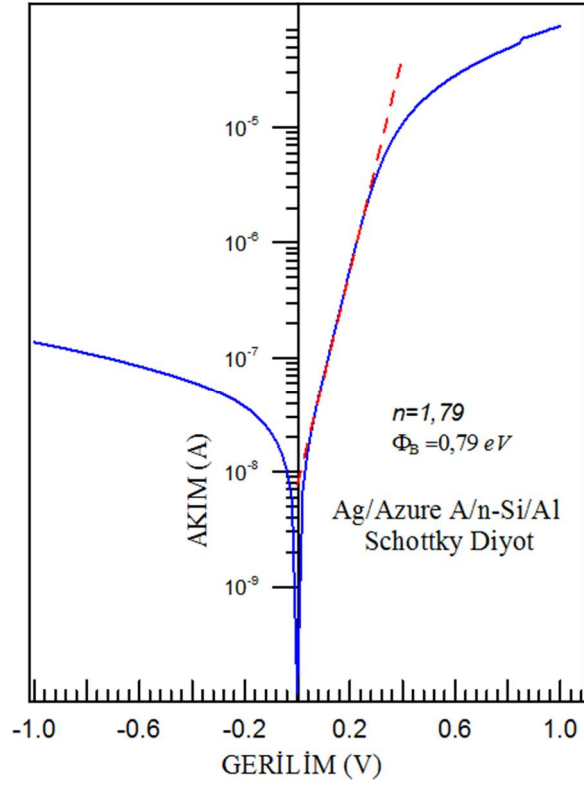
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Akım-Voltaj Karakteristikleri

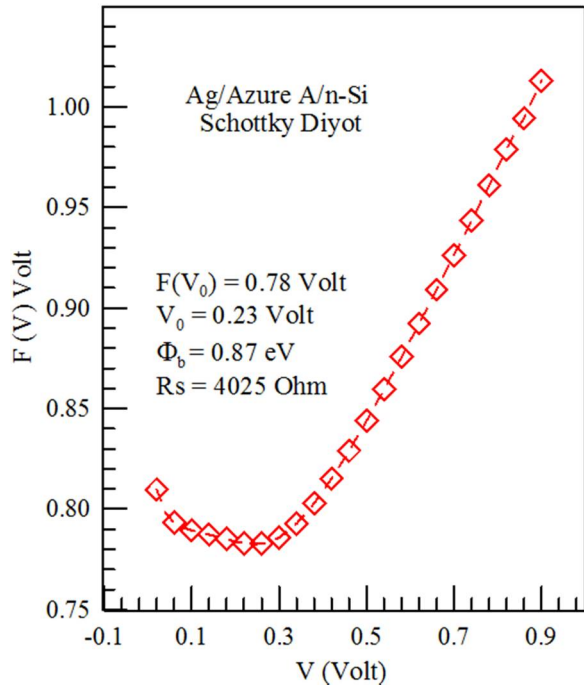
Akım- Voltaj (I-V) ölçümlerinden elde edilen değerler ve diğer sabit veriler (2) ve (4) ifadelerinde yerlerine yazılarak idealite faktörleri ve engel yüksekliği hesaplanır. Şekil 4'de Akım-Voltaj ölçümlerinden oda sıcaklığında ve karanlıkta yarı logaritmik akım-gerilim grafiği ile fit doğrusu birlikte verilmiştir. Ag/Azure A/n-Si diyodu için idealite faktörü ve engel yüksekliği (2) ve (4) eşitliklerinden 1,79 ve 0,79 eV olarak hesaplanmıştır.

Metal-yarıiletken doğrultucu kontakların seri dirençleri ne kadar düşük olursa akım-gerilim karakteristikleri o kadar lineer olur ve diyot kalitesi de aynı oranda artar. Ag/Azure A/n-Si Schottky diyodun oda sıcaklığında seri direnç ve engel yüksekliği değerleri Norde Fonksiyonları kullanılarak hesaplandı. I-V ölçümlerinden idealite faktörü 1,79 bulunduğu için γ değeri 2 alınmalıdır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 5'deki F(V)-V grafiğinden V₀ değeri ve (7) ifadesi kullanılarak seri direnç yaklaşık 4 kΩ

olarak hesaplanmıştır. Norde fonksiyonlarından (6) denkleminde hareketle engel yüksekliği oda sıcaklığında 0,87 eV, olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Oda sıcaklığında ve karanlıkta yarı logaritmik akım-gerilim grafiği ile fit doğrusu

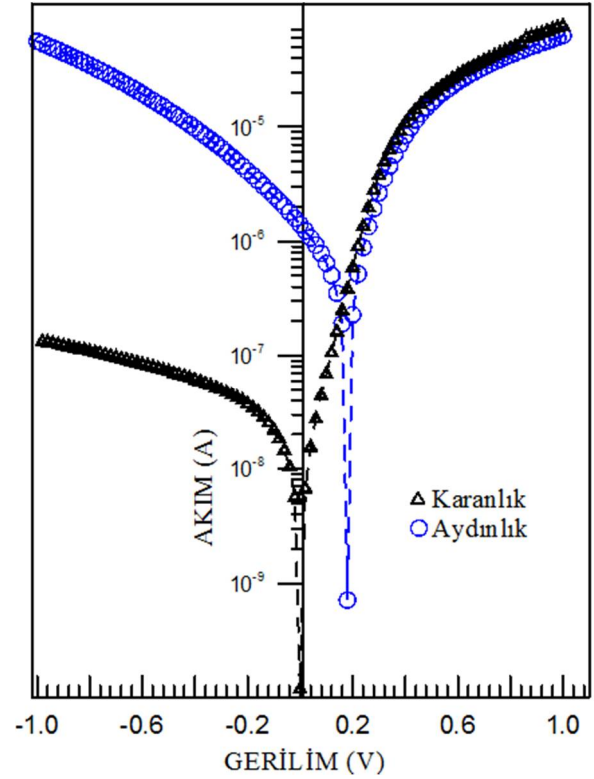


Şekil 5. Oda sıcaklığında Ag/Azure A/n-Si diyodunun $F(V)$ - V grafiği

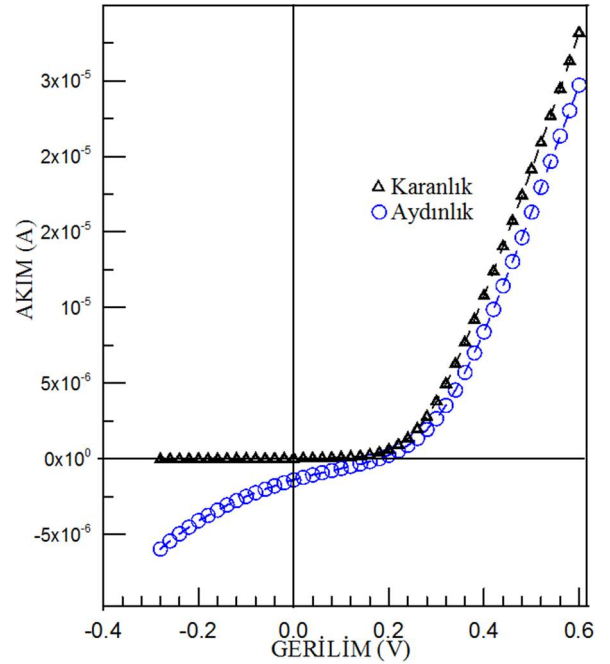
3.2. Fotovoltaik Ölçümler

Fotovoltaik ölçümler AM1.5 değerinde air mass filtreye sahip solar simülörde 100 mW/cm² ışık altında alınmıştır. Şekil 6 ve 7'de karanlık ve ışık altında I-V grafikleri

görülmektedir. Diyota ışık uygulandığında ters beslem bölgesindeki akım değeri, karanlık akımın yaklaşık 3 mertebe kadar artmıştır. Bu ölçümler doğrultusunda Ag/Azure A/n-Si /Al diyot yapısının, fotodiyot özellik sergilediği bulundu. Diyotun fotovoltaik parametreleri $V_{oc}=0,16$ V ve $I_{sc}= 1,47$ μ A olarak hesaplanmıştır.



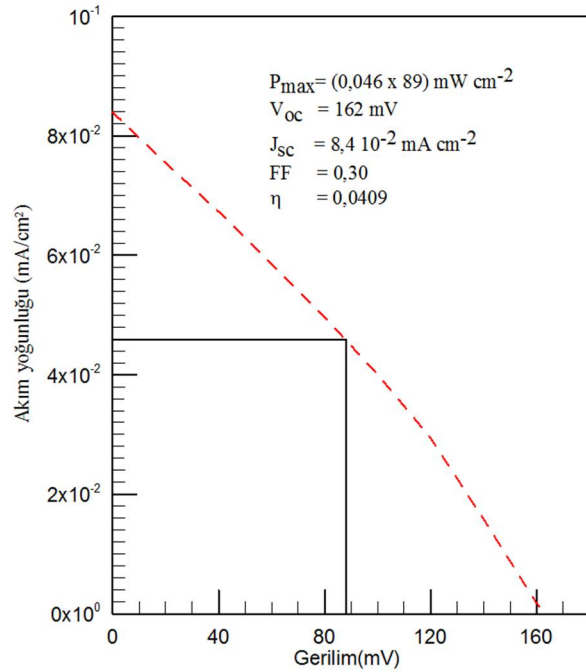
Şekil 6. Ag/Azure A/n-Si diyodun karanlıkta ve 100 mW/cm² ışık altında yarı logaritmik I - V grafiği



Şekil 7. Ag/Azure A/n-Si/Al diyodun karanlıkta ve 100 mW/cm² ışık yoğunluğu altında akım-gerilim grafiği

Diyot alanı 0,0176 cm² alındığında (çapı 1,5 mm) maksimum güç; (12) eşitliği ve Şekil 8'deki veriler kullanılarak 0,072 mW olarak hesaplanır. Dolum faktörü

(13) ifadesinden %30, verim ise (14) ifadesinden % 4,09 olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Ag/Azure A/n-Si/Al diyodun 100 mW/cm² ışık yoğunluğu altında fotovoltaik parametreleri

4. Sonuçlar

Ag/Azure A/n-Si/Al Schottky diyodulde edildikten sonra oda sıcaklığında (25 °C) karanlıkta ve solar simulatörde 100 mW/cm² ışık altında elektriksel ve fotovoltaik özellikleri araştırıldı. Hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri Özaydın ve ark. [6] Cu(II) complex/n-Si heteroeklem yapılarında hesapladıkları parametrelere göre bizim imal ettiğimiz diyod daha iyi doğrultma özelliğine sahiptir. Işık altında fotovoltaik parametreler incelendiğinde açık devre voltajı 162 mV ve kısa devre akımı 1,47 10⁻⁶ µA değerlerinin güneş pili verimi noktasında düşük değerlerdir. Sonuç olarak imal edilen diyodun fotovoltaik özelliği olmakla beraber verimleri düşük çıkmıştır. Verimi arttırmak için arayüze farklı kalınlıklarda organik malzemeler büyütürken yeniden incelenebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından BAP-42-307-2015 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Sze S.M., Physics of semiconductor devices, 2nd ed. New York Wiley. 1981.
- [2] Rhoderick E.H. and William, R.H., Metal-Semiconductor Contacts, 2nd ed. Clarendon, Oxford. 1988.
- [3] Yakuphanoglu F., Interface control and photovoltaic properties of n-type silicon/metal junction by organic dye, J. Alloys Comp. 494 (2), 451–455, 2010.
- [4] Gokcen M., Alli A., Investigation of electrical and photovoltaic properties of Au/poly(propylene glycol)-b-polystyrene/n-Si diode at various

illumination intensities, Philosophical Magazine, 94 (9), 925-932, 2014.

- [5] Orak I., Turut A. And Toprak M., The comparison of electrical characterizations and photovoltaic performance of Al/p-Si and Al/azure C/p-Si junctions devices, Synthetic Metals, 200, 66-73, 2015.
- [6] Ozaydin C., Akkilic K., Ilhan S., Ruzgar S., Gullu O., Temel H., Characterization of an Au/n-Si photovoltaic structure with an organic thin film, Materials Science in Semiconductor Processing, 16 (4), 1125-1130, 2013.
- [7] Çetinkaya H.G., Tecimer H., Uslu H., Altindal S., Photovoltaic characteristics of Au/PVA (Bi-doped)/n-Si Schottky barrier diodes (SBDs) at various temperatures, Curr. Appl. Phys., 13, 1150-1156, 2013.
- [8] Kılıcoğlu T., Aydın M. E. and Ocak Y. S., The determination of the interface state density distribution of the Al/methyl red/p-Si Schottky barrier diode by using a capacitance method, Phy. B. Cond. Matter 388 (1), 244–248, 2007.
- [9] Oyama N., Takanashi Y., Kaneko S., Momiyama K., Suzuki K. and Hirose F., Pentacene/n–Si heterojunction diodes and photovoltaic devices investigated by I–V and C–V measurements, Micro. Eng., 88 (9), 2959–2963, 2011.
- [10] Ocak Y.S., Ebeoglu M. A., Topal G. and Kılıcoğlu T., Temperature dependent electrical characteristics of an organic–inorganic heterojunction obtained from a novel organometal Mn complex, Physica B, 405, 2329-2333, 2010.
- [11] Çaldıran Z., Deniz A. R., Aydoğan Ş., Yesildag A. and İkinci D., The barrier height enhancement of the Au/n-Si/Al Schottky barrier diode by electrochemically formed an organic Anthracene layer on n-Si, Superlattices and Microstructures. 56 45–54, 2013.
- [12] Orak İ., Toprak M. and Turut A., Illumination impact on the electrical characterizations of an Al/Azure A/p-Si heterojunction, Physica Scripta 89, 115810-5, 2014.
- [13] Aydoğan Ş., Sağlam M. and Türüt A., On the barrier inhomogeneities of polyaniline/p-Si/Al structure at low temperature, Appl. Surf. Sci., 250 (1), 43-49, 2005.
- [14] Yakuphanoglu F., Ocak Y. S., Kılıcoğlu T. and Farooq W. A., Interface control and photovoltaic properties of n-type silicon/metal junction by organic dye, Micro. Eng. 88, 2951–2944, 2011.
- [15] Kern W., Overview and evolution of silicon wafer cleaning technology Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology), 2, 2008
- [16] Altindal S., Tunc T., Tecimer H., Yucedag I., Electrical and photovoltaic properties of Au/(Ni, Zn)-doped PVA/n-Si structures in dark and under 250 W illumination level, Materials Science in Semiconductor Processing, 28, 48-53, 2014.
- [17] Tatar B., Demiroglu D., Urgen M., Structure and photovoltaic properties of Ag/p-CuPc/a-Si/c-Si/Ag organic-inorganic hybrid heterojunction fabricated by chemical spray pyrolysis technique, Microelectronic Engineering, 108, 150-157, 2013.

- [18] Norde H., A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance, *Journal of Applied Physics*, 50, 5052, 1979.
- [19] Bohlin K. E., Generalized Norde plot including determination of the ideality factor, *Journal of Applied Physics*, 60 (3), 1223, 1986.
- [20] McLeon A.B., Limitations to the Norde I-V plot, *Semicond. Sci. Tech.*, 1,177-179, 1986.
- [21] ZAFER C., Organik Boya Esaslı Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili Üretimi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 2006.
- [22] Orak I., Kocyigit A., Turut A., The surface morphology properties and respond illumination impact of ZnO/n-Si photodiode by prepared atomic layer deposition technique, *Journal of Alloys and Compounds*, 691, 873-879, 2017.
- [23] Gokcen, M., Illumination Effects on Electrical Characteristics of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si Structures, *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 10 (3), 309-313, 2015.
- [24] Gullu O. and Turut A., Photovoltaic and electronic properties of quercetin/p-InP solar cells, *Sol. Ener. Mater. Sol. Cell*, 92 (10), 1205–1210, 2008.