

Yarıiletkeni Işıkla Etkileşen Pd/n-GaP Schottky Diyotun Elektriksel Sığa Değişimi Üzerine

Abdulkadir KORKUT*, Arife Gençer İMER

Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Tuşba, 65080, Van
akkut@yyu.edu.tr

(Geliş/Received: 23.08.2016.; Kabul/Accepted: 15.06.2017)

Özet

Değişik yüzey alanlarına sahip beş (5) adet Pd/n-GaP diyot üretildi. Diyotlar farklı ışık akı değerlerinde kar beyazı floresans lambayla aydınlatıldı. Schottky diyotlara ait elektriksel veri değerleri toplandı, bu veriler kullanılarak parametreler hesaplandı. Işık altında Schottky diyotlara ait Schottky sığaları elde edildi. Schottky sığasının ışık akısına ve diyotun etkin yüzey alanına göre kayda değer şekilde değiştiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Schottky sığası, Schottky diyot, Aydınlanma.

On Schottky Capacitance Changing Pd/n-GaP Schottky Diodes of Effect with Light of Semiconductor Side

Abstract

Five (5) pieces having different surface areas Pd/n-GaP diodes were produced. Diodes were exposed by white fluorescence light lamb under different flux values. Electrical data values collected belonging to Schottky diodes; electrical parameters calculated using that data. Electrical capacitances of Schottky diodes have been obtained under different light flux. It is seen that electrical capacitances are remarkably changed with diode illuminated effective surface area and light flux.

Keywords: Schottky capacitance, Schottky diode, Illumination.

1. Giriş

Günümüzde elektronik devre elemanlarının temelini oluşturan Schottky diyotların karakteristikleri çok yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bunun nedeni devre elemanlarının sağlam, güvenilir, dayanıklı ve sürekli çalışır olmasının istenmesidir. Bu çalışmanın amacı, III-V bileşiklerinden n-GaP kristalinden üretilmiş diyotların ışık altında diyot parametrelerinin Schottky sığasını nasıl değiştirdiğini incelemektir. n-GaP kristali kullanılarak UV sensör üretildiği literatürden görülmektedir [1]. Bu çalışmalarda çoğunlukla metal yüzeye radyasyon gönderilerek fotodiyot yapıldığı görülmektedir [11]. Yarıiletken yüzeye ışık gönderilen çalışmalara ait bir genel bilgi literatürde bulunabilir [1, 2]. Ayrıca çalışmaların pek çoğu planar diyottur. Yine bu çalışma görünür ışık bölgesindedir. Literatürde görünür ışık bölgesi değil daha çok UV bölgesinde çalışmalar vardır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada standart temizleme RCA (Radio Corporation of America) kurallarına uyularak Pd/n-GaP/Ag80Ge20 diyotları üretilmiştir. Diyotlar 650°C sıcaklığında azot gazı akışında 80 sn tavlansak Ag80Ge20 alaşımı ile omik kontak yapılmıştır. Diyotların farklı alana sahip beş (5) tanesi saf 5n Pd metali ile Edwards A306 (Thermal Evaporator) ısı buharlaştırma ünitesinde Schottky kontağı yapılmıştır. Bu diyot türü tarafımızdan üretilmiş özgün bir diyottur (Pd/n-GaP/Ag80Ge20). Diyotların üretilikten sonra veri alma işlemine geçilmiştir. Tüm ölçümler T=300°K 'de oda sıcaklığında yapılmıştır. Işık kaynağı olarak laboratuvar ortamındaki tavan lambaları kullanılmıştır. Ölçü alınan noktaya konulan bir akı-ölçer ile ışık akıları kaydedilmiştir. Ortamdaki akı miktarı kademeli elektrik anahtarı aç-kapa yapılarak; 270 lux, 430 lux, 720 lux olarak ölçülmüştür. Lambalar Philips marka Polonya malı dörtlü kısa çubuk kar beyazı soğuk

ışık veren floresans lambadır. Diyotlara ait alan değerleri Tablo 1’ de verilmiştir. (mm^2);

Tablo 1. Diyotların kontak ve toplam yüzey alanları

	D1	D2	D3	D4	D5
Kontak Alanı	1.166	1.892	2.618	3.344	4.070
Etkin Alan	5.516	7.142	8.768	10.39	12.02

Önce Keithley akımölçer ile I-V (akım-voltaj) verileri karanlık ortamda sonra 270lx, 430lx ve 720lx akı değerinde alınmıştır. Yine aynı şekilde Agilent 4294A empedans ölçer ile C-V (sığa-voltaj) alınmıştır. Grafikler “Grapher 9” yazılımı kullanılarak çizilmiş, hesaplamalar “Mathcad 2001 Pro” yazılımı ile yapılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Akım-voltaj eğrileri

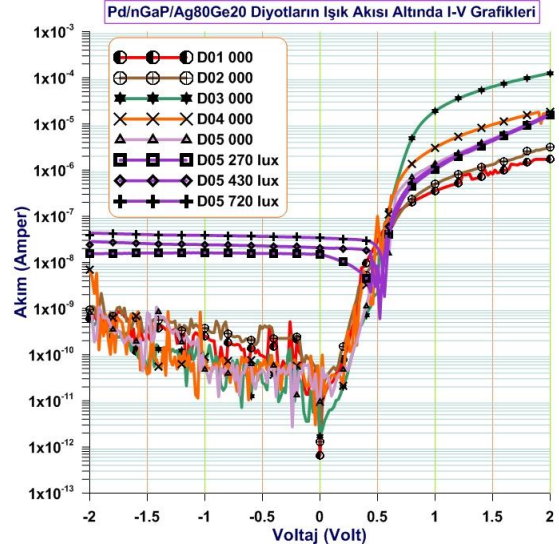
Akım-Voltaj (I-V) eğrileri Şekil 1.’de verilmiştir. Grafikte zig-zaglı bölge diyotların karanlıktaki verilerine aittir. Siyah simgeli eğriler ise D5 diyotunun 0 lux, 270 lux, 430 lux, 720 lux akı altındaki eğrileridir. Tüm diyotlara ait eğriler grafikte üst üste geldiğinden sadece D5 diyotuna ait eğriler gösterilmiştir.

Grafikten görüldüğü gibi diyotun standart Schottky diyot eğrisini verdiği, ters besleme ve düz besleme bölgelerinden durumunda doğrultma işlemini yaptığı anlaşılmaktadır [9, 10].

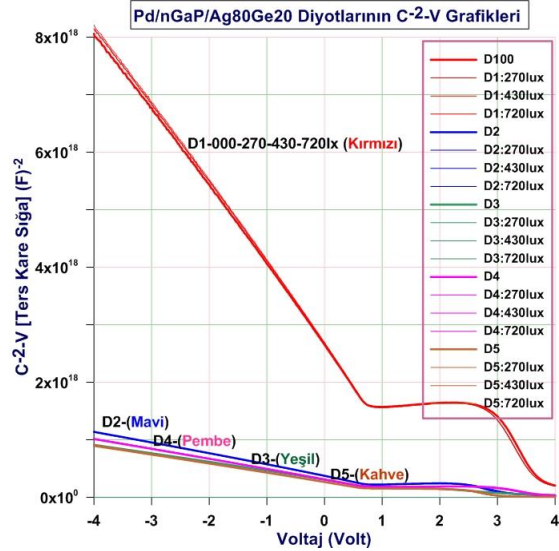
3.2. C²-V eğrileri ve uyum doğruları (fitleri)

Aynı şekilde C-V verilerinden C²-V grafiği elde edildi (Şekil 2). Bu eğrinin uyum doğrusunun voltaj eksenini kestiği noktadan V_{bi} (built-in potential) kontak oluşum potansiyeli (KOP) veya inşa potansiyeli elde edilir. Bazı kaynaklarda buna difüzyon potansiyeli de denir.

Ters kare C²-V grafiğinde kırmızı renkli eğriler D1 yani en küçük yüzey alanına sahip diyotu temsil etmektedir. Diyot alanı büyüdükçe diyotlara ait eğriler alt kısımda yoğunlaşmaktadır (Şekil 2). Fitleri de aynı davranışı göstermektedir, yukarıda değindiğimiz gibi fitlerin voltaj eksenini kestiği noktalar V_{bi} inşa potansiyelini verir.



Şekil 1. Farklı ışık akısı altında diyotlara ait I-V (akım-voltaj) grafikleri



Şekil 2. Farklı ışık akısı altında diyotlara ait C²-V (ters kare sığa-voltaj) grafikleri (tüm diyotlar varken)

Bu makalede (built-in potential) yerine “inşa potansiyeli” deyimini kullanılacaktır. Schottky diyotların inşa potansiyeli çok önemli bir parametredir.

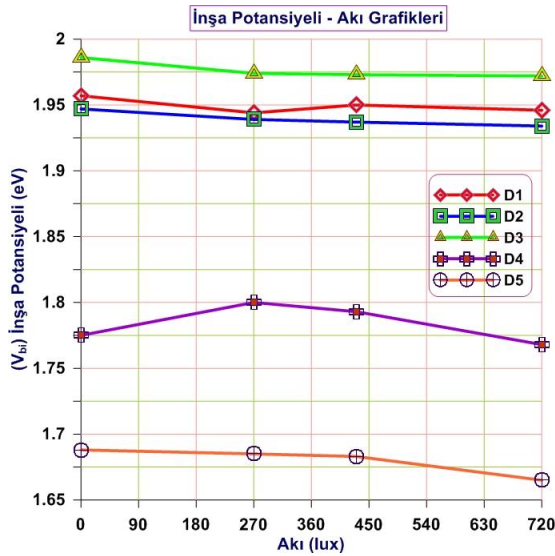
Metal vakum altında yarıiletken yüzeye buharlaştırıldığında iş fonksiyonları farkı nedeniyle yarıiletkenden metale ısıl yolla elektronlar geçerken metalden yarıiletkene deşikler geçer ve rekombinasyon meydana gelir [5, 6, 8]. Kontakın yarıiletken tarafında elektronlar azalır. Yük taşıyıcılarının olmadığı direnci yüksek bir bölge oluşur.

Kontakt oluşumu metalin ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri mihlanıncaya (Fermi level pinning) kadar devam eder. Metal tarafında artı yüklü bir yüzey oluşurken yarıiletken tarafı da eksi yüklü olduğundan görelî olarak yüklerden arınmış arayüzey bölgesi oluşur.

Buna uzay yük bölgesi denir [3, 5, 6]. Bu arayüzeyin kutuplanmasıyla elektrik alan dolayısıyla bir potansiyel alanı oluşur. Bu inşa potansiyelinin nedenidir.

3.3. V_{bi} inşa potansiyeli eğrileri

V_{bi} inşa potansiyelinin, ışık akısına ve diyot alanına göre grafikleri aşağıda sunulmuştur;

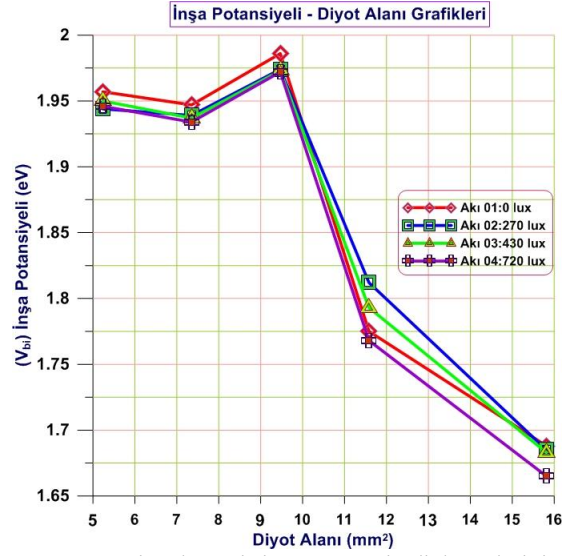


Şekil 3a. Diyotlara ait inşa potansiyeli değerlerinin ışık akısına göre ($V_{bi}-\Phi_{AKi}$) grafikleri (farklı alanlı diyotlar için)

Şekil 3a.'da inşa potansiyelinin ışık akısıyla değişimi görülmektedir. Tüm diyotlar çok hafif lineer azalma göstermektedir. D3 diyot hariç, D1, D2, D4, D5 diyot yukarıdan aşağıya seviyelenmiştir. D4 diyotu önce yükselmiş, sonra, D2, D3, D5 diyotları gibi hafif azalma davranışı vardır, yani tüm diyotların inşa potansiyeli akıyla lineer azalmaktadır. Bunun nedeni kristal içine giren fotonların kristal içinde saçılmaları olabilir.

Düşük akı değerinde, bu saçılmaların inşa potansiyelini bir miktar yükselttiği görülmekte, etkin diyot alanı arttıkça D4 diyotunda bu yükseliş çok belirgin olmaktadır. D2, D3, D5 diyotlarında ise daha kararlı bir durum olduğu gözükmektedir.

Şekil 3b'de farklı akı değerlerinde inşa potansiyeline karşı etkin diyot alanı (yani, Schottky metalinin dışında kalan ışıkla etkileşen alan) grafikleri gösterilmiştir. Her bir renkli çizgi bir akı değerini göstermektedir. V_{bi} diyot alanı grafiğindeki beş diyotun davranışı yaklaşık aynıdır, D3 diyotu hariç, inşa potansiyelinin lineer azaldığı görülmektedir.



Şekil 3b. Diyotlara ait inşa potansiyeli değerlerinin diyot alanına göre ($V_{bi}-A$) grafikleri (farklı akı değerlerinde)

İnşa potansiyelinin varlığı iş fonksiyonları farkına uyan bir engel gibi kendini ortaya koyar. Buna engel yüksekliği (barrier height; BH) veya Schottky engeli denir (Φ_b) [3, 6]. Sözü edilen arayüzey bölgesine arınma bölgesi (depletion layer) denir.

Arınma bölgesine ait parametreler Poisson denkleminin çözümüyle elde edilir. Bu bölge de elektriksel sığaya sahiptir, düz besleme veya ters besleme altında "arınma bölgesi uzunluğu (ABU)" (W_{DL}) değiştiğinden elektriksel sığa da değişir. Ara- yüzey bölgesi bir düzlem sığaç gibi davrandığından, ABU sığaya Eş. (1) de verildiği gibi bağlıdır [3, 5];

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_s A}{W_{DL}} \quad (1)$$

3.4. N_D donör katkı (yük) yoğunluğu

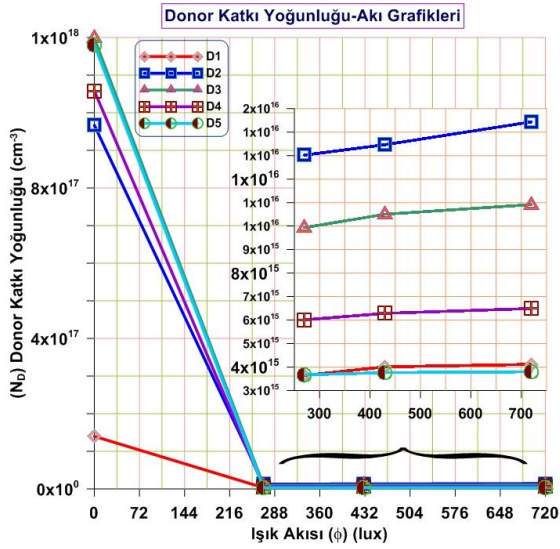
Aynı şekilde C^2-V grafiğinin fitleri yani uyum doğrularının eğiminden N_D donör katkı yoğunlukları hesaplanabilir. C^2-V grafiğinin uyum doğrusunun eğimi

$$N_D = \frac{2}{\epsilon_0 \epsilon_s e A^2} \left[\frac{d}{dV} \left(\frac{1}{C^2} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

denkleminde yazılarak, donör katkı yoğunluğu elde edilir.

Donör katkı yoğunluklarının ışık akısına ve diyot alanına göre grafikleri Şekil 4.a,b'de sunulmuştur. Donör katkı yoğunlukları karanlıkta maksimum iken aydınlatıldığında keskin bir düşme göstermektedir.

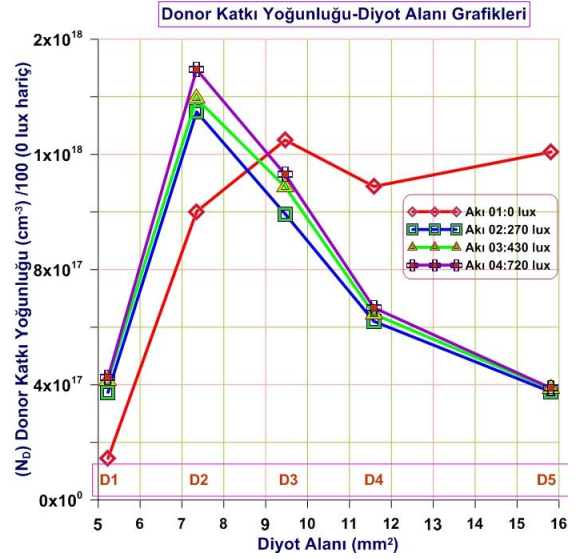
Şekil 4a'ya bakıldığında donör yük yoğunluğu karanlık değerler için D3, D5, D4, D2, D1 olarak yukarıdan aşağıya seviyelendiği görülür, diğer diyotların durumu iç şekilden görüldüğü gibi, her birinin çok hafif lineer arttığı, seviyenmenin karanlık duruma göre D2, D3, D4, D1, D5 şeklinde olduğu görülür.



Şekil 4a. Diyotlara ait donör katkı yoğunluğu ışık akısı ($N_D-\Phi$) grafikleri (farklı alanlı diyotlar için, iç grafik karanlık değerler olmadığında akıya göre değişimi gösterir)

Şekil 4b'de (kırmızı çizgi hariç) donör yük yoğunluğunun diyot alanıyla önce hızlıca arttığı sonra keskince lineer azaldığı görülmektedir, kırmızı çizgi beş diyotun karanlık verilerine ait-

tir, diğer diyotların eğri tipleri aynıdır ve akı artarken seviyelenme aşağıya kaymıştır. Donör katkı yoğunlukları karanlıkta maksimum iken aydınlatıldığında keskin bir düşme göstererek, lineer azalmıştır (Şekil 4b'de kırmızı çizgi hariç, diğer çizgiler akıyı temsil eder ve değerçe 100^3 bölünmelidir, bir grafikte tüm eğrileri gösterebilmek için bu düzenleme yapılmıştır).



Şekil 4b. Diyotlara ait donör katkı yoğunluğu diyot alanı ($N_D - A$) grafikleri (farklı akı değerlerinde, kırmızı çizgi karanlık değerlerinde)

3.5. Schottky sığası

Sığayı etkileyen değişkenler elde edildikten sonra Schottky diyotun sığası hesaplanabilir). Bir Schottky diyotun sığası,

$$C = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e N_D}{2V_{bi}}} = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e^2 N_D}{2(\phi_M - \phi_S)}} \quad (3)$$

denklemleriyle verilir [3,5]. Denklemlerde sığanın alan, donör katkı yoğunluğu, inşa potansiyeli ve iş fonksiyonları farkıyla değiştiği görülür. "Düz Besleme ve Ters Besleme" durumunda bu denklemler,

$$C = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e N_D}{2|V_{bi} \mp V_a|}} \quad (4)$$

halini alır. Düz beslemede artı işaretli, ters besleme durumunda eksi işaretli denklem geçerli olur. Uygulama gerilimi $V_a=0$ iken [3, 7],

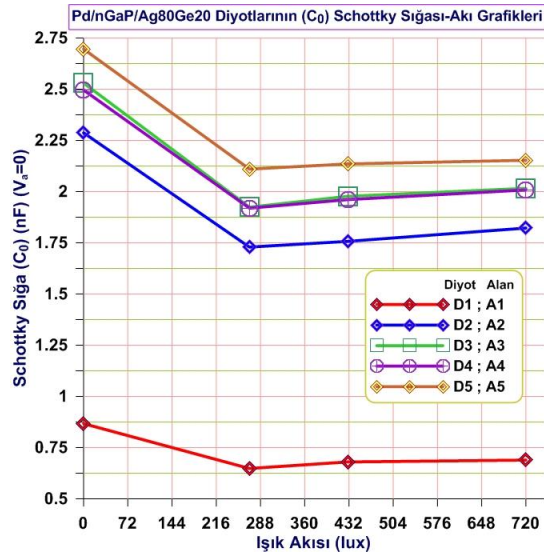
$$C_{0Sc} = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e N_D}{2V_{bi}}} \quad (5)$$

şeklini alır. Bu halde uygulama gerilimi yoktur, ancak aygıt inşa potansiyeli nedeniyle elektriksel sığaya sahiptir. Eş.5 kullanılarak uygulama geriliminin sıfır olduğu durumda Schottky sığasının akıya ve alana göre grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.

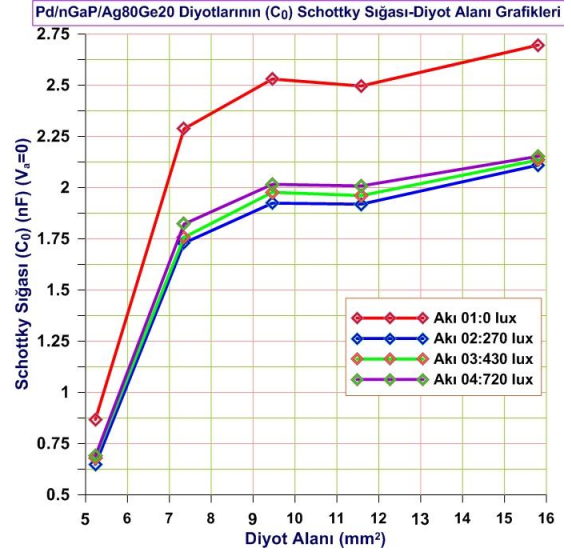
Karanlık veri eğrileri ile akı altındaki eğrilerin parametrelerinin farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun nedeninin karanlık ortamda diyotların TFE termiyonik alan emisyonu mekanizmasının etkin olması olabilir, çünkü diyotların karanlık-taki N_D donör katkı yoğunluğu $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 'den büyüktür. Işık akısı altında diyotların donör katkı yoğunluğu değerleri ise bu değerden küçüktür ($\sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) ve TE termiyonik emisyon mekanizması etkindir [3, 4, 7]. I-V eğrileri de literatürdeki çalışmalarla uyum içindedir [1, 2, 9].

4. Sonuç ve Tartışma

V_{bi} inşa potansiyeli ile ilgili sonuçlar ise çok ilginçtir.



Şekil 5a. Diyotlara ait Schottky sığası ışık akısı ($C_{0sc} - \Phi$) grafikleri (farklı alanlı diyotlar için ve $V_a=0$ iken)



Şekil 5b. Diyotlara ait Schottky sığası ışık akısı ve diyot alanı ($C_{0sc} - A$) grafikleri (farklı akı değerlerinde ve $V_a=0$ iken)

Akıyla zayıf lineer azalırken (Şekil 3a), inşa potansiyelinin diyot alanıyla önce arttığı sonra lineer azaldığı görülmektedir (Şekil 3b). İnşa potansiyeli karanlık veya aydınlık değerleri eğrisinin aynı tipte olması ve kontak alanının lineer artmış olmasına rağmen böyle bir sonuç vermesi beklenilmeyen bir sonuçtur. Şekil 3b'de V_{bi} diyot alanı grafiğindeki beş diyotun davranışı yaklaşık aynıdır, D3 diyotu hariç, inşa potansiyelinin lineer azaldığı görülmektedir. Bu çalışmayı bir ön çalışma sayarsak, ileride bu deney daha çok sayıda farklı alanlı diyotlarla ve ışık akı değerleri 50, 100, 150lux gibi eşit aralıklarla tekrarlanabilirse, D3 diyotunun etkin yüzey alanına ve ışık akısına göre neden farklılık gösterdiği anlaşılabilir. Ayrıca deneylerde farklı Schottky metalleri ve farklı III-V yarıiletkenlerin de elektriksel parametrelere etkisi araştırılabilir.

Genel sonuç olarak, deneyde kullandığımız Pd/n-GaP/Ag80Ge20 diyotları görünür ışık bölgesinde etkin olmaktadır. Işık altında diyotların akıya ve alana göre Schottky sığası ve diğer parametrelerinin belirgin bir şekilde etkilendiği görülmüştür, çok ilginç sonuçlara ulaşılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışmada, YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından 2014-FBE-D008 nolu proje desteğinden alınan n-GaP kristali

kullanılmıştır. Desteğinden dolayı başkanlık personeline şükranlarımızı sunarız.

6. Kaynakça

1. Pikhtin, A.N., Tarasov, S.A. and Kloth, B. (2003). Ag-GaP Schottky photodiodes for UV sensors, *IEEE Transactions on Electron Devices*, **50(1)**: 215- 217.
2. Sun, X., Li, D., Li, Z., Song, H., Jiang, H., Chen, Y., Miao, G. and Zhang, Z. (2015). High spectral response of selfdriven GaN-based detectors by controlling the contact barrier height, *Scientific Report Nature*, **5**:1-7, Makale numarası:16819.
3. Sharma, B.L. (1984). Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications. Plenum Press, London, UK, 385s.
4. Schroder, D.K. (2006). Semiconductor Material and Device Characterization. John Wiley&Sons Inc. Pubs, America, 796s.
5. Caferov, T. (2000). Katihal Elektronığı. Yıldız Teknik Üni Vakfı, Yay.No:2000-002., İstanbul, 234s.
6. Sze, S.M. (1981). Physics of Semiconductor Devices. John Wiley&Sons, Singapore, 874s.
7. Shur, M. (1990). Physics of Semiconductor Devices. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 682s.
8. Rhoderick, E.H. and Williams, R.H. (1988). Metal-Semiconductor Contacts. Oxford University Press, Oxford, 257s.
9. Gencer, A.I. and Ocak, Y.S. (2016). Effect of light intensity and temperature on the current voltage characteristics of al/sy/p-si organic-inorganic heterojunction. *Journal of Electronic Materials*, DOI: 10.1007/s11664-016-4649-4.
10. Korkut, A. (2015). Temiz hava ortamına maruz bırakılmış n-Si ve n-GaP yarıiletkenlerden üretilmiş schottky diyotların karakteristiklerine arayüzey oksit tabaka kalınlığının etkisi. Doktora Tezi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 201s.
11. Aydoğan, Ş. (2015). Katihal Elektronığı. Nobel Yayıncılık, Ankara, 63s.