



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag Aygıtının Akım-Gerilim Karakteristiklerinin İncelenmesi

 Fikriye Şeyma KAYA<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Çaldıran Meslek Yüksekokulu, Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Van, TÜRKİYE

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [fikriyeseymakaya@yyu.edu.tr](mailto:fikriyeseymakaya@yyu.edu.tr)

DOI:10.29130/dubited.1271979

### ÖZ

Bu çalışmada Cr/n-GaP kontak arayüzeyine Klorofil-a malzemesi kullanılarak elde edilen aygıtın elektriksel özellikleri incelendi. Omik kontak için gümüş (Ag) metali termal buharlaştırma yöntemi ile oluşturuldu. GaP yarıiletkeninin parlak yüzeyine klorofil-a çözeltisi döndürerek kaplama yöntemiyle ince bir film tabakası oluşturuldu ve optik geçirgenlik ölçümü alındı. Klorofil-a ince filminin geçirgenlik değerinin ~%95 olduğu belirlendi. Krom (Cr) metali DC saçırma yöntemiyle klorofil-a tabakasının üzerine kontaklar şeklinde kaplanarak Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtı üretildi. Oda sıcaklığında Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının elektriksel ölçümleri incelendi. Karanlık-aydınlık ortamda alınan I-V ölçümlerinden idealite faktörü ( $n$ ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) hesaplandı. Karanlık ortamda hesaplanan  $n$  değeri 1,18 iken aydınlık ortamda bu değer 1,05 olarak bulundu. Ayrıca Cheung ve Norde Fonksiyonları da kullanılarak, kontak karakteristik parametreleri hesaplandı ve sonuçlar karşılaştırıldı. Aydınlatmanın, kontak karakteristik parametreleri üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** *Kontak, Klorofil-a, Norde, Cheung, İdealite faktörü.*

## Investigation of Current-Voltage Characteristics of Cr/Chlorophyll-a/n-GaP/Ag Device

### ABSTRACT

In this study, the electrical properties of a device obtained using Chlorophyll-a material on the Cr/n-GaP contact interface were investigated. Silver (Ag) metal was formed by thermal evaporation method for ohmic contact. A thin film layer was created on the bright surface of the GaP semiconductor by spin-coating Chlorophyll-a solution, and the optical transmittance of the thin film layer was measured. It was determined that the transmittance value of the Chlorophyll-a thin film was approximately 95%. Chromium (Cr) metal was deposited onto the Chlorophyll-a layer in the form of contacts using the DC sputtering method, resulting in the production of the Cr/ Chlorophyll-a /n-GaP/Ag device. The electrical measurements of the Cr/Chlorophyll-a/n-GaP/Ag device were examined at room temperature. the ideality factor ( $n$ ), barrier height ( $\Phi_b$ ) values were calculated from the I-V measurements taken in both dark and illuminated conditions. While the  $n$  value was calculated 1.18 in the dark, this value was found to be 1.05 under illumination. In addition, using the Cheung and Norde Functions, the contact characteristic parameters were calculated and the results were checked by comparing them. It was determined that the lighting had significant effects on the contact characteristic parameters

**Keywords:** *Contact, Chlorophyll-a, Norde, Cheung, Ideality factor.*

# I. GİRİŞ

Yarıiletken teknolojisi uzun yıllardır ilgi odağı olmuş ve günümüzde de gelişmeye devam etmektedir. Yarıiletken teknolojisinin büyük bir kısmını diyotlar oluşturur. Diyotlar, p-n eklem ve Metal-Yarıiletken (MY) kontaklar olmak üzere ikiye ayrılır. p-n eklemeler p tipi bir yarıiletken ile n tipi yarıiletkenin bir araya gelerek oluşturduğu devre elemanıdır. MY kontaklar ise metal ve yarıiletkenin kontak yapılmasıyla oluşur. MY kontaklar IV. grup elementi olan tek atomlu silisyum (Si), germanyum (Ge) gibi yarıiletkenlerin kullanılmasının yanı sıra periyodik tablonun farklı gruplarında yer alan elementlerin (II-VI, III-V) bir araya gelmesiyle oluşan kristal yapıları farklı olan ikili ve üçlü bileşik yarıiletkenler de (GaP, GaAs) kontak yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca GaP optoelektronik devre elemanı, dedektör ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) gibi aygıtların üretiminde de büyük bir yer kapmaktadır.

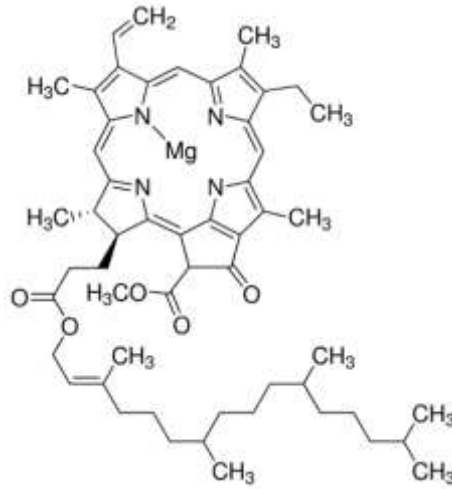
İsmail vd. farklı yöntemlerle aşındırma işlemi uygulanan (110) ve (111) yönelimli GaP yarıiletkeni kullanarak ürettikleri Au/n-GaP ve In/n-GaP yapılarının engel yüksekliği ve idealite faktörü değerlerini hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır [1]. n-GaP yarıiletkeni üzerine Ag, Au, Ni, Al, Cr, Mo, Pt ve Cu gibi farklı metaller buharlaştırılarak üretilen Schottky diyotların I-V, C-V karakteristikleri oda sıcaklığında ölçülmüş ve metallerin iş fonksiyonu ile diyotların engel yüksekliği arasında lineer bir ilişki olduğu görülmüştür [2-5]. Goldberg ve Nasledov, kimyasal biriktirme yöntemi ile GaP yarıiletkeni üzerine farklı metaller (Au, Ni, Cr) kullanarak MY yapılar elde etmiş ve yapıların ideale yakın davranışlar sergilediği belirtmişlerdir [6]. Queriagli vd. Al/klorofil-a/Ag yapısının oda sıcaklığında I-V karakteristikleri ve klorofil-a tabakasının soğurma ölçümleri incelemişlerdir [7]. İlaveten elektrodepozisyon işlemiyle 3000 Å kalınlıklı klorofil-a tabakası elde edilerek üretilen Al/Klorofil-a/Ag yapısının karanlık ve aydınlık ortamda sıcaklığa bağlı ölçümleri alınmış ve tabakanın soğurma ölçümleri değerlendirilmiştir [8]. Corker vd. Au/Klorofil/Hg yapısının omik davranış, Cr/Klorofil /Hg yapısının ise doğrultucu davranış gösterdiğini bulmuş ve bu diyotlara ait I-V, C-V ve C-f ölçümlerini aydınlık ve karanlık ortamda incelemişlerdir [9]. Tang vd. elektrodepozisyon yöntemiyle hazırlanan, yaklaşık kalınlığı 1000-5000 Å aralığında olan mikrokristal klorofil-a filminin güçlü bir fotovoltajik etkiye sahip olduğunu göstermiş ve fotovoltajik hücrelerin elektrotları olarak Al, Cr, Au, Cu, Ni ve Ag gibi metaller kullanılarak elde edilen diyotların I-V karakteristiklerini hesaplamışlardır [10]. III-V yarıiletkeni olan GaP geniş bant (2,26 eV) aralığından dolayı, yüksek sıcaklık uygulamalarında büyük bir potansiyele sahiptir [11,12].

Yarıiletken tabanlı aygıtlarda karakteristik parametreleri ideale yakın aygıt üretmek için birçok metod uygulanmaktadır. Bu metotlardan biri ise ara yüzey tabakası ile aygıtın karakteristik parametrelerini optimize etmektir. Son zamanlarda kullanılan ara yüzey tabakaların büyük bir kısmı organik malzemelerden oluşmaktadır. Doğada çokça var olan klorofil, ışığı yakalayan bir moleküldür ve foto reseptör olarak adlandırılır. Beş farklı klorofil çeşidi olup bunlar a, b, c, d ve f diye isimlendirilir. Klorofilin yan zincirinde CH<sub>3</sub> varsa klorofil-a, CHO varsa klorofil-b diye adlandırılır. İki klorofil çeşidi de iyi bir foto reseptördür ve görünür bölgede güçlü soğurma piki verir. Haisah vd. ITO, cam ve kuvars üzerine kloroformda çözülmüş klorofil-a çözeltisini spin-coating yöntemiyle 2000 rpm'de 40 saniye döndürerek ince film tabakası oluşturmuşlardır. Bu oluşturulan ince filmin tabaka kalınlığı 492 Å, klorofilin yasak enerji aralığı 5,15 eV ve ortalama elektriksel iletkenlik  $1,92 \times 10^{-9} \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$  olarak bulunmuştur [13].

Bu çalışmada, klorofil-a çözeltisinin optik soğurma ölçümleri, Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının oda sıcaklığında, aydınlık ve karanlık ortamda akım-gerilim ölçümleri değerlendirildi. Norde ve Cheung fonksiyonları kullanılarak karakteristik parametreleri hesaplanıp sonuçlar karşılaştırıldı.

## II. MATERYAL VE METOT

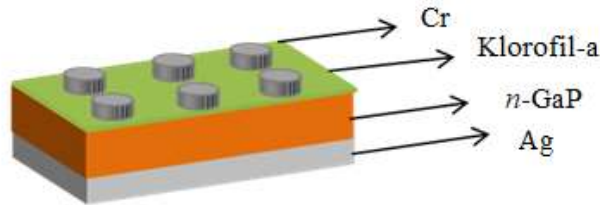
Bu çalışma *n*-GaP kristali kullanılarak üretildi. Aygıtın iyi performans göstermesi için yarıiletken yüzeyinin kirliliklerden arındırılması gerekir. Bu sebeple *n*-GaP yarıiletkeni aygıt üretiminden önce kimyasal temizleme işlemine tabi tutuldu. Temizlendikten sonra omik kontak için *n*-GaP yarıiletkeninin mat tarafına  $10^{-5}$  Torr basınç altında gümüş (Ag) buharlaştırıldı. Ag kaplanan yarıiletken buharlaştırma sisteminden çıkarılıp azot gazı altında 500C de 3 dk tavlandı. Numunenin parlak yüzeyi üzerine 25 s 3000 rpm'de döndürerek kaplama yöntemiyle klorofil-a tabakası oluşturularak Schottky kontak işlemi için hazır hale getirildi. Schottky kontak oluşturmak için DC magnetron sputter sistemine krom (Cr) hedef plaka yerleştirildi. DC Sputter tekniği ile GaP yarıiletkeninin klorofil-a tabakası kaplanan yüzeyine 1mm çaplı nokta kontaklar yapıldı ve Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/Ag aygıtı elde edildi. Klorofil-a yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Klorofil-a yapısı.

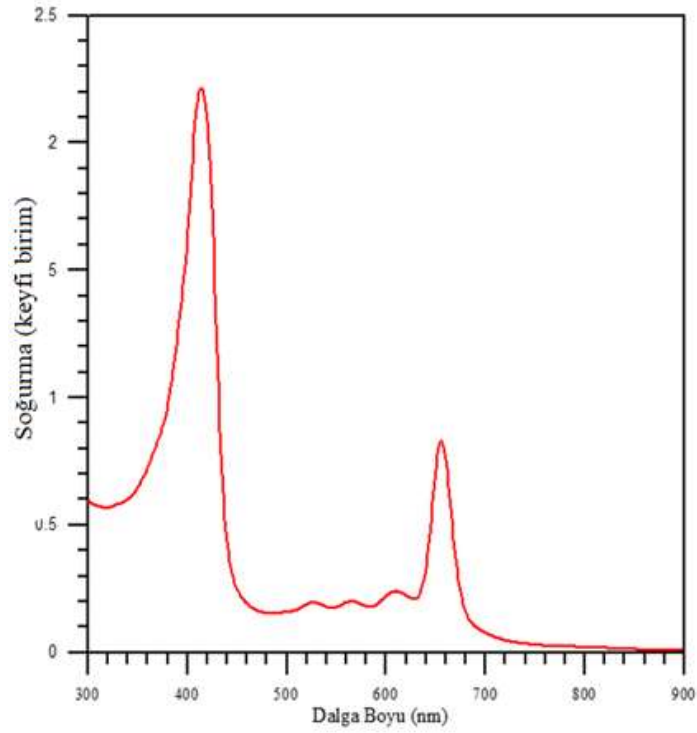
## III. BULGULAR

Bu çalışmada *n*-GaP yarıiletkeni üzerine üretilen Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/In yapısının geçirgenlik, akım-gerilim ve farklı ışık şiddetleri altında fotovoltajik ölçümleri alınarak grafikler çizilmiş ve bu grafikler yardımıyla bazı karakteristik parametreler hesaplanmıştır. Üretilen Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/Ag aygıtının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.

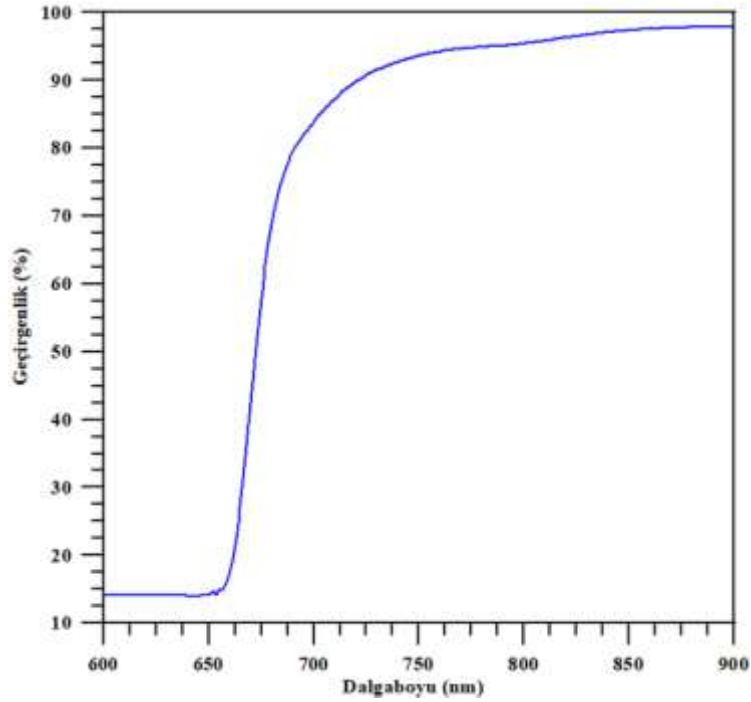


Şekil 2. Cr/Klorofil-a/*n*-GaP/Ag aygıtının şematik gösterimi.

Klorofil-a ince filminin soğurma ölçümleri [14] ve geçirgenlik ölçümleri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Klorofil-a ince filminin yaklaşık 650 -750 nm dalga boyu aralığında geçirgenlik değerinin ~%95 olduğu bulundu.



Şekil 3. Klorofil-a solüsyonunun soğurma grafiği.



Şekil 4. Klorofil-a ince filminin geçirgenlik eğrisi.

Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının oda sıcaklığında, ( $T=300$  K) karanlık ve aydınlık ortamda akım-gerilim ölçümleri alınmıştır. Üretilen Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının karakteristik parametreleri olan idealite faktörü ( $n$ ) ve engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) değerlerini hesaplamak için termiyonik emisyon (TE) teorisi kullanıldı. Bu teoriye göre düz beslem akım değeri;

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

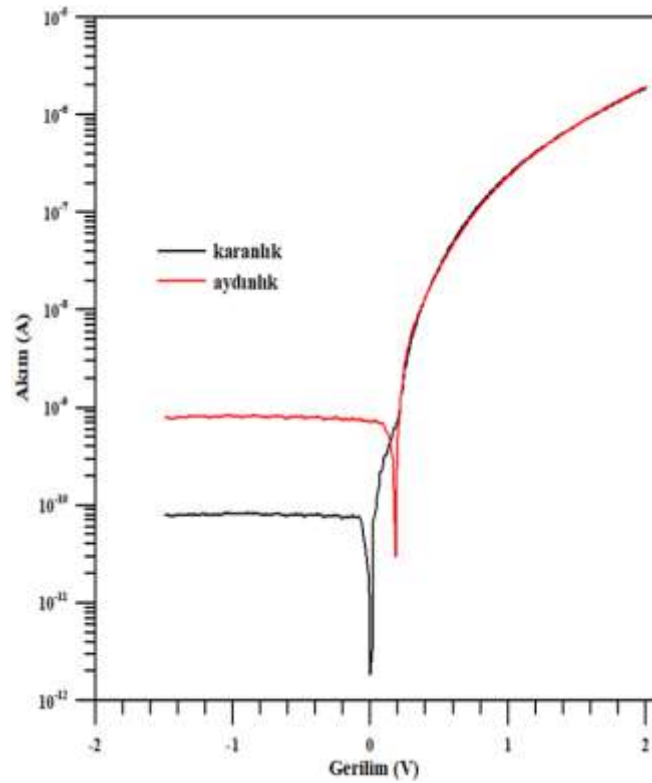
idealite faktörü;

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

elde edilir. Ölçümden çizilen  $\ln(I)$ - $V$  grafiği için gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra (doyma akımı)  $I_0$  ve  $\Phi_b$  eşitlikleri (3) ve (4) şeklinde tanımlanmıştır. Şekil 5'te Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag aygıtının akım-gerilim grafiği gösterilmiştir.

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

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



Şekil 5. Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag aygıtının karanlık ve aydınlık ortamda akım-gerilim grafiği.

Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtına ait oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümlerinden hesaplanan  $n$  ve  $\Phi_b$  değerleri; karanlıkta sırasıyla 1,18, 0,941 eV olup oda ışığında bu değerler 1,05 ve 1,041 eV olarak bulundu. İdealite faktörü değeri ışıktaki 1 değerine daha yakın olduğu görülmüştür. Aygıtın  $n$  değerine

ışığın iyileştirici etkisinin olduğu söylenebilir. Aygıtın ışık altındaki ters beslem bölgesindeki akım değerinin karanlık ortamdaki akım değerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu ölçümler doğrultusunda Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının fotodiyot özellik gösterdiği bulunmuştur. Aygıtın fotovoltaik parametreleri olan açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) 0,18 V ve kısa devre akımı ( $I_{sc}$ )  $7,14 \times 10^{-4}$   $\mu$ A olarak hesaplanmıştır.

Norde (Norde 1979)  $\Phi_b$  ve  $R_s$  değerlerini hesaplamak için  $F(V)$  fonksiyonunu şu şekilde tanımlamıştır;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I(V)}{AA * T^2} \right) \quad (6)$$

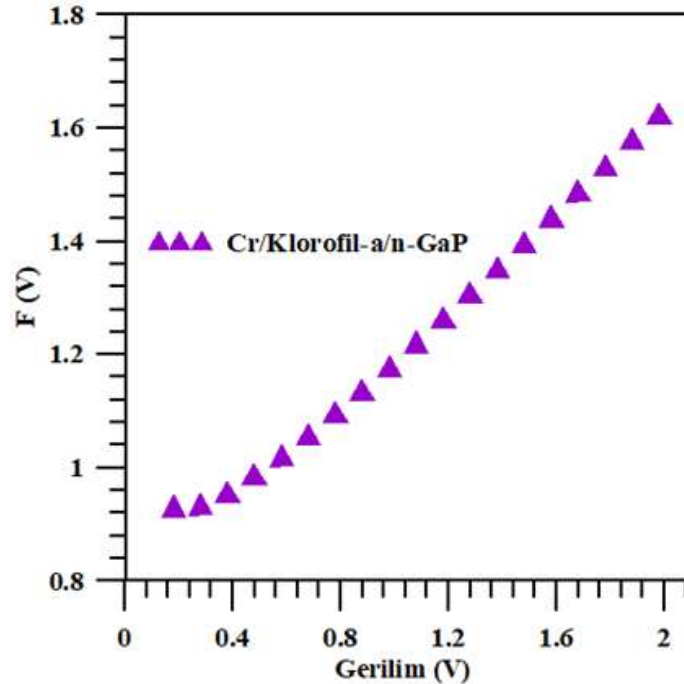
Burada  $F(V)$  ifadesindeki  $\gamma$ , akım-gerilim eğrisinden elde edilen boyutsuz bir tamsayıdır ve idealite faktöründen büyüktür. Şekil 6'da Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının karanlık ortamdaki Gerilim( $V$ )– $F(V)$  grafiği verilmiştir. Norde fonksiyonları kullanılarak yapının  $\Phi_b$  ve  $R_s$  değerleri:

$$\Phi_b = F(V_{min}) + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_{min}} \quad (8)$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanır [15].

Karanlık ortamda  $R_s$  değeri  $9,876 \times 10^7 \Omega$  ve engel yüksekliği değeri 0,906 eV olarak hesaplandı. Voltaj düşmesinin sebebi olarak bütün sıcaklıklarda yüksek voltaj bölgelerindeki ideal olmayan davranışa atfedilmiştir.



**Şekil 6.** Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag yapısının karanlık ortamda Gerilim(V)–F(V) grafiği.

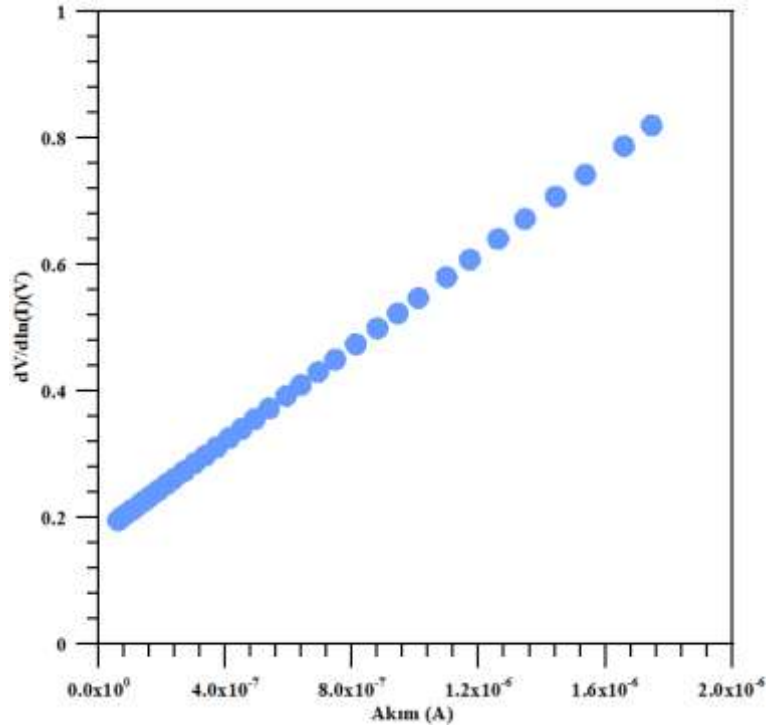
MY kontak yapısının doğru beslem  $I$ – $V$  karakteristikleri hesaplanması için TE teorisinden farklı bir model ortaya konuldu [16]. Cheung fonksiyonlarıyla  $n$ ,  $\Phi_b$  ve  $R_s$  değerleri (9), (10), (11) eşitlikleri kullanılarak elde edilir.

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (9)$$

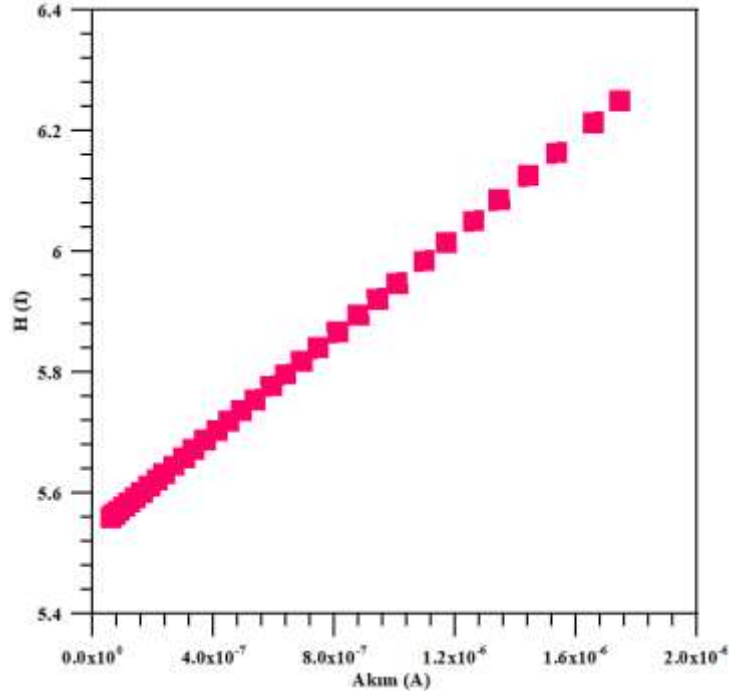
$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (10)$$

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (11)$$

$dV/d\ln(I)$ 'nın  $I$ 'ya göre grafiğinin eğimi  $R_s$ , doğrunun ordinat eksenini kestiği nokta ise  $n$  değerini verir.  $H(I)$  fonksiyonu kullanılarak  $\Phi_b$  değeri bulunur. Çizilen  $H(I)$ - $I$  grafiği bir doğru şeklindedir. Doğrunun  $H(I)$  eksenini kestiği noktadan da  $\Phi_b$  elde edilir [17].



**Şekil 7.** Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag yapısının  $d(V)/\ln(I)(V)$ - Akım(A) grafiği.



Şekil 8. Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag yapısının H(I)- Akım(A) grafiği

Tablo 1. Farklı metotlar kullanılarak hesaplanan kontak parametrelerinin karşılaştırılması

<i>I-V</i>	<i>I-V</i>	(dV/d(lnI))	(H(I))	F(V)
<i>n</i>	$\Phi_b$ (eV)	<i>n</i>	$\Phi_b$ (eV)	$\Phi_b$ (eV)
1,18	0,981	6,72	0,823	0,906

Farklı metotlar kullanılarak hesaplanan Cr/Klorofil-a/ n-GaP /Ag aygıtının *n* ve  $\Phi_b$  değerleri Tablo'1 de verilmiştir. Termoionik emisyon teorisiyle hesaplanan idealite faktörü değeri Cheung fonksiyonuyla hesaplanan değerden daha küçük çıkmıştır. Bunun sebebi hesaplama yapılırken termoionik emisyon metodunda *I-V* grafiğinde fit yapılan bölge ile Cheung fonksiyonunda fit yapılan bölgelerin birbirinden farklı olması, seri direnç etkisi, arayüzey halleri ve bu tabakadaki gerilim düşüşleridir [17-21].

## IV. SONUÇ

400 µm kalınlığındaki n-GaP yarıiletkeni üzerine döndürerek kaplama yöntemi ile klorofil-a kaplanarak Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtı üretildi. Klorofil-a tabakasının optik ölçümleri değerlendirildi ve optik geçirgenlik oranının yaklaşık %95 olduğu bulundu. Cr/Klorofil-a/n-GaP/Ag aygıtının 300 K'de akım-gerilim ölçümleri termoionik emisyon teorisi, Norde ve Cheung fonksiyonları kullanılarak elektriksel parametreleri hesaplandı. Yapının aydınlık ve karanlık ortamdaki karakteristik parametreleri olan *n*,  $\Phi_b$  değerleri karşılaştırıldı. Karanlık ortamda hesaplanan *n* değeri 1,18 iken aydınlık ortamda hesaplanan değeri 1,05 olarak bulundu. Aydınlık ortamda hesaplanan idealite faktörü değerinin ideale daha yakın olduğu görüldü. Aygıtın aydınlık ortamda alınan ölçümlerden hesaplanan fotovoltaj parametreleri  $V_{oc}=0,18$  V,  $I_{sc}= 7,14 \times 10^{-4}$  µA olarak bulunmuştur. Ayrıca Norde ve Cheung fonksiyonuyla yapının karakteristik parametreleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırıldı. Oda sıcaklığında ve karanlıkta alınan akım-gerilim ölçümlerinden TE modeliyle



hesaplanan  $n$  ve  $\Phi_b$  sırasıyla 1,18 ve 0,981 eV, Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan  $n$  değeri 6,72 ve  $\Phi_b$  değeri ise 0,823 eV olarak bulunmuştur. Norde fonksiyonuyla elde edilen  $\Phi_b$  değeri 0,823 eV ve  $R_s$  9,876x10<sup>7</sup>Ω olarak hesaplandı. TE modeliyle hesaplanan değerler ile Cheung modeliyle hesaplanan değerler birbirinden farklı çıkmıştır. Bu farklılığın sebebi TE modeli ve Cheung Fonksiyonuyla  $I-V$  grafiğinin farklı bölgeleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılması ve ara yüzey durumlarına atfedilmiştir. Aydınlik ve karanlık ortamda alınan ölçüm sonucuna göre klorofil-a tabakasının aygıtın performansını olumlu yönde etkilediği düşünülebilir. Elde edilen verilere göre klorofil-a tabakası aygıtın hem idealite faktörüne iyileştirici etkisi olmuş hem de ışıkla etkilemiştir. Sonuç olarak klorofil-a tabakasının ışığa duyarlı olduğu ve optoelektronik cihazlarda kullanmak için yeni bir malzeme olacağı düşünülmektedir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] A. Ismail, M. Boumedienne, and L. Lassabatere, "Schottky diode properties of Au/n-GaP (111) and (110) chemically etched surfaces," *Solid-State Electronics*, vol. 38, no. 2, pp. 497-501, 1995.
- [2] F. Lei Tan, C. L. Lee, C. Y. Chang, "Metal/n-GaP Schottky barrier heights," *Solid-State Electronics*, vol. 22, no.12, pp. 1035-1037, 1979.
- [3] H.Y. Lee, C.T. Lee, "The investigation for various treatments of InAlGaP Schottky diodes," *Optical Materials*, vol. 23, pp. 99-102. 2003.
- [4] K.W. Lin, H. Chen, C.C. Cheng, H.M. Chuang, C.T. Lu, W.C. Liu, "Characteristics of a new Pt/oxide/InGaP hydrogen-sensing Schottky diode," *Sensors and Actuators B*, vol. 94, pp. 145-151. 2003.
- [5] R.V. Ghita, V. Lazarescu, C. Logofatu, C.C. Negrila, M.F. Lazarescu, "Electrical characterization of thiols self-assembled layers on GaP (111) structure," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 11, pp. 394-397. 2008.
- [6] Y. A. Goldberg, D. N., Nasledov, "The techniques of manufacturing surface-barrier structure by chemical deposition of metals on semiconductor surface," *Pribory and Tekh. Eksp.*, pp. 207-209, 1971.
- [7] A. Queriagli, H. Kassi, S. Hotchandani, R. M. Leblanc, "Analysis of dark current-voltage characteristics of Al/chlorophyll a/Ag sandwich cells," *Journal of Applied Physics*, vol. 71. no.11 pp. 5523-5530, 1992.
- [8] S. Boussaad, S. Hotchandani, R. M.,Leblanc, "Influence of temperature on photocurrent of Al/chlorophyll a/Ag cells," *Applied Physics Letters*, vol. 63, no.13, pp. 1768-1770. 1993.
- [9] G. A. Corker, I., Lundström, "Trapped-electron doping of photovoltaic sandwich cells containing microcrystalline chlorophyll a," *Journal of Applied Physics*, vol. 49, no. 2, pp. 686-700, 1978.
- [10] C. W. Tang, A. C., Albrecht, "Photovoltaic effects of metal chlorophyll-a-metal sandwich cells," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 62, no. 6, pp. 2139-2149, 1974.

- [11] C. Coluzza, J. Almeida, T. Dell'Orto, F. Barbo, M. Bertolo, A. Bianco, S. Cerasari, S. Fontana, O. Bergossi, M. Spajer, D. Courjon, "Spatially resolved internal and external photoemission of Pt/n-GaP Schottky barrier," *Applied Surface Science*, vol. 104, pp.196-203, 1996.
- [12] E. Kabushemeyet, R. L. Van Meirhaeghe, W. H. Laflere, F. Cardon, "On the influence of a thin thermal oxide layer on MIS-type GaP Schottky diode behaviour," *Semiconductor Science and Technology*, vol. 4, no.7, pp. 543. 1989.
- [13] S. Hasiah, H.B. Senin, H. Mohamad. "Electrical Characterization Of Chlorophyll," *Journal of Sustainability Science and Management*, vol.2, no.1, pp.95-98, 2007.
- [14] F. Ş. Kaya, "Au/n-GaP/Al ve Au/Klorofil-a/n-GaP/Al Yapılarının Akım–Gerilim, Kapasite–Gerilim ve Fotovoltaik Parametrelerinin Hesaplanması," Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2018.
- [15] H. Norde, "A Modified Forward I-V Plot for Schottky Diodes With High Series Resistance," *Journal Applied Physics*, vol. 50, no. 7, pp. 5052-5053. 1979.
- [16] S.K. Cheung, N.W., Cheung, 1986. "Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics," *Applied Physics Letters*, vol. **58**, pp. 382.
- [17] F. Ş, Özçelik, "Akım-voltaj ölçümlerinden Ag/n-Si/Methyl-Green/Au diyotlarının karakteristik parametrelerinin hesaplanması," Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum. 2013.
- [18] V. R., Reddy, "Electrical properties and conduction mechanism of an organic-modified Au/NiPc/n-InP Schottky barrier diode," *Applied Physics A*, vol. 116, pp. 1379-1387, 2014.
- [19] Ş. Karataş, A., Türüt, "The determination of electronic and interface state density distributions of Au/n-type GaAs Schottky barrier diodes," *Physica B*, vol. 381, pp. 199-203, 2006.
- [20] Orak İ. and Koçyiğit A., "The Electrical Characterization Effect of Insulator Layer between Semiconductor and Metal," *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* vol. 6, no.3, pp.57-67, 2016.
- [21] Ö. Demircioğlu, Ş. Karataş N. Yıldırım Ö. F. Bakkaloğlu, A. Türüt, "Temperature dependent current–voltage and capacitance–voltage characteristics of chromium Schottky contacts formed by electrodeposition technique on n-type Si," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 509, pp. 6433-6439. 2011.