

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## ***Ni/n-GaAs ve NiO/n-GaAs Diyotların Elektriksel Parametreleri Arasındaki İlişki***

Abdullah ÖZKARTAL<sup>1\*</sup>, Dheyab THAER NOORİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Van  
(ORCID: 0000-0002-1556-6141) (ORCID: 0000-0003-2856-9883)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, *Ni/n-GaAs* Schottky ve *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyotları termal buharlaştırma yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen numunelerin elektriksel özellikleri karanlıkta ve oda sıcaklığında, akım-voltaj (*I-V*) ve kapasitans-voltaj (*C-V*) ölçümleri ile incelenmiştir. Üretilen numunelerin idealite faktörü (*n*), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve seri direnci ( $R_s$ ), *I-V* ve *C-V* ölçümlerinden ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca Cheung fonksiyonları yardımıyla da *n*,  $\Phi_b$  ve  $R_s$  hesaplanarak sonuçların kararlılığı tespit edilmiştir. Schottky diyot yapısının, *p-n* diyot yapısından daha iyi idealite faktörüne ve daha düşük engel yüksekliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Ni/GaAs* Schottky diyot, *NiO/n-GaAs*, *NiO* ince film, termal buharlaştırma.

---

## **Relationship Between Electrical Parameters of *Ni/n-GaAs* and *NiO/n-GaAs* Diodes**

### **Abstract**

In this study, *Ni/n-GaAs* Schottky diode and *p-NiO/n-GaAs* heterojunction diodes were produced by thermal evaporation method. The electrical properties of the produced samples were examined by current-voltage (*I-V*) and capacitance-voltage (*C-V*) measurements in the dark and at room temperature. The ideality factor (*n*), barrier height ( $\Phi_b$ ) and series resistance ( $R_s$ ) of the produced samples were calculated separately from *I-V* and *C-V* measurements. In addition, the stability of the results was determined by calculating *n*,  $\Phi_b$  and  $R_s$  with the help of Cheung functions. It was determined that the Schottky diode structure has a better ideality factor and lower barrier height than the *p-n* diode structure.

**Keywords:** *Ni/GaAs* Schottky diode, *NiO/n-GaAs*, *NiO* thin film, thermal evaporation.

---

### **1. Giriş**

Elektronikte ve optoelektronikte çok önemli ve geniş kullanım alanı bulunan diyotlar üzerinde çeşitli araştırmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir [1-7]. Metal oksit ince filmler de özellikle güneş pilleri üretiminde, yarıiletken ve ışığı geçirgen yapısıyla diyot yapılarında pencere materyali olarak kullanılmaktadır. *NiO*, *ZnO*, *CuO*, *SnO<sub>2</sub>* ve *ITO* gibi metal oksit ince filmler, fotovoltajik ve fotodiyot etkili yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *NiO* ince filmi de 3.2-4.0 eV arasında yasak enerji bant aralığına sahip, *p* tipi yarıiletken özellik taşıyan şeffaf önemli bir pencere materyalidir. *NiO*, antiferromanyetik kararlı yapısı ile güneş pilleri, gaz sensörleri, elektrokromik cihaz, fotoelektroliz gibi birçok farklı elektronik cihazda kullanıma imkânına sahiptir [8-14].

Bilindiği gibi ince filmler sol-jel, püskürtme yöntemi (spray pyrolysis), döndürerek kaplama (spin coating), *rf-dc* magnetron püskürtme, kimyasal banyo biriktirme, kimyasal işleme, e-ışın buharlaştırma, termal buharlaştırma, PA-MOCVD, daldırma kaplama, atomik tabaka biriktirme gibi farklı tekniklerle üretilebilmektedir. *NiO* ince filmli cihazların üretiminde de birçok teknik kullanılmıştır

---

\*Sorumlu yazar: [abdullahozkartal@yyu.edu.tr](mailto:abdullahozkartal@yyu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 14.02.2021, Kabul Tarihi: 16.04.2021

[15-21]. Bu çalışmada da *p-NiO/n-GaAs* *p-n* heteroeklem diyotları ve *Ni/n-GaAs* Schottky diyotları termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir [22-23].

*Ni/n-GaAs* Schottky diyotları daha önce farklı üretim yöntemleriyle üretilmiş ve elektriksel karakteristikleri incelenmiştir [24-29]. *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyot da daha önce sol-jel yöntemi ile üretilmiş ve elektriksel özellikleri belirlenmiştir [30].

Biz de bu çalışmamızda, basit ve kolay bir yöntem olan termal buharlaştırma yöntemini kullandık. Termal buharlaştırma yöntemi hassas ve basit bir şekilde ince filmin istenen kalınlıkta üretilmesini sağlar. Ayrıca her türlü yüzeyde üretilme imkânı vermesi nedeniyle organik malzemelerle de kolayca kullanılabilir. Termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen *Ni/n-GaAs* Schottky diyotların ve *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyotların elektriksel özellikleri belirlendi ve elektriksel özellikleri arasındaki ilişki yorumlandı.

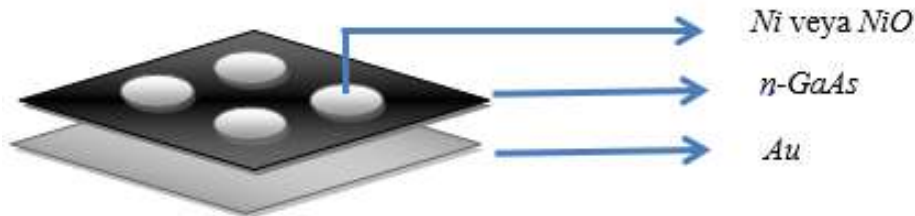
## 2. Materyal ve Metot

*Ni/n-GaAs* Schottky diyotları ve *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyotları üretiminde 350 µm kalınlığında,  $7.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  taşıyıcı konsantrasyonuna sahip, [100] kristal yöneliminde Si katkılı, *p* tipi *GaAs* yarıiletken kristali kullanıldı. *GaAs* kristali organik ve mekanik kirlerden temizlemek için sırasıyla aseton ve izopropil alkol ile ultrasonik banyo küvetinde yıkandı. Her işlemten sonra deiyonize su ile durulandı. Sonra (5:1:1) oranındaki  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  çözeltisine 1 dk süre ile daldırıldı ve deiyonize su ile durulandı. Daha sonra doğal olarak oluşabilecek oksit tabakasından kurtulmak için (1:1) oranındaki  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$  çözeltisine 5 s süresince daldırıldı ve deiyonize su ile durulandıktan sonra yüksek saflıktaki nitrojen ( $\text{N}_2$ ) gazı ile kurutuldu [31]. *GaAs* kristali kurutulur kurutulmaz yeni oksit tabakası oluşmaması için çok hızlı bir şekilde vakumda kaplama cihazına (Edwards Auto, model-306) yerleştirildi.

Vakumda kaplama cihazındaki basınç  $1.33 \times 10^{-6} \text{ kPa}$  'a düştüğünde %99.9 saflıktaki altın (*Au*) metali 15 mm x 30 mm yüzey alana sahip *n-GaAs* kristalinin mat yüzeyine buharlaştırıldı. *Au* ile kaplanan numune vakum cihazından çıkarıldı ve omik kontak olması için 450 °C sıcaklığında ve nitrojen ortamındaki kuvars cam fırında 5 dk süre ile ısıtılma yapıldı [32].

*Au* ile omik kontak yapılmış *n-GaAs* kristali 15 mm x 15 mm yüzey alanına sahip iki parçaya ayrıldı. Birinci numuneye, *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyot oluşturmak için nanotoz halindeki %99.9 saflıktaki nikel (II) oksit tozu vakum kaplama cihazında buharlaştırıldı. Aynı şekilde ikinci numuneye de *Ni/n-GaAs* Schottky diyot oluşturmak için yine toz halinde ve %99.9 saflıktaki nikel metali buharlaştırıldı. %99.9 saflıktaki nikel (II) oksit ve nikel tozları Sigma Aldrich' ten temin edilmiştir. 2 mm çapında maskeler kullanılarak oluşturulan bu diyotların kalınlığı ~200 nm civarındadır. Kalınlıklar vakumda kaplama cihazındaki kalınlık tespit sistemi ile belirlenmiştir.

*p-NiO/n-GaAs* *p-n* heteroeklem diyotları ve *Ni/n-GaAs* Schottky diyotların akım-voltaj (*I-V*) ölçümleri Keithley (model 6487) pikoampermetre/voltaj kaynağı kullanılarak karanlıkta ve oda sıcaklığında alınmıştır. Üretilen numunelerin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



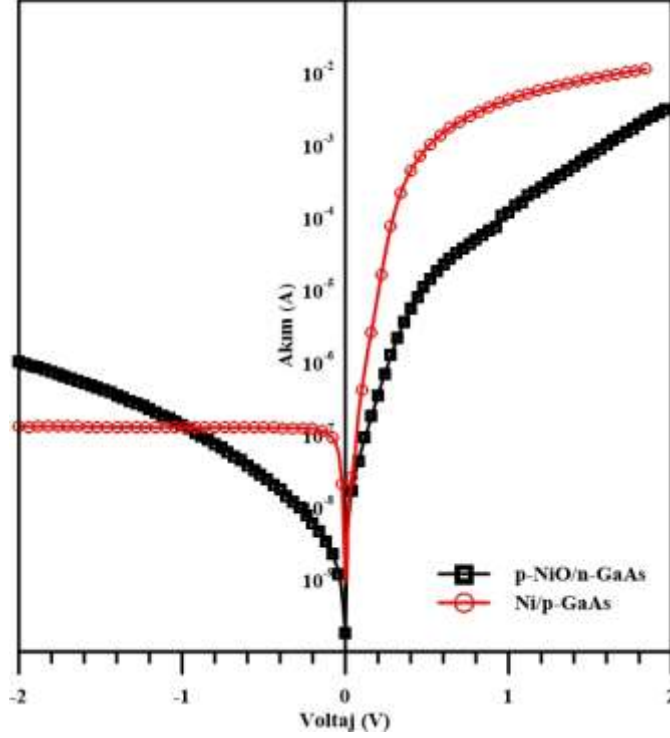
Şekil 1. *p-NiO/n-GaAs/Au* ve *Ni/n-GaAs/Au* yapıların şematik gösterimi.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen numunelerin *I-V* karakteristikleri literatürde Termiyonik Emisyon (TE) teorisine göre açıklanmaktadır. Bu teoriye göre, bir diyot için ideal olmayan şartlarda düz besleme akımı şu şekilde ifade edilmektedir [33].

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

Burada  $n$ , idealite faktörü;  $k$ , Boltzmann sabiti;  $T$ , Kelvin cinsinden oda sıcaklığı;  $e$ , elektronun yükü ve  $V$ , diyota düz besleme olarak uygulanan voltaj;  $R_s$ , seri direnç ve  $I_0$ ,  $V=0$ ' da  $\ln I$  eksenini düz çizgi kesişiminden elde edilen doyma akımıdır. Diyotların  $I$ - $V$  grafikleri Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2.  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs/Au ve Ni/ $n$ -GaAs/Au diyotların  $\ln I$ - $V$  grafikleri

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

Denklem 2'deki  $R^*$ , değeri  $n$ -GaAs yarıiletkeni için  $8.16 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$  olan Richardson sabitidir [30];  $A$ , yarıçapı 1 mm olan etkin diyot alanıdır;  $\Phi_b$ , diyodun engel yüksekliğidir.

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3)$$

İdealite faktörü  $n$ ,  $\ln I$ - $V$  grafiğinin düz beslem kısmındaki eğimin fitinden elde edilerek Denklem 3 yardımıyla hesaplanır. İdealite faktörü metal-yarıiletken kontaklarda 1 değerine oldukça yakın olması beklenir. Bununla birlikte  $p$ - $n$  heteroeklem diyotlarda idealite faktörünün 1 değerinden oldukça uzak olmasını arayüzey durumlarına, seri direncin büyüklüğüne ve arayüzey tabakalarına atfedilir. Burada da ön görüldüğü gibi Ni/ $n$ -GaAs Schottky diyotların idealite faktörü 1.06;  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs  $p$ - $n$  heteroeklem diyotların idealite faktörü 2.04 olarak hesaplanmıştır. Bu kadar yüksek idealite faktörünü  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs arayüzeyindeki doğal yoğun oksidasyona atfedilebilir [25].

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

Diyotların engel yükseklikleri  $\Phi_b$ , Denklem 4. yardımıyla hesaplanmaktadır. Ni/ $n$ -GaAs Schottky diyotların engel yüksekliği 0.70 eV;  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs  $p$ - $n$  heteroeklem diyotların engel yüksekliği 0.75 eV olarak hesaplanmıştır.

Bununla birlikte, diyotların idealite faktörü, engel yükseklikleri ve seri direnç değerleri Cheung ve Cheung yöntemi ile hesaplama yapılarak sonuçların kararlılığı desteklenmiştir [36]. Bu fonksiyonlar Denklem 5 ve Denklem 6’da verilmiştir;

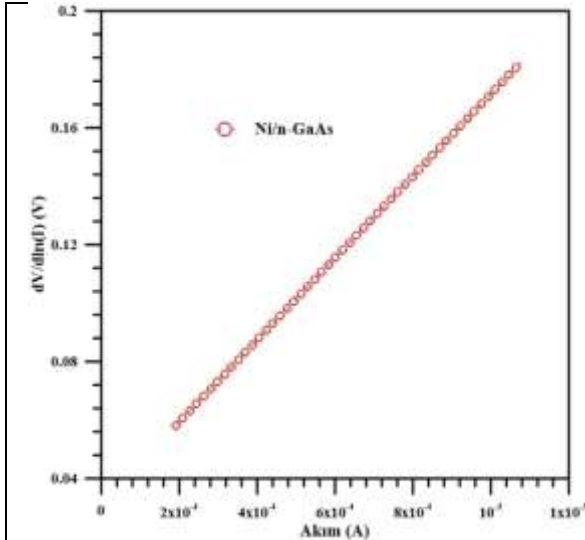
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_S \quad (5)$$

$$H(I) = n\Phi_b + IR_S \quad (6)$$

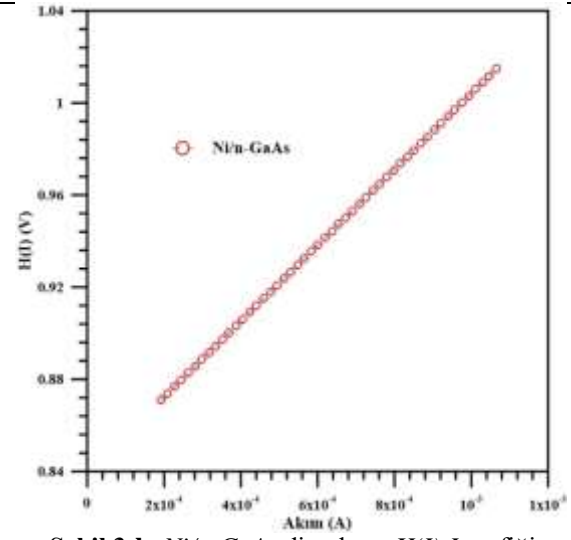
Denklem 5 ve Denklem 6’ya göre idealite faktörü, bariyer yüksekliği ve seri dirençleri Şekil 3’deki  $dV/d(\ln I)$ - $I$  grafiklerinden ve Şekil 4’deki  $H(I)$ - $I$  grafiklerinden elde edilmiştir. Üretilen diyotların bu grafiklerden elde edilen elektriksel parametrelerin deneysel değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.**  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs ve Ni/ $n$ -GaAs diyotların elektriksel parametrelerin deneysel değerleri

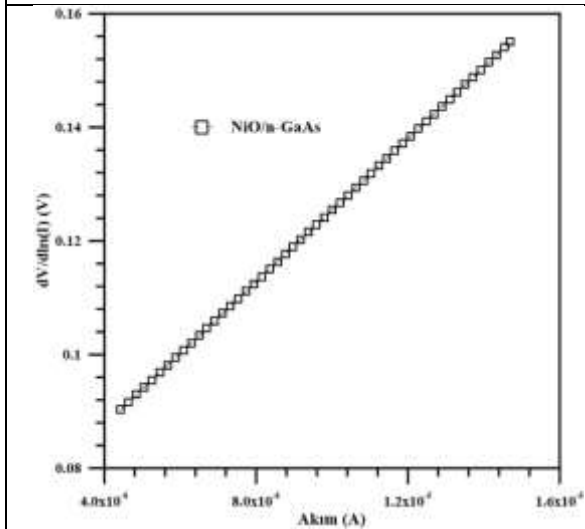
| Örnekler       | $n$<br>( $I$ - $V$ ) | $n$<br>(Cheung) | $\Phi_b$ (eV)<br>( $I$ - $V$ ) | $\Phi_b$ (eV)<br>(Cheung) | $\Phi_b$ (eV)<br>( $C$ - $V$ ) | $R_S$ ( $\Omega$ )<br>( $dV/d\ln I$ )- $I$ | $R_S$ ( $\Omega$ )<br>( $H(I)$ )- $I$ |
|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|
| Ni/ $n$ -GaAs  | 1.06                 | 1.21            | 0.70                           | 0.69                      | 0.76                           | 141  | 164                                   |
| NiO/ $n$ -GaAs | 2.04                 | 2.81            | 0.75                           | 0.71                      | 0.71                           | 6296                                       | 7072                                  |



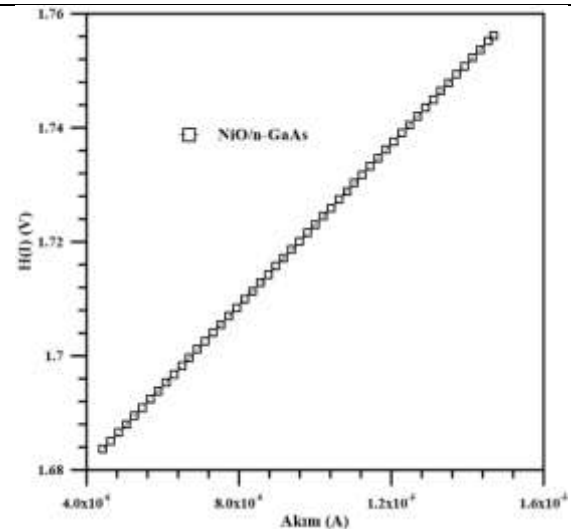
Şekil 3-a. Ni/ $n$ -GaAs diyotların  $dV/d(\ln I)$ - $I$  grafiği



Şekil 3-b. Ni/ $n$ -GaAs diyotların  $H(I)$ - $I$  grafiği

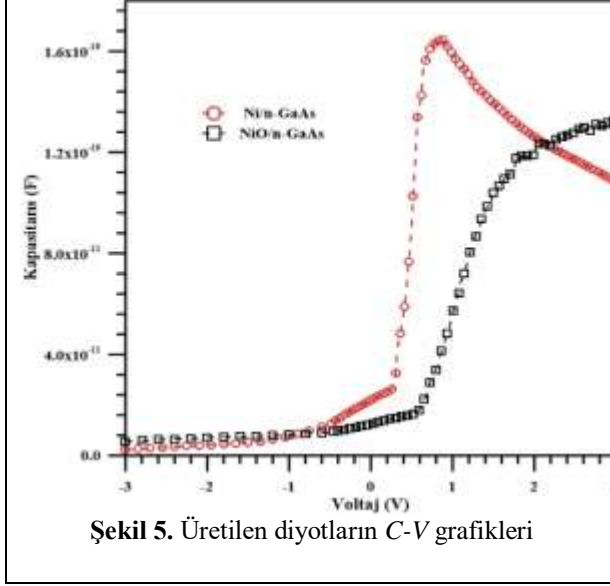


Şekil 4-a. NiO/ $n$ -GaAs diyotların  $dV/d(\ln I)$ - $I$  grafiği

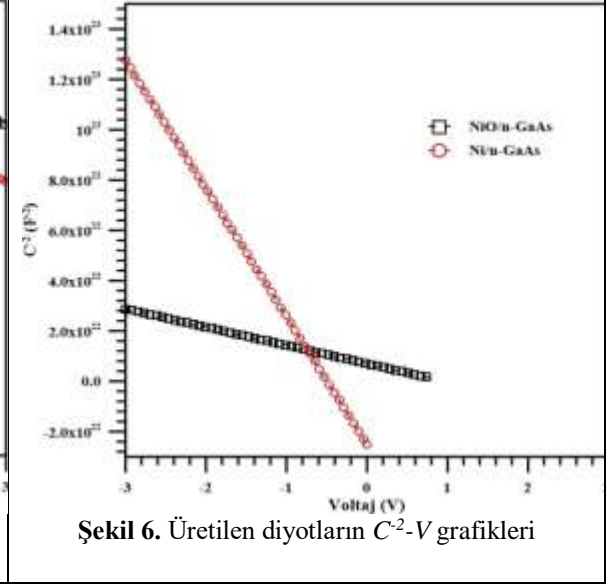


Şekil 4-b. NiO/ $n$ -GaAs diyotların  $H(I)$ - $I$  grafiği

Doğrultucu özelliğe sahip bir kontakın elektriksel özelliklerini karakterize eden en temel ölçümlerinden biri de kapasitans-voltaj ( $C-V$ ) ölçümüdür. Üretilen diyotların oda sıcaklığında ve 100 kHz sabit frekansta ölçülen  $C-V$  grafiği Şekil 5'te verilmiştir.  $C-V$  ölçümünden elde edilen  $C^{-2}-V$  grafiği de Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Üretilen diyotların  $C-V$  grafikleri



Şekil 6. Üretilen diyotların  $C^{-2}-V$  grafikleri

Şekil 5'te, -3 V ile +3 V aralığında  $p-NiO/n-GaAs$  p-n heteroeklem ve  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotların  $C-V$  ölçümünün düz besleme bölgesi gösterilmektedir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi düz beslem bölgesinde artan voltaj ile kapasitanslarında kendi diyot karakterlerine uygun olarak artmıştır. Tüm diyotlar genel olarak ölçülen kapasitansları uygulanan voltaja ve frekansa bağımlılık gösterir. Kapasitansın voltaja ve frekansa bağımlılığı üretim şartlarında oluşan kirlilik derecelerine, yüksek seri dirence, arayüzey durumlarına ve arayüzey katmanları gibi diyotların belirli özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6'da üretilen diyotların ters beslemedeki  $C^{-2}-V$  grafiğinin bir doğrusal olduğu görülmektedir. Bu doğrusallık Schottky diyot ile uyumlu olduğunu ve arayüzey tabakası teorisi ile açıklanabilmektedir [34]. Doğrultucu kontaklarda, arayüzey katmanı kapasitansı Denklem 7 ile verilmektedir.

$$C^{-2} = \frac{2(V_d - V)}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2 N_d} \quad (7)$$

Burada  $V_d$ ,  $C^{-2}-V$  grafiğinin doğrusal kısmından elde edilen sıfır gerilimdeki difüzyon potansiyelidir;  $V$ , diyota uygulana gerilimdir;  $\epsilon_s$ ,  $n-GaAs$  yarıiletkeninin dielektrik sabitidir ve değeri 13.2'dir [29];  $\epsilon_0$ , boşluğun dielektrik sabitidir ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m);  $N_d$ ,  $Si$  katkılı  $n-GaAs$  yarıiletkeninde katkılamaya bağlı olarak oluşan donör yoğunluğudur ve Denklem 7 yardımıyla donör yoğunluğu Denklem 8 gibi hesaplanır.

$$N_d = \frac{2}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2} \frac{1}{\frac{d(C^{-2})}{dV}} \quad (8)$$

$C^{-2}-V$  grafiğinden elde edilen elektriksel parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

| Örnekler   | $V_d$ (V) | $E_f$ (eV) | $N_d$ ( $cm^{-3}$ ) $\times 10^{13}$ | $\Phi_b$ (eV) |
|------------|-----------|------------|--------------------------------------|---------------|
| Ni/n-GaAs  | 0.49      | 0.31       | 0.31                                 | 0.76          |
| NiO/n-GaAs | 0.96      | 0.25       | 2.63                                 | 0.71          |

$C^2-V$  grafiğinin ters besleme kısmından üretilen diyotların engel yüksekliği Denklem 9 yardımıyla hesaplanabilir.

$$\Phi_b = E_f + V_d \quad (9)$$

Burada  $E_f$ , Fermi enerji seviyesidir ve Denklem 10. şeklinde hesaplanır.

$$E_f = kT \ln \left( \frac{N_c}{N_d} \right) \quad (10)$$

Burada  $N_c$ , yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durumların etkin yoğunluğu olarak adlandırılır.  $n-GaAs$  yarıiletken için oda sıcaklığında,  $N_c = 4.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  [29].

Bu çalışmanın amacı, termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen  $p-NiO/n-GaAs$  heteroeklem diyotlar ile  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotların elektriksel parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemektir. Bu amaçla her iki diyotta aynı şartlarda üretildi. Üretilen numunelerin  $I-V$  ve  $C-V$  ölçümlerinin grafikleri çizilmiştir. Diyotların hesaplanan elektriksel parametreleri Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmektedir. Numunelerin idealite faktörleri seri dirençleri ihmal edilerek Denklem 3'e göre  $I-V$  grafiğinin düz besleme bölgesindeki doğrusal eğimlerinden hesaplanmıştır. Etkin engel yükseklikleri de Denklem 4. kullanılarak hesaplanmıştır. Schottky diyotta idealite faktörü ideale oldukça yakın 1.06 iken,  $p-n$  diyotta arayüzey oksidasyonu ve arayüzey bölgesindeki rekombinasyon nedeniyle 2.04 olarak hesaplanmıştır. Engel yükseklikleri de beklendiği gibi  $p-n$  yapısının 0.75 eV ile Schottky yapısından 0.70 eV olarak daha büyük bulundu. Bulunan bu idealite faktörü ve engel yükseklik değerleri literatür ile uyum içindedir [25-28, 30, 37, 38].

Üretilen numunelerin idealite faktörü, engel yükseklikleri ve seri dirençleri Cheung fonksiyonları yardımıyla da hesaplandı. İdealite faktörü ve engel yükseklikleri arasındaki fark Cheung fonksiyonları ile de desteklenmiş oldu.  $p-n$  yapısının seri direnci Schottky yapısından oldukça büyük hesaplanmıştır. 100 kHz sabit frekans altında -3 V ile +3 V arasında ölçülen  $C-V$  değerlerinden hesaplanan engel yükseklikleri  $p-NiO/n-GaAs$  heteroeklem diyotları için 0.71 eV ve  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotları için 0.76 eV olarak hesaplanmıştır.  $C-V$  ölçümlerinden elde edilen engel yükseklikleri arasındaki fark, yapısal fark olarak dikkat çekmektedir. Diyot kapasiteleri artan voltaj ile hızla artmakta ve belirli bir değerdan sonra neredeyse kararlı hale gelmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Elektriksel parametrelerini hesaplamak ve aralarındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla aynı deneysel şartlarda termal buharlaştırma yöntemi ile  $p-NiO/n-GaAs$  heteroeklem diyotları ile  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotları üretildi.  $I-V$  grafiklerinden  $p-NiO/n-GaAs$  heteroeklem diyotları arayüzey bölgesindeki potansiyel engel yüksekliğiyle aynı geleneksel  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotları gibi doğrultma özelliği göstermiştir.  $p-n$  yapılarının idealite faktörü 2.04 ve engel yüksekliği 0.75 eV ile geleneksel Schottky yapısından daha büyük olduğu görülmüştür. Cheung fonksiyonu yardımıyla hesaplanan  $p-NiO/n-GaAs$  heteroeklem diyotların seri dirençleri 6296  $\Omega$  ve 7072  $\Omega$  ile  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotlarından daha büyüktür.  $C-V$  ölçümlerinden elde edilen engel yükseklikleri  $p-NiO/n-GaAs$  heteroeklem diyotları için 0.71 eV ve  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotları için 0.76 eV olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak,  $p-n$  yapısı ile geleneksel Schottky yapısı arasındaki idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi elektriksel parametreler arasındaki farklar termal buharlaştırma yöntemi ile üretilerek tespit edilmiş oldu.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2018-7203 proje numarası ile finansal olarak desteklenmiştir.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Aydoğan Ş., Grilli M.L., Yılmaz M., Çaldıran Z., Kaçuş H. 2020. A facile growth of spray based ZnO films and device performance investigation for Schottky diodes: Determination of interface state density distribution. *Journal of Alloys and Compounds*, 708: 55-66.
- [2] Duman S., Ejderha K., Orak I., Yıldırım N., Turut A. 2020. Temperature dependence of interface state density distribution determined from conductance-frequency measurements in Ni/n-GaAs/Al diode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31 (23): 21260-21271.
- [3] Kacus H., Yılmaz M., Kocyigit A., Incekara U., Aydoğan S., 2020. Optoelectronic properties of Co/pentacene/Si MIS heterojunction photodiode. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 597: 412408.
- [4] Karataş Ş. 2020. Temperature and voltage dependence C-V and G/w-V characteristics in Au/n-type GaAs metal-semiconductor structures and the source of negative capacitance. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04850-1>.
- [5] Namini A.S., Asl M.S., Givi G.P., Delbari S.A., Farazin J., Altındal Ş., Kalandaragh Y.A. 2020. On the electrical characteristics of Al/p-Si diodes with and without (PVP:Sn-TeO<sub>2</sub>) interlayer using current-voltage (I-V) measurements. *Applied Physics A*, 126935.
- [6] Özdemir M.C., Sevgili Ö., Orak İ., Turut A. 2020. Arayüzey doğal oksit tabakalı Al/p-Si/Al yapıların dielektrik karakteristiklerine ölçüm frekanslarının etkileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1): 91-100.
- [7] Taha H., İbrahim K., Rahman M.M., Henry D.J., Yin C.Y., Veder J.P., Amri A., Zhao X., Jiang Z.T. 2020. Sol-gel derived ITO based bi-layer and tri-layer thin film coatings for organic solar cells applications, *Applied Surface Science*, 530: 147164.
- [8] Al-Ghamdi A.A., Abdelwahab M.S., Farghali A.A., Hasan P.M.Z. 2016. Structural, optical and photo-catalytic activity of nanocrystalline NiO thin films. *Materials Research Bulletin*, 75: 71-77.
- [9] Chrissanthopoulos A., Baskoutas S., Bouropoulos N., Dracopoulos V., Pouloupoulos P., Yannopoulos S.N. 2011. Synthesis and characterization of ZnO/NiO p-n heterojunctions: ZnO nanorods grown on NiO thin film by thermal evaporation. *Photonics and Nanostructures*, 9: 132-139.
- [10] Manjunath V., Bimli S., Parmar K.H., Shirage P.M., Devan R.S. 2019. Oxidized nickel films as highly transparent HTLs for inverted planar perovskite solar cells. *Solar Energy*, 193: 387-394.
- [11] Patel M., Kim H.S., Kim J., Yun J.H., Kim S.J., Choi E.H., Park H.H. 2017. Excitonic metal oxide heterojunction NiO/ZnO solar cells for all transparent module integration. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 170: 246-253.
- [12] Park S.Y., Kim H.R., Kang Y.J., Kim D.H., Kang J.W. 2010. Organic solar cells employing magnetron sputtered p-type nickel oxide thin film as the anode buffer layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94: 2332-2336.
- [13] Haider A.J., Al-Anbari R., Sami H.M., Haider M.J. 2019. Photocatalytic activity of nickel oxide. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (3): 2802-2808.
- [14] Gupta R.K., Hendi A.A., Cavas M., Al-Ghamdi A.A., Al-Hartomy O.A., Aloraini R.H., El-Tantawy F., Yakuphanoglu F. 2014. Improvement of photoresponse properties of NiO/p-Si photodiodes by copper dopant. *Physica E*, 56: 288-295.
- [15] Akinkuade S., Mwankemwa B., Nel J., Meyer W. 2018. Structural, optical and electrical characteristics of nickel oxide thin films synthesised through chemical processing method. *Physica B*, 535: 24-28.

- [16] Gil M.M., Monroy M.I.P., Leal M.C., German D.C., Fontecha A.G., Lopez M.A.Q., Lerma M.S. 2017. Influence of annealing temperature on nickel oxide thin films grown by chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 72: 37-45.
- [17] Chen S.C., Wen C.K., Kuo T.Y., Peng W.C., Lin H.C. 2014 Characterization and properties of NiO films produced by rf magnetron sputtering with oxygen ion source assistance. *Thin Solid Films*, 572: 51-55.
- [18] Wang H., Wu G., Cai X.P., Zhao Y., Shi Z.F., Wang J., Xia X.C., Dong X., Zhang B.L., Ma Y., Du G.T. 2012. Effect of growth temperature on structure and optical characters of NiO films fabricated by PA-MOCVD. *Vacuum*, 86: 2044-2047.
- [19] Gavale H.S., Wagh M.S., Gosavi S.R. 2019. Band gap engineering in spray pyrolysis grown nanocrystalline NiO thin films by Fe doping. *Journal of Nano and Electronic Physics*, 11 (4): 04015.
- [20] Guillen C., Herrero J. 2019. Transparent and p-type NiO thin films obtained by reactive DC sputtering at room temperature. *Materials Research Express*, 6: 096410.
- [21] Patel K.J., Desai M.S., Panchal C.J., Rehani B. 2011. p-type transparent NiO thin films by e-beam evaporation techniques. *Journal of Nano and Electronic Physics*, 3 (1): 376-382.
- [22] Ozkartal A. 2019. Characterization of the ITO/p-Si/Al contacts produced by thermal evaporation. *Vacuum*, 168: 108799.
- [23] Özmenteş R., Temirci C., Ozkartal A., Ejderha K., Yildirim N. 2018. Characterization of CuO/n-Si heterojunction solar cells produced by thermal evaporation. *Materials Science-Poland*, 36 (4): 668-674.
- [24] Jayavel P., Santhakumar K., Kumar J. 2002. Studies on the proton irradiation induced defects on Ni/n-GaAs Schottky barrier diodes. *Physica B*, 315: 88-95.
- [25] Doğan H., Korkut H., Yıldırım N., Turut A. 2007. Prediction of lateral barrier height in identically prepared Ni/n-type GaAs Schottky barrier diodes. *Applied Surface Science*, 253: 7467-7470.
- [26] Melebaev D., Melebaeva G.D., Rud V.Y., Rud Y.V. 2009. Photosensitivity of the Ni/n-GaAs Schottky barriers. *Semiconductors*, 43 (1): 29-32.
- [27] Aldemir D.A., Kökce A., Özdemir Ö.F. 2012. Temperature dependent ideality factor and barrier height of Ni/n-GaAs/In Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 98: 6-11.
- [28] Bobby A., Shiwakoti N., Sarun P.M., Verma S., Asokan K., Antony B.K. 2015. Swift heavy ion induced capacitance and dielectric properties of Ni/n-GaAs Schottky diode. *Current Applied Physics*, 15: 1500-1505.
- [29] Guzel A., Duman S., Yıldırım N., Turut A. 2016. Electronic transport of an Ni/n-GaAs diode analysed over a wide temperature range. *Journal of Electronic Materials*, 45 (6): 2008-2014.
- [30] Turgut G., Duman S. 2016. Sol-gel growth and characterization of a new p-NiO/n-GaAs structure. *Journal of Alloys and Compounds*, 664: 547-552.
- [31] Nuhoglu Ç., Temirci C., Bati B., Biber M., Türüt A. 2000. Effect of thermal annealing on Co/n-LEC GaAs (Te) Schottky contacts. *Solid State Communications*, 115: 291-295.
- [32] Akın B., Altındal Ş., 2020. On the frequency and voltage dependent main electrical parameters of the Au/ZnO/n-GaAs structures at room temperature by using various methods. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 594: 412274.
- [33] Ziel A. 1968. *Solid State Physical Electronics*. Second ed., Prentice-Hall, New Jersey.
- [34] Sze S.M. 1981. *Physics of Semiconductor Devices*. Second ed., Wiley, New York.
- [35] Rhoderick E.H., Williams R.H. 1978. *Metal-Semiconductor Contacts*. Oxford University Press.
- [36] Cheung S.K., Cheung N.W. 1986. Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physics Letters*, 49 (2): 85-90.
- [37] Nathan M., Shoshani Z., Askinazi G., Meyler B., Zolotarevski O. 1996. On the temperature dependence of the barrier height and the ideality factor in high voltage Ni/n-GaAs Schottky diodes. *Solid-State Electronics*, 39: 1457-1462.
- [38] Newman N., Schilfgaard M., Kendelwicz T., Williams M.D., Spicer W.E. 1986. Electrical study of Schottky barriers on atomically clean GaAs(110) surface. *Physical Review B*, 33 (2): 1146-1159.