



## Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP SCHOTTKY BARIYER DİYOTUN AKIM-VOLTAJ KARAKTERİSTİKLERİ

Ahmet Kürşat Bilgili\*, Metin Özer

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara [metinoz@gazi.edu.tr](mailto:metinoz@gazi.edu.tr)

### ÖZET

Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP/Au Schottky bariyerli diyotların akım-voltaj karakteristikleri 300-400 K sıcaklık aralığında incelendi. Metal ile yarıiletken arasında 120 Å kalınlığında TiO<sub>2</sub> film tabakası oluşturuldu. Diyotun ileri beslem akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden termiyonik emisyon modeline göre, sıfır beslem bariyer yüksekliği ve idealite faktörü parametreleri hesaplandı. Parametrelerin sıcaklığa bağlı olarak değiştiği ve sıcaklık artarken bariyer yüksekliğinin arttığı ve idealite faktörünün azaldığı görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** *n-InP, Schottky bariyeri, bariyer yüksekliği, idealite faktörü.*

## CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP SCHOTTKY BARRIER DIODE

### ABSTRACT

Current-voltage (I-V) characteristics of Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP Schottky barrier diodes have been investigated in the temperature range 300-400 K. Here TiO<sub>2</sub> film with 120 Å thickness has been used as interfacial layer between metal and semiconductor layers. The zero-bias barrier height ( $\Phi_{b0}$ ) and ideality factor  $n$  determined from forward bias I-V characteristics were found strongly dependent on temperature. We calculated parameters of the diode, by using Thermionic Emission Theory (TE), we have seen that the results are in accordance with the theory. According to these results ideality factor  $n$  decrease and barrier height ( $\Phi_{b0}$ ) increase with an increase in temperature.

**Keywords:** *InP, Schottky barrier, barrier height, ideality factor.*

### 1.GİRİŞ

III-V grubu yarıiletkenler, çeşitli optoelektronik ve elektronik cihazların üretiminde son yıllarda önem kazanmıştır. Yüksek hızlı optoelektronik iletişim sistemlerinde kullanılan, optoelektronik, mikrodalga ve entegre devrelerin üretimi, InP alttaşların üzerine metal film depolanması ile gerçekleştirilebilmektedir. Metal-yarıiletken (MY) kontaklar elektronik endüstrisinde en çok kullanılan doğrultucu kontaklardır. MY kontakların akım-voltaj(I-V) karakteristikleri genellikle termiyonik emisyon modelinden belirlenir. Bu modelden bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ), idealite faktörü ( $n$ ) ve doyma akımı ( $I_0$ ) hesaplanabilir. Son yıllarda, metal-InP arayüzeyleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, InP yarıiletkenli cihazların uygulama alanlarını geliştirmenin yanı sıra Schottky bariyerin oluşumunda etkili olan fiziksel

mekanizmayı açıklayabilmek için de yapılmıştır. Yüksek hızlı cihazların fabrikasyonunu geliştirebilmek için, InP alttaş üzerine metal film depolanması dikkat çeken bir konu olarak devam etmektedir. Metal-yarıiletken Schottky kontaklar, yarıiletken cihazın elektriksel özelliklerini ve bariyer yüksekliğini kontrol etmede önemli rol oynarlar. Bariyer yüksekliği sıcaklık değişiminden önemli ölçüde etkilenmektedir [1].

Normalde, InP Schottky diyotu istenenden daha düşük bir bariyer yüksekliğine sahiptir. Bunun birçok nedeni vardır. Bu nedenlerden bir tanesi InP atomlarının eklemde metal filme difuze olması ve arkalarında boşluklar veya daha karmaşık kusurlar bırakmasıdır. Bunlar bant aralığında Fermi seviyesinde değişimlere neden olur. Diğer nedense; metal-InP arayüzünde oluşan kimyasal reaksiyonlardır. Bu durum, arayüzeyde etkin iş fonksiyonunun değişimine ve yerel yük dağılımının bariyere katkısına neden olur. Üstelik InP Schottky diyotların oluşturulması, düşük bariyer yüksekliği, kararsız omik kontaklar, kötü yüzey morfolojisi ve büyük sızıntı akımı gibi istenmeyen durumların oluşmasını sağlayabilmektedir. Buna rağmen InP, düşük bariyerli diyotlar, kızılötesi dedektörler ve termal görüntüleme sistemlerinde uygulama alanına sahiptir. İstenen morfolojiler yanında, gelişmiş termal ve elektriksel kararlılığa sahip metal kontaklar oluşturabilmek için, kontak metallerinin InP ile reaksiyonlarını iyi anlamak gerekir. Schottky bariyer diyotun kararlılığı ve performansı, metal ve yarıiletken arasında oluşturulan arayüzey tabakasından oldukça etkilenir [2]. n-tipi InP üzerine metal-yarıiletken kontaklar oluşturmak için değişik metaller kullanılmıştır. Cetin ve arkadaşları, Au ve Cu/n-InP Schottky diyotları oluşturmuş ve I-V ölçümlerinden, bariyer yüksekliklerini 0,480 ve 0,404 eV olarak hesaplamıştır [3]. Miyazaki ve arkadaşları, n-InP üzerine Ni/Al kontakların elektriksel özelliklerini incelemiş ve sıcaklıkla bariyer yüksekliğinin değiştiğini gözlemlemiştir [4]. Haung ve diğerleri, n-InP üzerine yüksek performanslı Pt ve Al çift metal yapıyı Schottky kontak olarak oluşturmuş ve etkin bariyer yüksekliğinin 0,74 eV olarak hesaplamıştır [5]. Janardhanam ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise n-InP üzerine Mo Schottky diyodu oluşturulmuş ve elektriksel, yapısal ve yüzey morfolojisi sıcaklığa bağlı olarak incelenmiştir [6].

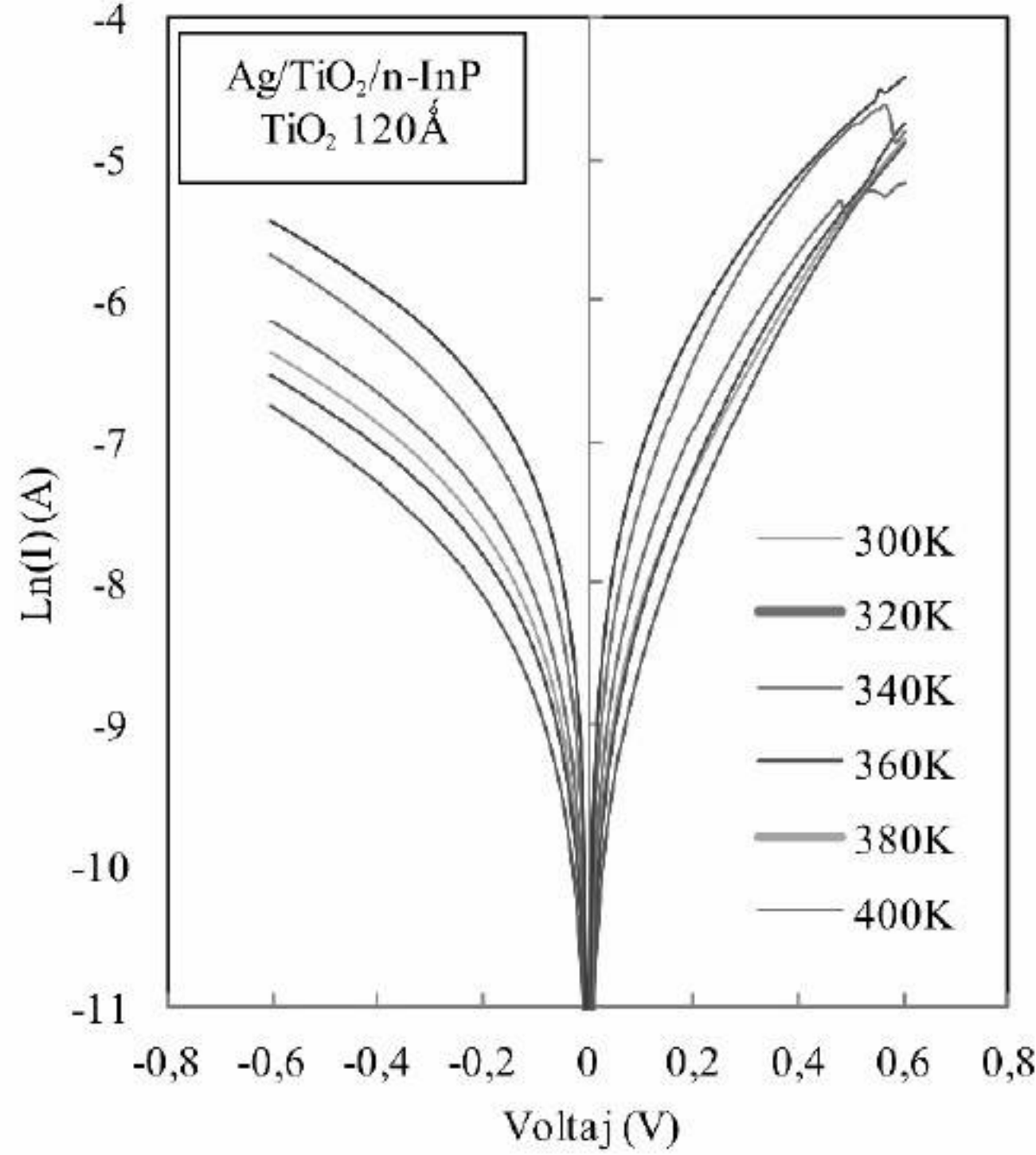
Bu çalışmada, n-InP yarıiletken alttaş üzerine püskürtme metodu ile Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP/Au yapısı oluşturularak I-V karakteristikleri, 300-400 K sıcaklık aralığında, 20 K aralıklarla incelendi.

## 2. MATERİYAL VE METOT

Schottky bariyer diyotlar, (100) yönelimli, 500 µm kalınlıklı,  $1-5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  taşıyıcı yoğunluğuna sahip n tipi InP yarıiletken kristali kullanılarak hazırlandı. 2 inch çapındaki n-InP kristal pul, kryostatteki tutucunun boyutuna uygun boyutlarda elmas kesici ile kesildi. Daha sonra genel kimyasal temizleme işlemine tutuldu. Kimyasal temizleme, trikloretilen, aseton ve metil alkolde 3'er dakika ultrasonik banyoda yapıldı. Her adımdan sonra deiyonize su ile durulandı. Yüzeyde istenmeyen oksit tabakasını gidermek için HF:H<sub>2</sub>O(1:10) içinde 30 saniye çalkalandı. Yarıiletkenin mat tarafına püskürtme yöntemiyle 150 nm kalınlıkta Au (%99,995) kaplandı. Daha sonra numune N<sub>2</sub> ortamında 325 C'de 4 dakika tavlansak omik kontak oluşturuldu. Yarıiletken kristalin parlak yüzeyine püskürtme metodu ile 120 Å kalınlıkta TiO<sub>2</sub> film kaplandı. TiO<sub>2</sub> kaplı yüzey üzerine, püskürtme metodu ile, 1 mm çaplı, 150 nm kalınlıkta Ag(%99,999) film ile Schottky kontaklar oluşturuldu. Hazırlanan numunelerden akım-gerilim ön ölçümleri yapıldı ve iyi diyot özelliği gösteren 3 tanesi seçilerek akım-voltaj (I-V) karakteristikleri 300-400 K sıcaklık aralığında kryostat içerisinde vakumlu ortamda (10<sup>-3</sup> torr) ölçüldü. Ölçüm sonuçları biri birine oldukça yakın bulundu ve burada yalnız birinin sonuçları verildi. I-V ölçümlerinde Keithley 2400 kaynakmetre (sourcemeter) kullanıldı. Değişik sıcaklıklardaki I-V ölçüm verileri bilgisayar kontrollü olarak elde edildi.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Üretilen Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP/Au yapının, 300-400 K sıcaklık aralığında, 20 K sıcaklık aralığı ile, farklı sıcaklıklarda I-V ölçümleri yapıldı. Her ölçümdeki sıcaklık kararlılığı 0,1 K' den daha küçüktü. Farklı sıcaklıklar için çizilen yarı-logaritmik doğru beslem lnI-V karakteristikleri Şekil 1'de gösterildi;



Şekil 1. 300-400K sıcaklık aralığında Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP diyotun ln(I)-V grafiği.

Bir Schottky diyotunun ideal diyot davranışı gösterip göstermediği, aşağıda verilen doğru beslem termiyonik emisyon modeli ile analiz edebilmektedir [7]. Bu modele göre akım iletim ifadesi,

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

şeklindedir. Burada,  $I_0$  doyum akımı olup,

$$I_0 = A A^{**} \exp\left(\frac{-q\Phi_{b0}}{kT}\right) \quad (2)$$

ifadesi ile verilmektedir.  $I_0$  akımı  $\ln(I)$ - $V$  grafiğinin  $V=0$ ' daki kesme noktasından belirlenir. Burada,  $q$  elektron yükü,  $V$  ileri beslem voltajı,  $A$  etkin diyot alanı,  $k$  Boltzmann sabiti,  $T$  mutlak sıcaklık,  $A^{**}$  etkin Richardson sabitidir. Richardson sabiti n-InP için  $9,4 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ ' dir [8]. Bariyer yüksekliği ve idealite faktörü aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$\Phi_{b0} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^{**}T^2}{I_0}\right) \quad (3)$$

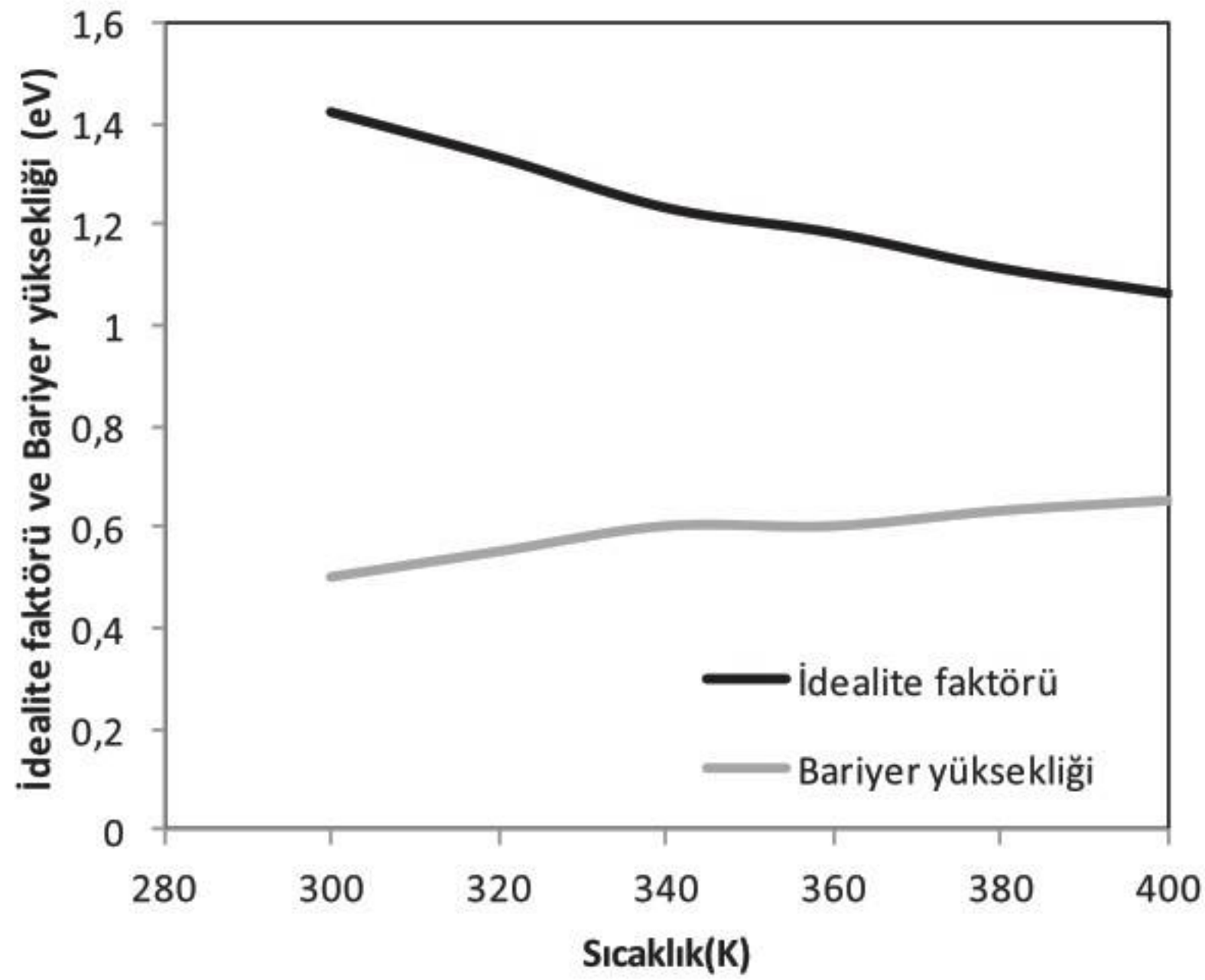
$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d\ln I}\right) \quad (4)$$

Üretilen diyotun Schottky bariyer yüksekliğinin deneysel değerleri, Şekil 1'deki  $\ln I$ - $V$  grafiğinin, doğru beslem kısmında küçük voltaj bölgesinden hesaplandı. Her bir sıcaklık için hesaplamalar tekrar edildi. İdealite faktörünün deneysel değerleri ise küçük voltaj bölgesinin eğimden hesaplandı. Bu değerler aşağıdaki çizelgede gösterildi.

**Çizelge 1.** 300-400 K sıcaklık aralığında Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP/Au diyotunun deneysel bulguları.

Sıcaklık, T (K)	Doyma akımı, $I_0$ (A)	İdealite faktörü n	Bariyer yüksekliği, $\Phi_b$ (eV)
300	1,77E-08	1,42	0,50
320	1,78E-08	1,33	0,55
340	2,44E-08	1,23	0,60
360	3,66E-08	1,18	0,60
380	5,53E-08	1,11	0,63
400	8,15E-08	1,06	0,65

Termoionik emisyon modeline göre, bariyer yüksekliği ve idealite faktörü sırasıyla, 0,50 eV ve 1,42 oda sıcaklığında, ve 0,65 eV ve 1,06 400 K'de hesaplandı. Çizelge 1'den görüleceği gibi bariyer yüksekliği artan sıcaklıkla artarken idealite faktörü azalmaktadır. Bunun nedeni metal ile yarıiletken arayüzeyindeki bariyer homojensizlikleridir. Bu çalışmada, metal ile yarıiletken arasına püskürtme yöntemi ile 120 nm kalınlığında TiO<sub>2</sub> ince film tabakası oluşturuldu. Bu oksit tabakasının oluşması sırasında bölgesel olarak kalınlık farkı oluşabilmektedir. Bu da nano hatta angstrom mertebesindeki farklı bölgelerde farklı değerlerde Schottky bariyer yükseklikleri oluşmasını sağlayabilmektedir. Bu durumda engel yüksekliği küçük olan bölgeden geçen akım değeri ölçülmektedir ve parametreler bu ölçülen akımdan hesaplanmaktadır. Sıcaklık arttıkça akım iletimine katkıda bulunan yük taşıyıcı sayısı artmaktadır I-V grafiğinin eğimi dikleşmekte ve bu nedenle de idealite faktörünün değeri giderek azalmaktadır. Tung'un potansiyel homojensizliği fikrine göre, yeterince düşük sıcaklıklarda arayüzeyde çok sayıda yol mevcut olabilir ve akım bu yollardan akar. Sıcaklık yükseldikçe daha fazla elektron daha yüksek bariyerleri aşabilir. Sonuç olarak idealite faktörü ve bariyer yüksekliği yerel bariyer homojensizliğiyle doğrudan ilgilidir [9].



**Şekil 2.** Ag/TiO<sub>2</sub>/n-InP diyotun 300-400 K sıcaklık aralığında idealite faktörü ve bariyer yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi.

#### 4. SONUÇLAR

Termoionik emisyon modeline göre elde edilen sonuçlara göre, oda sıcaklığında bariyer yüksekliği ve idealite faktörü sırasıyla 0,50 eV ve 1,42, 400 K sıcaklıkta ise 0,65 eV ve 1,06 olarak bulunmuştur. Çizelge 1 ve Şekil 2 de görüldüğü gibi, artan sıcaklıkla idealite faktörü azalırken, bariyer yüksekliği artmıştır. Bunun nedeni arayüzeydeki uzaysal bariyer homojensizlikleridir. Metal-yarıiletken yüzeyler arasında belli kalınlıkta bir film yerleştirilmesi iş fonksiyonunu değiştirdiği için bariyer yüksekliğini de değiştirmiştir. Bu sonuçlar daha önce Schottky bariyer diyotlar üzerine yapılan diğer araştırmaların bulguları ile uyumludur.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Adım Fizik Günleri IV 2015'te poster olarak sunulmuştur. Numune hazırlanmasında yardımcı olan Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanlarına teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- [1] H. Çetin, E. Ayyıldız, "Electrical characteristics of Au, Al, Cu/n-InP Schottky contacts formed on chemically cleaned and air exposed n-InP surface", *Physica B*, 394, 93-99,( 2007)
- [2] S. Sankar Naik, V. Rajagopal Reddy, Chel-Jong Choi, Jong Seong Bae, "Electrical and structural properties of double metal structure Ni/V Schottky contacts on n-InP after rapid thermal process" *J. Mater. Sci.*, 46, 558-565, (2010)
- [3] H. Çetin, E. Ayyıldız, "On barrier height inhomogeneities Of Au And Cu/N-Inp Schottky contacts", *Physica B*, 405, 559, (2010)
- [4] S. Miyazaki, T.C. Lin, C. Nishida, H.T. Kaibe, T. Okumura, "Morphological and electrical characterization of Al/Ni/n-InP contacts with tapered insertion Ni-layer", *Electron Mater.*, 25,577,( 1996)
- [5] W.C, Huang, Cai Dong-Rong," International workshop on junction technology", p 295,( 2006)
- [6] V. Janardhanam, A. Ashok Kumar, V. Rajagopal Reddy, P. Narasimha Reddy,"Effects of annealing temperature on electrical and structural properties of Mo/n-InP (100) Schottky contacts", *Surf. Interface Anal.*, 41, 905,( 2009)
- [7] E.H. Rhoderick, R.H. Williams, "Metal-semiconductor contacts", 2<sup>nd</sup> edition Clarendon pres, Oxford, (1988)
- [8] R.H. Williams, G.Y. Robinson, "Physics and chemistry of III-V compound semiconductor interfaces", Plenum press, New York, (1985)
- [9] M. Baskhar Reddy, A. Ashok Kumar, V. Janardhanam, V. Rajagopal Reddy, P. Narasimha Reddy, "Current-voltage-temperature(I-V-T) characteristics of Pd/Au Schottky contacts on n-InP (111)", *Current Applied Physics*. 9, 972-977, (2009)