



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Au/n-GaAs SCHOTTKY KONTAKLARIN  
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN GENİŞ  
BİR SICAKLIK ARALIĞINDA İNCELENMESİ**

**HALİL ÖZERLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2013**

T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Au/n-GaAs SCHOTTKY KONTAKLARIN  
ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN GENİŞ  
BİR SICAKLIK ARALIĞINDA İNCELENMESİ**

**HALİL ÖZERLİ**

**Bu tez,  
Fizik Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS  
derecesi için hazırlanmıştır.**

**KAHRAMANMARAŞ 2013**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Halil ÖZERLİ tarafından hazırlanan “ Au/n-GaAs Schottky kontakların elektriksel karakteristiklerinin geniş bir sıcaklık aralığında incelenmesi ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 24 / 09 / 2013 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile FİZİK Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Şükrü KARATAŞ (DANIŞMAN) .....

Fizik Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof.Dr. Musa GÖĞEBAKAN .....

Fizik Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç.Dr. Cafer AYDIN .....

Matematik Anabilim Dalı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Halil ÖZERLİ

Bu çalışma K.S.U Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı tarafından, Proje No; 2012/3-11YLS, desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**Au/n-GaAs SCHOTTKY KONTAKLARIN ELEKTRİKSEL  
KARAKTERİSTİKLERİNİN GENİŞ BİR SICAKLIK ARALIĞINDA  
İNCELENMESİ  
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**HALİL ÖZERLİ**

**ÖZ**

Bu çalışmada, [100] doğrultusunda büyütülmüş, n-GaAs yarıiletken kristali kullanılmıştır. Au-Ge (%88-%12) alaşımı kullanılarak kontaklar yapılarak Au/n-GaAs Schottky kontaklar elde edildi. Elde edilen kontakların geniş bir sıcaklık aralığında elektiriksel özellikleri incelendi.

**Anahtar Kelimeler:** Schottky kontaklar, Sıcaklık, Gaussian dağılım.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, 09 / 2013

Danışman: Doç.Dr. Şükrü KARATAŞ

Sayfa sayısı: 36

**TO INVESTİGATE ELECTRICAL CHARACTERİSTİC  
OF Au/n-GaAs SCHOTTKY DIODE AT WİDE TEMPERATURES  
(M. Sc. THESIS)**

**HALİL ÖZERLİ**

**ABSTRACT**

In this study, n-GaAs semiconductor, enlarged in [100] line, was used. The contacts were made by using Au-Ge (%88-%12) alloy and Au/n-GaAs Schottky diode was obtained. The electrical properties of prepared diodes is investigated a wide range of temperature.

**Key Words:** Schottky contacts, Temperature, Gaussian distribution.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University  
Institute for Graduate Studies in Science and Technology  
Department of Physics 09 / 2013

Supervisor: Doç. Dr. Şükrü KARATAŞ

Page number: 36

# Au/n-GaAs SCHOTTKY KONTAKLARIN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN GENİŞ BİR SICAKLIK ARALIĞINDA İNCELENMESİ

## ÖZET

Bu çalışmada, [100] doğrultusunda büyütülmüş, donör konsantrasyonu  $2-4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  olan Au-Ge (%88-%12) katkılı n-GaAs yarıiletken kristali kullanılmıştır. Hazırlanan Au/n-GaAs Schottky kontakların akım – voltaj (I-V) , kapasitans – voltaj (C-V ) karakteristikleri 80-415 K sıcaklık aralığında ölçüldü. Bu ölçümler yardımıyla diyotun karakteristik parametreleri elde edilmiştir. Diyot ideal olmayan karakteristikler göstermiştir. Bu durum ara yüzey homojensizliğine atfedilebilir. Deneysel I-V verilerinden sıcaklığın arttırılmasıyla idealite faktöründe (n) azalma, engel yüksekliğinde ( $\Phi_b$  ) artış olduğu gözlemlendi. En düşük ve en yüksek sıcaklıklar için idealite faktörü 4.33- 1.90 olarak hesaplandı. Aynı şekilde engel yüksekliği en düşük ve en yüksek sıcaklık için sırasıyla 0.3469-0.9192 eV olarak bulundu. Aynı zamanda Cheung fonksiyonları kullanılarak H(I)-I ve  $dV/d \ln I-I$  eğrilerinden, seri dirençler ( $R_s$ ) elde edildi.

**TO INVESTIGATE ELECTRICAL CHARACTERISTIC  
OF Au/n-GaAs SCHOTTKY DIODE AT WIDE TEMPERATURES**

**SUMMARY**

In this study, donor concentration of  $2-4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  with 2-Au-Ge (88% - 12%) doped n-GaAs semiconductor, enlarged in [100] line, was used. The current – voltage(I-V), capacitance-voltage(C-V) characteristics of prepared Au/n-GaAs Schottky contacts is measured in the temperature range of 80-415 K . The characteristic parameters of diodes was obtained with the aid of these measurements. Diode showed non-ideal characteristics. This statement can be referred to non-homogeneous of interface. As from the experimental I-V data , it is observed a decrease in ideal factor and an increase in barrier height. The ideal factor for the lowest and highest temperature is calculated as 4,33-1,90. Similarly, barrier height for the lowest and highest temperature is found as 0,3469-0,9192 eV, respectively. Besides, by using Cheung functions series resistances were attained from H-I and  $dv/d \ln I-I$  lines.

## TEŞEKKÜR

Kahraman Maraő Sütçü İmam üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Doç. Dr. Şükrü Karataş danıőmanlıđında gerçekteőirilmıőtir. Çalıőmam boyunca her türlü desteğini gördüğüm, engin tecrübelerinden ve bilgilerinden yararlandığım ve gelecekte de bu bilgi birikiminden yararlanmak istediğim, değerli hocam Doç. Dr. ŞÜKRÜ KARATAŞ ‘a en içten dileklerle Őükranlarımı arz ederim.

Çalıőmanın her aőamasında , tez içeriğinin düzenlenmesinde ve karőılaőtıđım sorunların çözümlenmesinde yardımlarını esirgemeyen, deneyim ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan, İbrahim KARTERİ ve Selman YILMAZ ‘a teőekkürü bir borç bilirim.

Son olarak , bu günlere gelmemde büyük rol oynayan, her daim ilgilerini ve sevgilerini esirgemeyen , maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan anneme , babama , kardeőlerime ve tüm akrabalarım teőekkürlerimi sunarım.

Halil ÖZERLİ

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖZET .....	iii
SUMMARY .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 İletkenler, Yalıtkanlar ve Yarıiletkenler .....	2
1.2. Yarıiletkenlerin Sınıflandırılması .....	3
1.2.1. Tek Atomlu Yarıiletkenler .....	3
1.2.1. Bileşik Yarıiletkenler .....	4
1.3. Yarıiletken Tipleri .....	5
1.3.1. Saf ( Katkısız, intrinsic ) Yarıiletkenler .....	5
1.3.2. Saf Olmayan ( Katkılı) Yarıiletkenler .....	6
1.3.2.1. p-tipi Yarıiletkenler .....	7
1.3.2.2. n-tipi Yarıiletkenler .....	8
1.4 Galyum Arsenik (GaAs) .....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	15
3.1 Giriş .....	15
3.2 n-GaAs Kristalinin Temizlenmesi ve Numunenin Hazırlanması .....	15
4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR .....	17
4.1. Doğru Beslem Akım-Voltaj Karakteristiklerinin Sıcaklığa Bağlılığı .....	17
4.2 Termiyonik Alan Emisyonu ve İmaj Kuvvet Düşmesinin Etkileri .....	25
4.3 Homojen Olmayan Engel Analizi .....	26
4.4 Akım-Gerilim Karakteristiklerinde Cheung Fonksiyonlarının Kullanılması .....	31

5. SONUÇ .....	33
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	36

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>A</b>	: Diyot alanı
<b>A<sup>*</sup></b>	: Richardson sabiti
<b>A<sup>**</sup></b>	: Etkin Richardson sabiti
<b><math>\delta</math></b>	: Arayüzey tabaka kalınlığı
<b>N<sub>SS</sub></b>	: Arayüzey hallerinin yoğunluğu
<b>E<sub>S</sub></b>	: Vakum seviyesi ile valans bandı arasındaki enerjisi farkı
<b>E<sub>c</sub></b>	: İletkenlik bandı
<b>E<sub>v</sub></b>	: Valans(Değerlik) bandı
<b>E<sub>F</sub></b>	: Fermi enerjisi
<b><math>\epsilon_i</math></b>	: Arayüzey tabakasının dielektrik sabiti
<b><math>\epsilon_s</math></b>	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
<b><math>\epsilon_0</math></b>	: Boşluğun dielektrik sabiti
<b><math>\Phi_{bo}</math></b>	: Schottky engel yüksekliği
<b><math>\Phi_{bf}</math></b>	: Flat-bant engel yüksekliği
<b><math>\Phi_m</math></b>	: Metalin iş fonksiyonu
<b><math>\Phi_s</math></b>	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
<b>N<sub>a</sub></b>	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu
<b>N<sub>v</sub></b>	: Yarıiletkenin valans bandındaki durumların yoğunluğu
<b><math>\rho(x)</math></b>	: Konuma bağlı uzay yük yoğunluğu
<b>I</b>	: Akım
<b>V</b>	: Voltaj (gerilim)
<b>I<sub>0</sub></b>	: Doyma (saturation) akım yoğunluğu
<b>k</b>	: Boltzman sabiti
<b>MIS</b>	: Metal yalıtkan yarıiletken
<b>MOS</b>	: Metal oksit yarıiletken
<b>N<sub>d</sub></b>	: Yarıiletkenin donör yoğunluğu (serbest taşıyıcı yoğunluğu)
<b>N<sub>SS</sub></b>	: Yarıiletkenle dengede olan arayüzey hal yoğunluğu
<b>n</b>	: İdealite faktörü
<b>R<sub>s</sub></b>	: Seri direnç
<b>T</b>	: Mutlak sıcaklık
<b>V<sub>d</sub></b>	: Difüzyon potansiyeli

$X_d$	:Uzay yükü bölgesinin kalınlığı
$\chi_s$	:Yarıiletkenin elektron ilgisi
$C$	:Kapasite
$V_p$	:Potansiyel fark
$E_0$	:Aktivasyon Enerjisi
$E_{00}$	:Tünelleme enerjisi
$h$	:Planck sabiti
$m_n^*$	:Değişin etkin kütle
$m_h^*$	:Elektronun etkin kütlesi
$m_0^*$	:Elektronun kütlesi
$\rho$	:Voltaj sabiti
$\sigma_s$	:Standart sapma
$\alpha_\sigma$	:Standart sapmanın sıcaklık sabiti

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenler için iletkenlik aralığı .....	2
Şekil 1.2. Şematik enerji bandı gösterimi: (a) iletken, (b) yalıtkan ve (c) yarıiletken .....	3
Şekil 1.3. Bileşik ve tek atomlu yarıiletkenlerin periyodik cetvelde gösterimi.....	4
Şekil 1.4. Saf ve katkılı yarıiletkenler için termal dengede enerji-bant diyagramı, (a) saf yarıiletken, (b) n-tipi yarıiletken ve (c) p-tipi yarıiletken .....	6
Şekil 1.5. p (pozitif) – tipi yarıiletkenin oluşumu .....	7
Şekil 1.6. n (negatif) – tipi yarıiletkenin oluşumu.....	8
Şekil 1.7. GaAs için enerji-bant diyagramı .....	9
Şekil 1.8. GaAs için faz diyağramı.....	10
Şekil 3.1. Termal tavlama işlemi için fırın ve kontrol sistemi şeması.....	16
Şekil 4.1. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun deneysel doğru beslem akım-voltaj karakteristikleri.....	19
Şekil 4.2. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun idealite faktörünün sıcaklığa bağlılığı .....	20
Şekil 4.3. Au-Ge/n-GaAs 80-415K sıcaklıklarda Schottky diyodunun C-V grafiği.....	21
Şekil 4.4. 80-415 K Sıcaklık aralığında Au-Ge/ n-GaAs Schottky diyodunun C <sup>-2</sup> -V grafiği .....	22
Şekil 4.5. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun engeli için sıfır beslemde C-V, I-V ve düz-bant engel yüksekliklerinin sıcaklığa göre değişimi.....	22
Şekil 4.6. Au-Ge/n-GaAs seri direnç değerleri .....	23
Şekil 4.7. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyonu için ln(I <sub>0</sub> /T <sup>2</sup> ) veya 1/T veya 1/nT ve ln(I <sub>0</sub> /T <sup>2</sup> ) –1/nT nin Richardson eğrileri .....	24
Şekil 4.8. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun engel yüksekliğinin idealite faktörüne göre değişimi .....	27
Şekil 4.9. Engel Yüksekliğinin Gaussian dağılımına göre Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun sıfır belsemli engel yüksekliği ve idealite faktörünün 1/T'ye göre değişimi .....	28
Şekil 4.10. Engel yüksekliğinin Gaussian dağılımına göre Au-Ge/n-GaAs Schottky diyonunun modifiye düzeltilmiş diyodunun modifiye düzeltilmiş ln(I <sub>0</sub> /T <sup>2</sup> )- q <sup>2</sup> σ <sup>2</sup> /(2kT) <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> /T göre grafiği .....	29

Şekil 4.11. Engel Yüksekliğinin Gaussian Dağılımına göre deneysel $(\Phi_{CV}-\Phi_{IV})-1/T$ Grafığı.....	30
Şekil 4.12. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun $H(I)-I$ grafiği.....	32
Şekil 4.13. Au-Ge/n-GaAs Schottky diyodunun $dV/d\ln I$ grafiği .....	32

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 1.1. GaAs' in özellikleri.....	11
Çizelge 4.1. Au/n-GaAs Schottly diyot için 80-415 K sıcaklık aralığında elde edilen deneysel parametreler.....	18

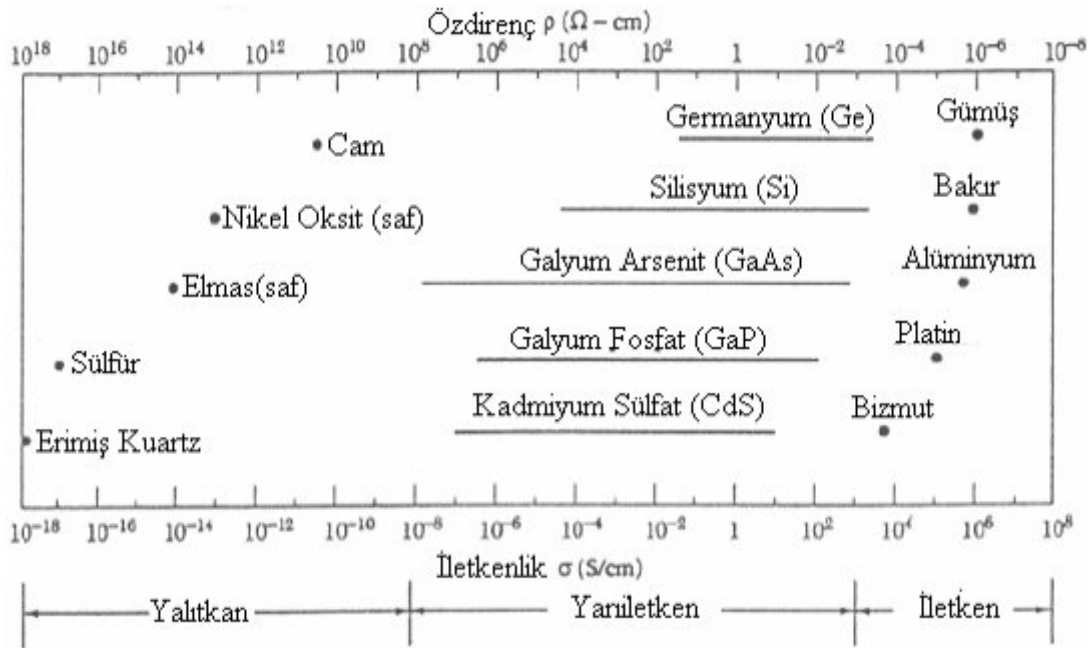
## 1.GİRİŞ

1940'lerden beri yarıiletken malzemeler araştırılmakta ve bu araştırmalar neticesinde oluşturulan elektronik araçlar günlük yaşantımızda kullanılmaktadır. Özellikle 1948 yılında, Bell Araştırma Laboratuvarında J.Bardeen, W.H.Brattain ve W. Shockley tarafından transistörün keşfedilmesi, yarıiletkenlerin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına yönelik araştırmalara hız kazandırmıştır. II. Dünya savaşı sırasında radar teknolojisinde metal-yarıiletken kontakların kullanılması yarıiletkenler üzerine olan ilginin artmasına neden olmuştur. Geçen 50 yıldıki elektronik endüstrisinin ani gelişimi, yarıiletken malzemelerin kullanılmasıyla olmuştur. Bu malzemelerin en çok kullanılanı metal yarıiletken kontaklar yani Schottky diyotlardır. Bilgi ağının daha hızlı ve daha karmaşık sistemlere ihtiyaı, bu araçlar üzerine olan çalışmaları artırmaktadır. Bu yüzden Schottky diyot elektronik teknolojisinde önemli bir role sahiptir. Schottky diyotunun özellikleri bariyer yksekligi ve idealite faktörü tarafından karakterize edilmektedir. Ara yüzey durumları, Schottky diyotunun bariyer yksekligi ve diğer karakteristik parametrelerinin hesaplanmasında önemli rol oynar. Bu karakteristik parametreler yapılan cihazların performansını, güvenilirliğini ve dengesini önemli ölçüde etkiler. Bu diyotların yapımında yaygın olarak kullanılan yarıiletkenlerden birisi de Galyum Arsenik (GaAs) ' tir. Metal yarıiletken GaAs ykseklili ve düşük güçlü diyotlar için avantajlı yarıiletkenlerden biridir [1].

Yarıiletkenlerin iletkenligi; sıcaklığa, aydınlatma şiddetine, elektrik alana, manyetik alana ve safsızlık atomlarının yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Bu alışmada 80-415K aralığında GaAs yarıiletkeninin akım-voltaj ve kapasitans-voltaj karakteristiklerini inceledik.

## 1.1 İletkenler, Yalıtkanlar ve Yarıiletkenler

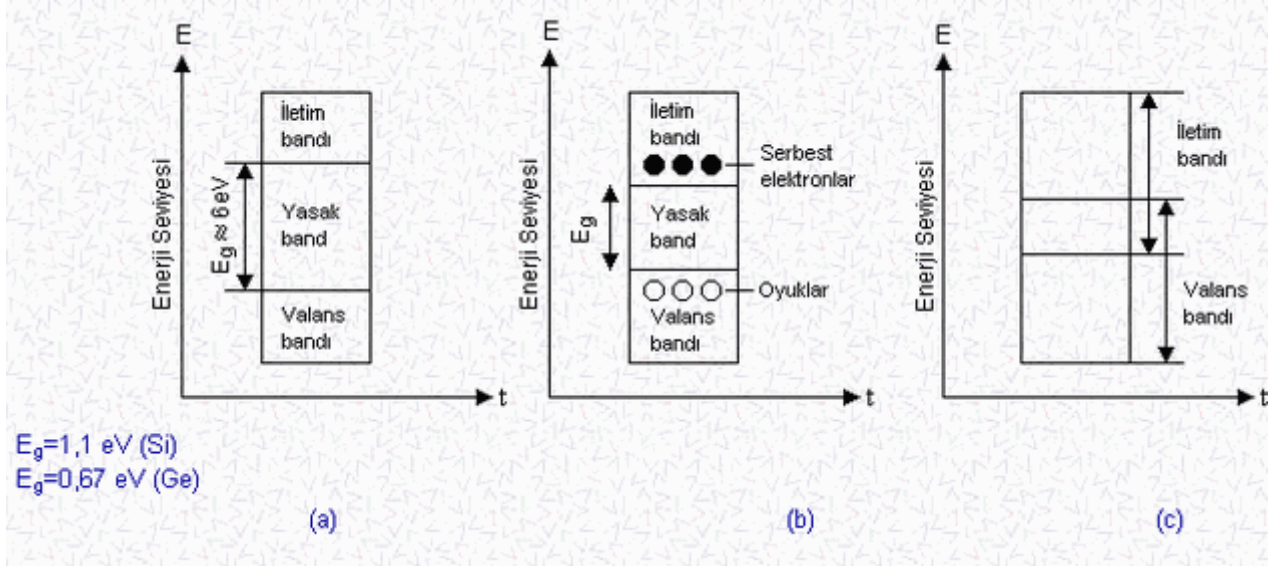
Katı haldeki malzemeler, iletkenliklerine (özdirenç:  $\rho=1/\sigma$ ) göre yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenler olmak üzere Şekil 1.1. deki gibi gruplandırılmaktadır [2]. İletim ve valans bandı birbirine çok yakın veya üst üste binmiş ise bu tür katılara iletken denir. Alüminyum ve gümüş bu tür iletkenlere örnektir. Ayrıca bu elementler yüksek iletkenliğe ( $10^8$  ile  $10^2$  ( $\Omega\text{cm}$ )<sup>-1</sup>) sahiptir. Taşıyıcı sayısı çok az, yasak enerji bandı çok geniş ve iletkenliği  $10^{-8}$  ile  $10^{-18}$  ( $\Omega\text{cm}$ )<sup>-1</sup> arasında olan katılara ise yalıtkan adı verilir. Elmas, düşük iletkenli kadmiyum sülfür ve çinko sülfür bunlara örnek verilebilir. Taşıyıcı sayısı az, yasak enerji bandı yalıtkan ile iletken arasında bir bölgede ve iletkenliği  $10^2$  ile  $10^{-8}$  ( $\Omega\text{cm}$ )<sup>-1</sup> arasında olan katılara da yarıiletken adı verilmektedir. Germanyum, silisyum, galyum arsenik, bakır oksit gibi kristaller ise yarıiletkenlere örnek verilebilir [3].



Şekil 1.1. Yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenler için iletkenlik aralığı

Yarıiletkenlerde izinli ve yasaklanmış enerji (yasak bant aralığı) bölgeleri vardır. Bu yasak bant aralığı 1 eV mertebesinde olup (dar bant aralıklı malzeme), yarıiletkenlerin birçok özelliklerini tanımlamakta kullanılan önemli bir parametredir. İzinli enerji bölgeleri yasak bandın altında ve üstünde yerleşir. Yasak bandın altında kalan ve bağlı elektronların

oluşturduğu enerji bölgesi valans bandı ve üstünde kalan serbest elektronların oluşturduğu enerji bölgesi iletkenlik bandı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.2. de iletkenlerin, yalıtkanların ve yarıiletkenlerin bant diyagramı verilmiştir [4].



Şekil 1. 2. Şematik enerji bantı gösterimi: (a) yalıtkan, (b) yarıiletken ve (c) iletken

$T=0$  K'de, tüm elektronlar valans bandındadır. İletkenlik bandında birçok boş seviye olduğundan, uygulanan küçük bir potansiyel bu elektronları kolaylıkla hareket ettirebilir ve bir akım meydana gelmektedir [5].

## 1.2. Yarıiletkenlerin Sınıflandırılması

### 1.2.1. Tek Atomlu Yarıiletkenler

Tek atomlu yarıiletkenlerin her bir atomu, bir elektronunu en yakın komşusuyla ortaklaşa kullanarak kuvvetli bir bağ (kovalent bağ) oluşturur. Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) tek atomlu yarıiletkenlere örnek olarak verilir.

		III	IV	V	VI	VII
		B	C	N	O	F
I	II	Al	Si	P	S	Cl
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At

III-V Bileşik Yarıiletkenler  
GaAs, GaAlAs, InP

II-VI Bileşik Yarıiletkenler  
ZnS, CdS

Şekil 1.3. Bileşik ve tek atomlu yarıiletkenlerin periyodik cetvelde gösterimi.

### 1.2.2. Bileşik Yarıiletkenler

İki ya da daha çok elementten meydana gelen yarıiletkenlerdir ve elementlerin elektronegatifliklerindeki farklılıktan dolayı, kristal bağlanma iyonik ve kovalent bağlanmanın bir kombinasyonudur. Bu tür yarıiletkenlere örnekler, periyodik cetvelde iki grupta (II-VI arası bileşikler ve III-V arası bileşikler) yer alır. III-V bileşikler, **Galyum Arsenik (GaAs)**, Alüminyum Arsenik (AlAs), İndiyum Arsenik (InAs), İndiyum Fosfat (InP) ve II-IV bileşiklere örnekse Civa Tellür (HgTe) ve Kadmiyum Tellür (CdTe)' dir. Şekil 1.3'te görüldüğü gibi malzememizin (GaAs) bileşik yarıiletken olup III-V grubunda yer aldığı görülmektedir.

### 1.3. Yarıiletken Tipleri

Oda sıcaklığında yarıiletken malzemenin atomlarının termal enerjileri, iletme katılacak çok az sayıda elektron sağlar. Yüksek sıcaklıklarda, termal titreşim kovalent bağları kırabilir. Bağ kırıldığında, serbest kalan elektron, akım iletimine katılır. Kovalent bağda bir elektron boşluğu (eksikliği) meydana gelir. Bu boşluk komşu elektronlardan birisi tarafından doldurulabilir. Sonuç olarak, boşluk pozisyonunda bir kayma meydana gelir. Böylece, boşluğu elektrona benzer bir parçacık olarak düşünebiliriz. Bu hayali parçacık “deşik” olarak adlandırılır. Pozitif yük taşır ve uygulanan elektrik alan altında elektronun yönüne ters yönde hareket eder. Böylece hem elektronlar ve hem dedeşikler iletkenliğe katkıda bulunurlar. İletkenlik bandında birim hacimdeki elektron sayısı ( $n$ ) ile valans bandında birim hacimdekideşik sayısına ( $p$ ) göre yarıiletkenler saf ve saf olmayan yarıiletkenler olmak üzere ikiye ayrılır.

#### 1.3.1. Saf ( Katkısız, intrinsic ) Yarıiletkenler

Saf yarıiletkenlerde, iletkenlik bandında birim hacimdeki elektron sayısı ( $n$ ) ile valans bandında birim hacimdekideşik sayısı ( $p$ ) eşittir. Yani  $n=p=n_i$  olur. Burada  $n_i$  saf taşıyıcı yoğunluğudur. Germanyum ve silisyum gibi kristal yapıya sahip maddelerin son yörünge (valans) elektronları, komşu atomların her bir valans elektronlarıyla adeta bağlıymış gibi birlikte dönerler. Bunlara ortak valans çiftleri denir. Komşu atomlar arasındaki ortak valans bağları, atomlar arasında bir çekme kuvveti oluşturur. Ancak komşu atom çekirdeklerindeki artı (+) yükler arasındaki itme kuvvetleri bu çekim gücüne karşı koyar. Bu sayede kristal madde içinde elektriksel denge kurulur. Kovalent bağ içinde olan germanyum ya da silisyum maddesinde elektrik akımı hareketini başlatmak için dışarıdan bir enerji uygulamak gereklidir. Çünkü normalde bu maddeler "yalıtkan" gibi davranırlar.

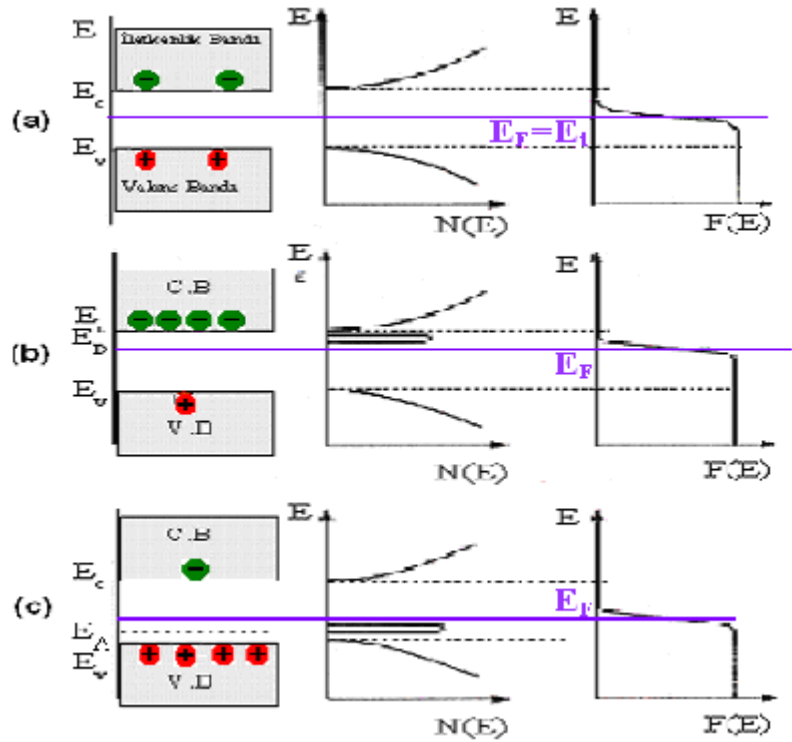
### 1.3.2. Saf Olmayan ( Katkılı) Yarıiletkenler

Yarıiletken safsızlık atomları (donörler veya akseptörler) tarafından katkılandırıldığı zaman, katkılı yarıiletken haline gelir ve safsızlık enerji seviyeleri ortaya çıkar. Şekil 4'de saf ve katkılı yarıiletkenlerin termal dengedeki enerji bant diyagramı gösterilmiştir.

$E_c$ : İletkenlik bandı

$E_v$ : Valans(Değerlik) bandı

$E_f$ : Fermi Enerjisi

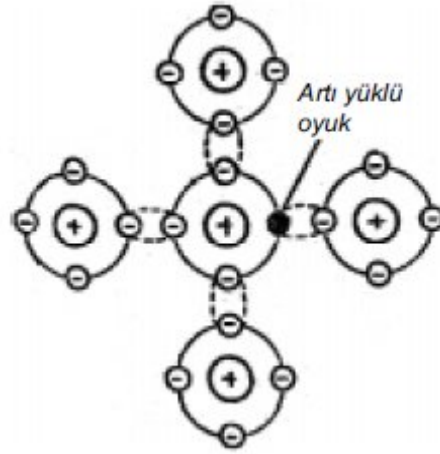


Şekil 1.4. Saf ve katkılı yarıiletkenler için termal dengede enerji-bant diyagramı, (a) saf yarıiletken, (b) n-tipi yarıiletken ve (c) p-tipi yarıiletken

Yarıiletkene elektron verebilen katkı atomları “donör (verici)” olarak adlandırılır. Çoğunluk taşıyıcılar elektronlar olduğu için yarıiletken, n-tipi yarıiletken haline gelmiştir. Yarıiletkenden elektron alan katkı atomları da “akseptör (alıcı)” olarak adlandırılır. Yarıiletkente çoğunluk taşıyıcılar deşikler olduğu için yarıiletken p-tipi yarıiletken haline gelmiştir [5].

### 1.3.2.1. p-tipi Yarıiletkenler

Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık 100 milyonda 1 oranında) son yörüngesinde üç elektron bulunan galyum (ya da indiyum, bor, alüminyum) karıştırılırsa, galyumun üç elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar. Şekil 5’de görüldüğü gibi silisyum ya da germanyumun elektronlarından birisi ise bağ yapacak galyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron kapmak ister.

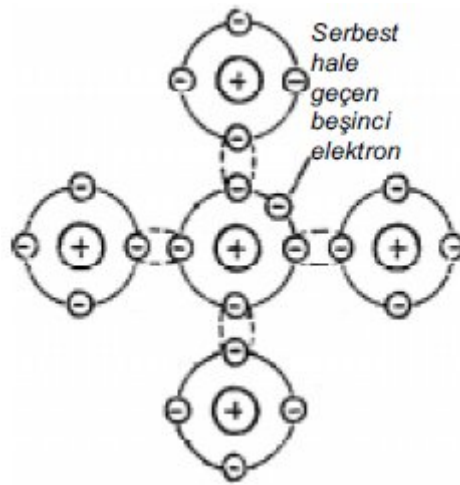


Şekil 1.5. p (pozitif) – tipi yarıiletkenin oluşumu

İşte elektron yönünden fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir. Elektronu ihtiyaç olan yer bir deşik (hole, delik, boşluk) ile ifade edilir ve bu pozitif yüklü kabul edilir. Zira deşik, her an elektron çekmeye uygun durumdadır. Deşik yönünden zengin olan bu tip karışıma da p-tipi yarıiletken denir. p-tipi yarıiletkenin durumu basitçe gösterileceği zaman, çekirdek eksi (-) yüklü, deşikler ise artı (+) yüklü olarak ifade edilir. p tipi yarıiletkenin oluşumunda kullanılan maddeler (galyum, indiyum, bor) elektron azalmasına neden olduklarından, bunlara alıcı (akseptor) adı verilir [6].

### 1.3.2.2. n-tipi Yarıiletkenler

Son yörüngesinde 4 elektron bulunduran silisyum ya da germanyumun içine (yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında), son yörüngesinde 5 elektron bulunduran arsenik (ya da fosfor, antimuan) maddesi karıştırılırsa, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar.

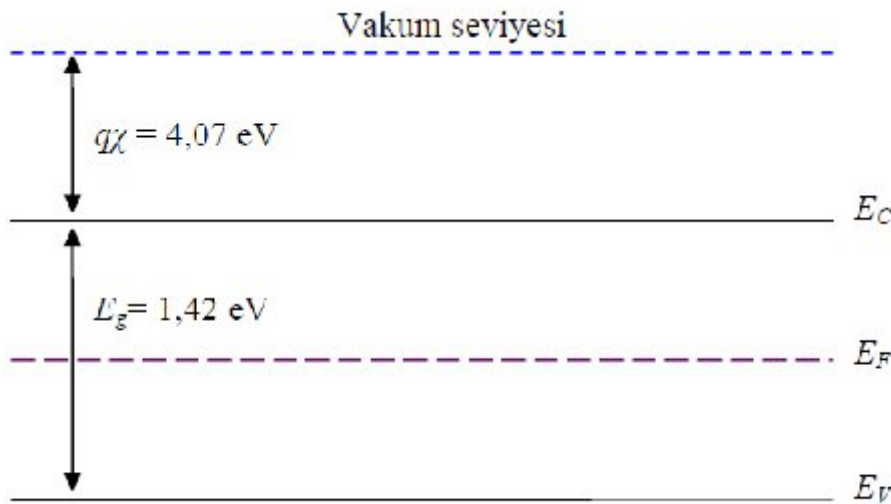


Şekil 1.6. n (negatif) – tipi yarıiletkenin oluşumu

Bir elektron ise boşta kalır. Şekil 6'da görüldüğü gibi serbest hale geçen beşinci arsenik elektronu, kristal yapıdaki madde içinde dolaşır. İşte elektron yönünden zengin olan bu karışıma n tipi yarıiletken denir. Kristal yapı içine katılan 5 elektronlu madde bir elektronunu yitirdiği için elektriksel olarak pozitif (+) yüklü iyon duruma geçer. Bu elektriksel durum basit olarak gösterilirken çekirdek (+) yüklü, serbest halde dolaşan elektronlar ise (-) yüklü olarak ifade edilir. n tipi yarıiletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektron çoğalmasına neden olduklarından, bunlara verici (donör) adı verilir. n tipi yarıiletken haline gelmiş olan maddenin serbest hale geçmiş elektronları çok olduğu için bunlara, çoğunluk taşıyıcılar denir. Yani n tipi maddede elektrik akımının taşınması işinde "çoğunluk" olan elektronlar görev yapar [6].

## 1.4 Galyum Arsenik (GaAs)

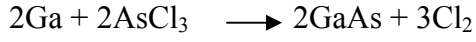
GaAs, III. grupta bulunan Galyum (Ga) ve V. grupta bulunan Arsenik (As) elementlerinden oluşan III-V bileşik yarıiletkenidir. GaAs ilk olarak 1920'li yıllarda Goldschmidt tarafından üretilmiştir. Şekil 1.7'de GaAs için enerji-bant diyagramını göstermektedir. Bu şekilde  $E_C$  iletkenlik bandının tabanının enerji seviyesi,  $E_F$  Fermi enerji seviyesi,  $E_V$  valans bandının tavanının enerji seviyesi,  $q\chi$  yarıiletkenin elektron ilgisi (GaAs için  $q\chi=4,07$  eV), ve  $E_g$  yarıiletkenin yasak enerji aralığıdır (GaAs için  $E_g=1,42$  eV). Yasak enerji aralığı; sıcaklığa, yarıiletken malzemenin cinsine, saflığına ve katkılama yapısına bağlıdır.



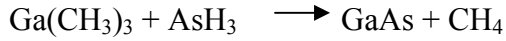
Şekil 1.7. GaAs için enerji-bant diyagramı

GaAs, değişik tekniklerle kristal yapıda büyütülebilir. Bunlardan birincisi, Bridgman-Stockbarger tekniği olup bu teknikte GaAs, Ga ve As buharı bir ucu soğutucuya bağlı bir tohum kristal üzerinde reaksiyona girecek şekilde bir yatay fırın kullanılarak büyütülür. İkinci teknik LEC (liquid encapsulated Czochralski) tekniğidir. Burada GaAs, As basıncı altında bir pota içindeki Ga eriyiğinin bir tohum kristal üzerinde büyütülmesiyle elde edilir. Diğer bir

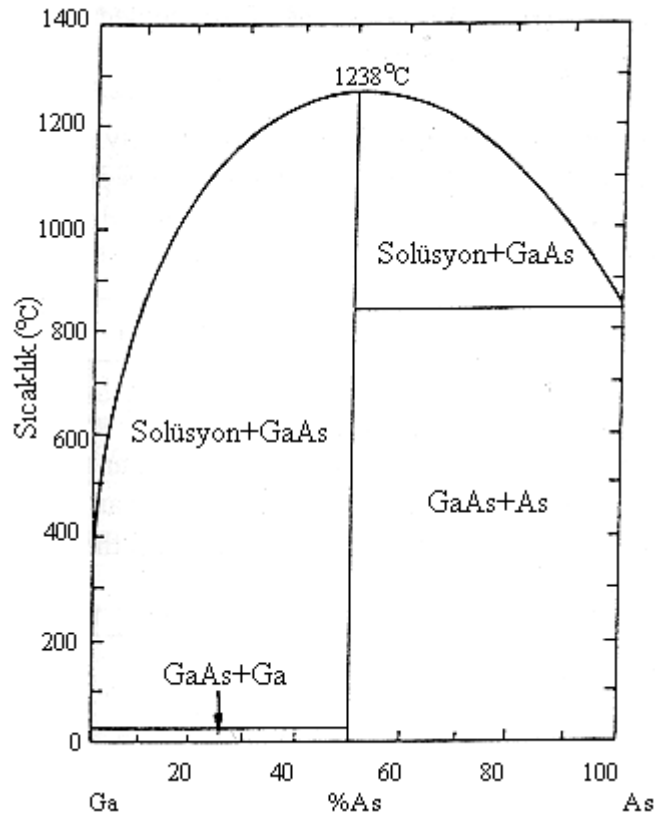
teknik de VPE (Vapour phase epitaxy) olup bu teknikte gaz fazındaki galyum metali ile arsenik triklorid'in aşağıda yazılan reaksiyonu ile GaAs filmler elde edilir.



En son olarak MOCVD (Metal-organic chemical vapour deposition) kullanılarak GaAs kristali, trimetilgalyum ve arsin'in aşağıda yazılan reaksiyonu sonucunda elde edilir.



Şekil 1.8' de GaAs için farklı sıcaklıklarda ve katkılarda faz diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 1.8. GaAs için faz diyagramı

Mikrodalga frekanslarında çalışan yarıiletken devre elemanları için artan taleple birlikte GaAs'i işlemenin ortaya çıkması, GaAs'i yarıiletken pazarında diğer yarıiletkenlerle yarışır hale getirdi. Mikrodalga frekanslarda çalışmasını sağlayan en önemli nedeni ise GaAs'in

yüksek elektron mobilitesine sahip olmasıdır. Çünkü mobilite, taşıyıcı hareketliliğiyle ilgili bir parametre olup yük taşıyıcısının (elektron veya boşluk) uygulanan elektrik alandan ne kadar çok etkilendiğini gösteren bir niceliktir.

GaAs sadece hız avantajı değil, aynı zamanda yarıyalıtkan taban malzeme olarak üretilme özelliğinden dolayı yarıiletken endüstrisinde yaygın bir kullanıma sahip oldu. Yarıyalıtkan özelliği devre elemanları arasında yalıtım görevi göreceğinden, düşük elektronik gürültüye ve eksiksiz bir tümleşik devre üretimine yol açar.

GaAs elektronik özelliklerinden dolayı birçok uygulamada diğer yarıiletkenlere göre daha fazla avantajlara sahiptir. Tümleşik devre elemanları ile düşük ve yüksek frekans devre elemanlarının yapımında GaAs yaygın olarak kullanılmaktadır. GaAs yüksek elektron mobilitesine sahip olması sebebiyle, dijital devre elemanlarının yapılarında da kullanılabilir. Bunlara ilaveten GaAs'in sahip olduğu üstün optik özellikleri onu optik elemanların yapımında kullanışlı kılar. Örneğin: Ga-As güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır. Çizelge 1.1'de GaAs'in özellikleri görülmektedir.

Çizelge 1.1. GaAs' in özellikleri

Özellik	GaAs
Erime noktası ( $^{\circ}\text{C}$ )	1238
Yasak enerji aralığı ( $E_g, \text{eV}$ )	1,43
Enerji aralığı tipi	Direkt
Elektron mobilitesi ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	8000
Boşluk mobilitesi ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	400
Elektron etkin kütlesi ( $m_0$ )	0,067
Boşluk etkin kütlesi ( $m_0$ )	0,48
Asal taşıyıcı konsantrasyonu ( $\text{cm}^{-3}$ )	$1,8 \times 10^6$
Elektron ilgisi (eV)	4,07
Termal genişleme katsayısı ( $10^{-6} /^{\circ}\text{C}$ )	6
Termal iletkenlik ( $\Omega/\text{cm } ^{\circ}\text{C}$ )	0,54
Dielektrik sabiti ( $\epsilon_0$ )	13,1
Erime noktasındaki buhar basıncı (Torr)	740
Maksimum işlem sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )	400

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Elektronik devre elemanları teknolojisinde metal-yarıiletken (MS) Schottky kontaklar oldukça önemli bir yere sahiptir. Metal-yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET), Schottky diyotlar (SD), yarıiletken dedektörler ve mikrodalga devre elemanları gibi birçok elektronik devre elemanı Schottky kontaklar kullanılarak yapılmaktadır [7]. GaAs de bu sahada yoğun olarak kullanılan bir III-V yarıiletken devre elemanıdır.

Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklar ilk olarak 1874' te keşfedildi. Nokta kontak ( bir metal tel şeklinde ) diyotlar, metal yarı iletken devre elemanlarına ilk örnektir. Metal-yarıiletken Schottky diyotu ile ilgili ilk önemli çalışma 1930'da Schottky tarafından gerçekleştirildi. Bundan dolayı metal-yarıiletken kontaklar genellikle Schottky engel diyotları olarak anılır [8]. 1950 'li yıllar boyunca P-N eklemelerinin yapımı için birçok yeni yöntemler ve metal yarıiletken kontaklar bu eklem yapılarında akım iletimi için omik kontak olarak kullanılmaya başlanmıştır [9].

Metal-yarıiletken diyotlarda ara yüzey tabakasıyla ilgili yapılan araştırmalara 1965 ' de Cowley ve Sze tarafından başlanmıştır. Metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak farklı metallerle oluşturdukları engel yüksekliklerinin analizinden ara yüzü tabakasının varlığını tahmini bir şekilde belirlemişlerdir [10]. 1974 'de Deneuille metal yarı iletken kontakların ara yüzey özelliklerinin akım iletim mekanizmasına ve engel oluşumuna etkisini incelemiştir [11]. 1985 yılında Sing Schottky engel tipi Ni/nCdF<sub>2</sub> diyodunun ara yüzey hallerinin karakteristiğini ve CdF<sub>2</sub> numunesinin yüzey hazırlanışının diyot parametreleri üzerine etkisini incelemiştir [12].

2002 yılında Ahmet Faruk Özdemir tarafından yapılan bir çalışmada; laboratuvar ortamında temiz oda havasına maruz bırakılan yüzeyi oksitlenen Au/n-GaAs Schottky diyotların havada oksitlenmesinin ve yaşlanmasının etkileri araştırıldı [13]. Bunun için [100] doğrultusunda büyütülmüş, 450 µm kalınlığında, donör konsantrasyonu  $2-5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  olan iki yüzü parlatılmış, Tellerium katkılı n-tipi GaAs yarıiletkeni kullanıldı. Numunelerin arka yüzeylere Au-Ge ( % 88, % 12) alaşımı buharlaştırılarak omik kontak yapıldı. Hazırlanan bütün numunelerin I-V ve C-V ve C-f ölçümlerini aldıktan sonra yaşlanma etkisini belirlemek için Schottky kantağın yapılmasından sonra, ölçümler zamana bağlı olarak tekrarlandı. Bu veriler kullanılarak diyot parametreleri hesaplandı. Hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri referans numunenin ideal Schottky diyot yapısına sahip olduğunu

gösterdi. Ayrıca, uygulama geriliminin tamamının Schottky bölgesi boyunca düştüğünü ve akımın termiyonik emisyon akım teorisine uygun olduğu gözlemlendi. Böylece, diyotlar için engel yüksekliğine imaj kuvvetinin ve tünellemenin etkileri belirlendi [13].

Ş. Karataş ve Ş. Altıdal tarafından 2005'te Au/ n-GaAs Schottky diyotunun I-V ve C-V karakteristikleri 80-400K sıcaklıklarında incelenmiştir. Termiyonik emisyon teorisine göre hesaplanan başlangıç engel yüksekliğinin ( $\Phi_{I-V}$ ) artan sıcaklıkla arttığı bulunmuştur [14]. Aynı davranış Schottky engel yüksekliğinin negatif sıcaklıklarla uyumsuzluk içerisindedir. Ama C<sup>2</sup>-V karakteristiklerinden elde edilen sonuçlara göre sıcaklık arttıkça engel yüksekliği de yüksek sıcaklıkta doğrusal olarak azalmıştır.  $\Phi_{I-V}$  ve  $\Phi_{b(c-v)}$  arasındaki bu fark engel yüksekliğinin homojensizliğinin varlığıyla açıklanmıştır. Böylece I-V'ye göre hesaplanan engel yüksekliği idealite faktörünün hesaba katılması (n) ve diyotların doyma akım yoğunluğunun ifadesi içindeki elektron tünelleme faktörüyle doğrulandı. Ayrıca  $\Phi_{\text{bef}(I-V)}$ , Au/n-GaAs Schottky diyotlarının engel yüksekliğinin negatif sıcaklık katsayısıyla iyi bir uyum içerisinde olduğunu göstermiştir [14].

Isıl olarak tavllanmış Ni/ n-GaAs /In Schottky diyotlarının karakteristiklerinin engel inhomojenliğine göre belirlenmesi üzerine Hülya Doğan tarafından 2006' da yapılan çalışmada; yaklaşık olarak  $7.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  taşıyıcı yoğunluğuna sahip n-tipi GaAs kristalleri kullanılarak Ni/n-GaAs/In Schottky engel diyotları (SED) hazırlanmıştır [15]. Ni/n-GaAs/In SED 'ları 200 C ' den 700 C ' ye kadar tavlandıktan sonra, diyotların termal kararlılığı akım gerilim (I-V) karakteristikleri kullanılarak araştırılmıştır. Schottky engel yüksekliği (SEY) ve idealite faktörü değerleri sırasıyla,  $0.853 \pm 0.012 \text{ eV}$  ve  $1.061 \pm 0.007$  den ( referans diyotu için)  $0.785 \pm 0.002 \text{ eV}$  ve  $1.209 \pm 0.005$ ' e kadar değişmiştir. Tavlınmamış numunenin (referans diyot) idealite faktörü için  $1.061 \pm 0.007$  'lik bir ortalama değeri bu Schottky kontakın ideale yakın bir davranış gösterdiğine işaret eder. 400 C ' ye kadar idealite faktörünün değeri hemen hemen sabit kalmıştır. Bu diyotların I-V karakteristikleri 700 C'lik tavlama bozulmuştur. Schottky diyotların hem 400 C deki I-V karakteristikleri ve hem de 600 C' deki I-V karakteristikleri birbiriyle çakışmıştır. Bu durum, Ni/ n-GaAs ara yüzeyi boyunca akımın tavlama etkisinden dolayı oluşan aynı engel yükseklikli patch'lerden (küçük lokal bölgeler) akmasına atfedilmiştir [15].

Ş. Karataş ve A. Türüt tarafından 2006 yılında, oda sıcaklığındaki Au/ n-type GaAs Schottky bariyer diyotlarının akım-voltaj ve kapasitans-voltaj karakteristiklerinden elde edilen elektronik ve iç yüzey durum yoğunluğu dağılım özellikleri incelendi. İdealite (n) faktörü, seri direnç (Rs) ve bariyer yüksekliği ( $\Phi_{(I-V)}$ ) gibi Schottky bariyer diyot (SBD) parametreleri Cheung metodu kullanılarak I-V ve C-V ölçümlerinden elde edildi. İdealite faktörü, seri direnç ve bariyer yükseklikleri gibi diyot parametreleri sırasıyla 1.51 – 1.78 , 7.597- 8.167  $\Omega$  ve 0.88- 1.14 eV olarak bulundu. Diyot özgünden daha büyük bir idealite faktörüyle ideal olmayan I-V davranışı gösterir. Dahası iç yüzey durum yoğunlunun enerji dağılımı etkin bariyer yüksekliğinin beslemeye bağlı olduğu dikkate alınarak ileri beslemeli I-V karakteristiklerinden belirlendi. Sonuçlar metal ve yarı iletken arasında iç yüzeyel ince bir tabakanın varlığını kanıtlar [16].

Bu çalışmada Au/n-GaAs Schottky diyotunun akım voltaj ve kapasitans voltaj karakteristikleri 80-415K sıcaklık aralığında ölçüldü. Bu ölçümler yardımıyla diyotun karakteristik parametreleri elde edilmiştir. Akım voltaj verilerinden sıcaklığa bağlı hesaplanan engel yüksekliğinin ( $\Phi_{(I-V)}$ ) artan sıcaklıkla artmış olduğu gözlemlendi. Akım voltaj grafiğinin lineer olan bölgelerinden sıcaklığa bağlı olarak idealite faktörü (n) hesaplandı. İdealite faktörünün artan sıcaklıkla azaldığı görüldü. Ancak 300 K sıcaklıktan sonra idealite faktöründe artış gözlemlendi. Bu artış ara yüzey homojensizliğine atfedildi. Aynı zamanda Cheung fonksiyonları kullanılarak seri direnç değerleri elde edildi. Seri direnç değerleri en düşük ve en yüksek sıcaklık için sırasıyla 11.315, 9.988 ve 6.936, 7.797  $\Omega$  olarak hesaplandı. Elde edilen sonuçlar numunenin ideal Schottky yapısına uygun olduğunu gösterdi.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Giriş

Bu bölümde, yapılan çalışmada kullanılan yöntemler ve teknikler anlatılmaktadır. Numunelerin hazırlanması ve diyotların yapımı ile ilgili bilgiler, hazırlanan numunenin I-V ve C-V ölçümlerinin değerlendirilmesine ait bilgiler yer almaktadır.

#### 3.2 n- tipi GaAs Kristalinin Temizlenmesi ve Numunenin Hazırlanması

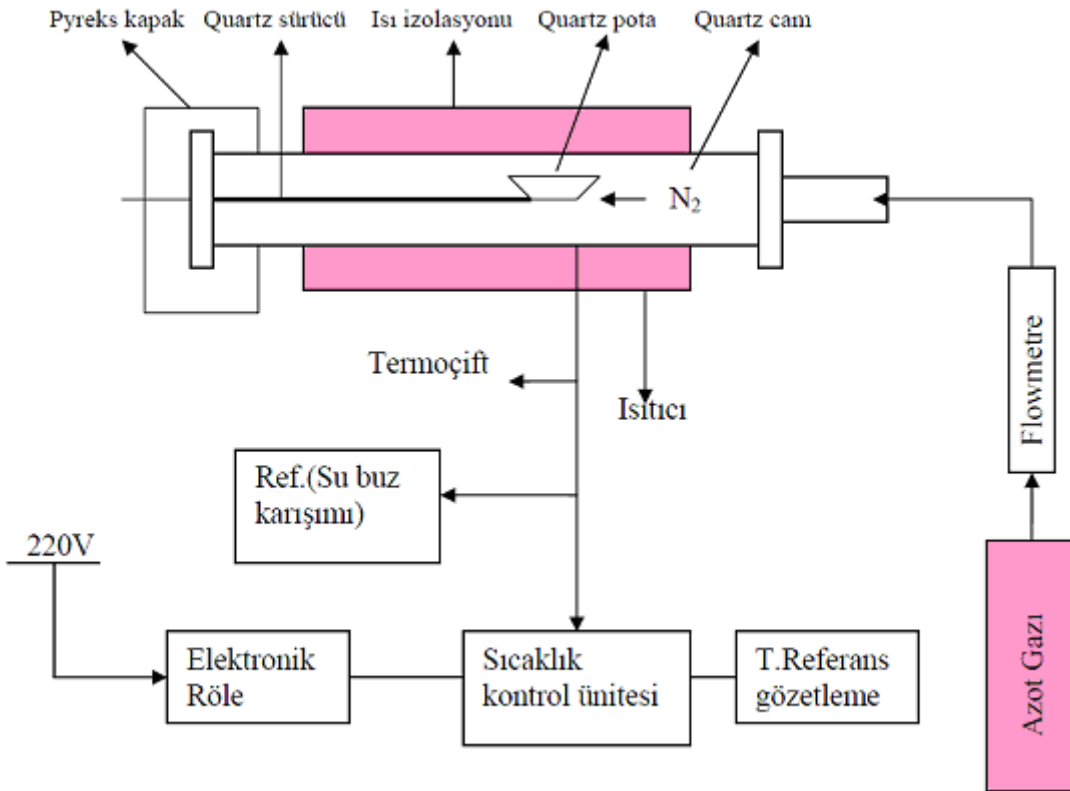
Bu çalışmada [100] doğrultusunda büyütülmüş, donör konsantrasyonu  $2-4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  olan n-GaAs yarıiletkeni kullanılmıştır. GaAs yarıiletken dilim yüzeyinin mekanik ve organik kirlerden arındırılması, yapılan ölçümlerin ve ulaşacağımız sonuçların güvenilirliği açısından çok önemlidir. Numune yüzeylerinin parlatılmış olmasından dolayı, herhangi bir mekanik temizlemeye gerek duyulmamıştır ve sadece kimyasal temizleme işlemi yapılmıştır. Numunenin kimyasal olarak temizlenmesinde aşağıdaki işlemler takip edilmiştir.

1. Trikloretalde ultrasonik olarak 5 dakika yıkama.
2. Asetonda ultrasonik olarak 5 dakika yıkama.
3. Metanolde ultrasonik olarak 5 dakika yıkama.
4. Deiyonize su ile (18 M $\Omega$ ) iyice yıkama.
5. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O (5:1:1) ile 1 dakika yıkama.
6. Deiyonize su ile iyice yıkama.
7. Azot gazı (N<sub>2</sub>) ile kurutma.

Yarıiletken dilim yüzeyine buharlaştırmada kullandığımız metaller, metanolde ultrasonik olarak ve H<sub>2</sub>O+HCl (10:1) içerisinde ayrı ayrı beşer dakika yıkanarak kullanılır hale getirilmiştir.

Numune, üzerinde çalışılmaya hazır hale getirildikten sonra, yüzeylerden birine omik kontak yapılma işlemine geçildi. Omik kontak yapılırken buharlaştırma işleminden sonra numune tavlanaacağı için tavlama işlemi sırasında numune fırın içinde bulunurken kullanılan kuartz potada asetonla ve metanolla beşer dakika ultrasonik olarak yıkandı. Omik kontak yapımında kullanılacak Au-Ge (%88-%12) alaşımı ısıtıcı üzerine yerleştirildi ve yüksek

vakum ortamında eritildi. Daha sonra GaAs numunesinin bir yüzeyine  $10^{-5}$  torr basınçta vakum ortamında Au-Ge alaşımı buharlaştırıldı. Vakum ortamından alınan GaAs, kimyasal olarak temizlenmiş kuartz pota içerisinde tavlama fırınına konularak,  $N_2$  ortamında  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 3 dakika tavlandı ve böylece omik kontak işlemi tamamlandı. Tavlama için kullanılan fırın sistemi ve kontrol ünitesinin şeması şekil 3.1'de verilmiştir. Omik kontak işleminin ardından, doğrultucu kontak için çalıştığımız numune tekrar vakum ortamına alındı ve tüm yüzeylerine, yaklaşık 1.5 mm çapında maske kullanılarak kimyasal olarak temizlenmiş olan altın (Au) metali buharlaştırıldı.



Şekil.3.1. Termal tavlama işlemi için fırın ve kontrol sistemi şeması.

Daha sonra Au/n-GaAs Schottky diyotlarının önce akım-voltaj (I-V) ölçümleri, Keithly 220 programmable constant current source ve Keithly 614 electromotor cihazları ile 80K-415K sıcaklıkları arasında alındı. Sonra diyotların kapasitans-voltaj (C-V) ölçümleri için de HP4192A LF Impedance Analyzer(5Hz-13MHz) cihazı kullanıldı.

## 4. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

### 4.1. Doğru Beslem Akım-Voltaj Karakteristiklerinin Sıcaklığa Bağlılığı

Schottky diyotunun akım-voltaj karakteristikleri ilk olarak aşağıda termiyonik emisyon teorisi ile verilen doğru beslem akım ifadesine göre incelendi.

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) \right] \quad [4.1]$$

$I_o$ , doyum akımı olup ;

$$I_o = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{b0}}{kT}\right) \quad [4.2]$$

eşitliği ile verilir. Burada  $q$  elektron yükü,  $k$  Boltzman sabiti  $V$  uygulanan doğru beslem voltajı,  $A$  diyotun etkin alanı,  $A^*$ , n-tipi GaAs için etkin Richartson sabiti ( $A^* = 8,16 \text{ cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ ),  $\Phi_b$  potansiyel engel yüksekliği,  $n$  diyotun idelite faktörü ve  $T$  ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır. İdelite faktörünün değeri “Eş. 4.1.” den, akım-voltaj grafiğinin orta gerilim bölgesindeki lineer kısmın eğiminden  $[dV/d\ln I]$  “Eş.4.3” ifadesiyle

$$n = \frac{q}{kT} \left( \frac{dV}{d \ln I} \right) \quad [4.3]$$

bulunur. Potansiyel engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ), denklem (4,2) nin her iki kısmın logaritmasını alırsak,  $\Phi_b$  ‘ye göre çözülürse;

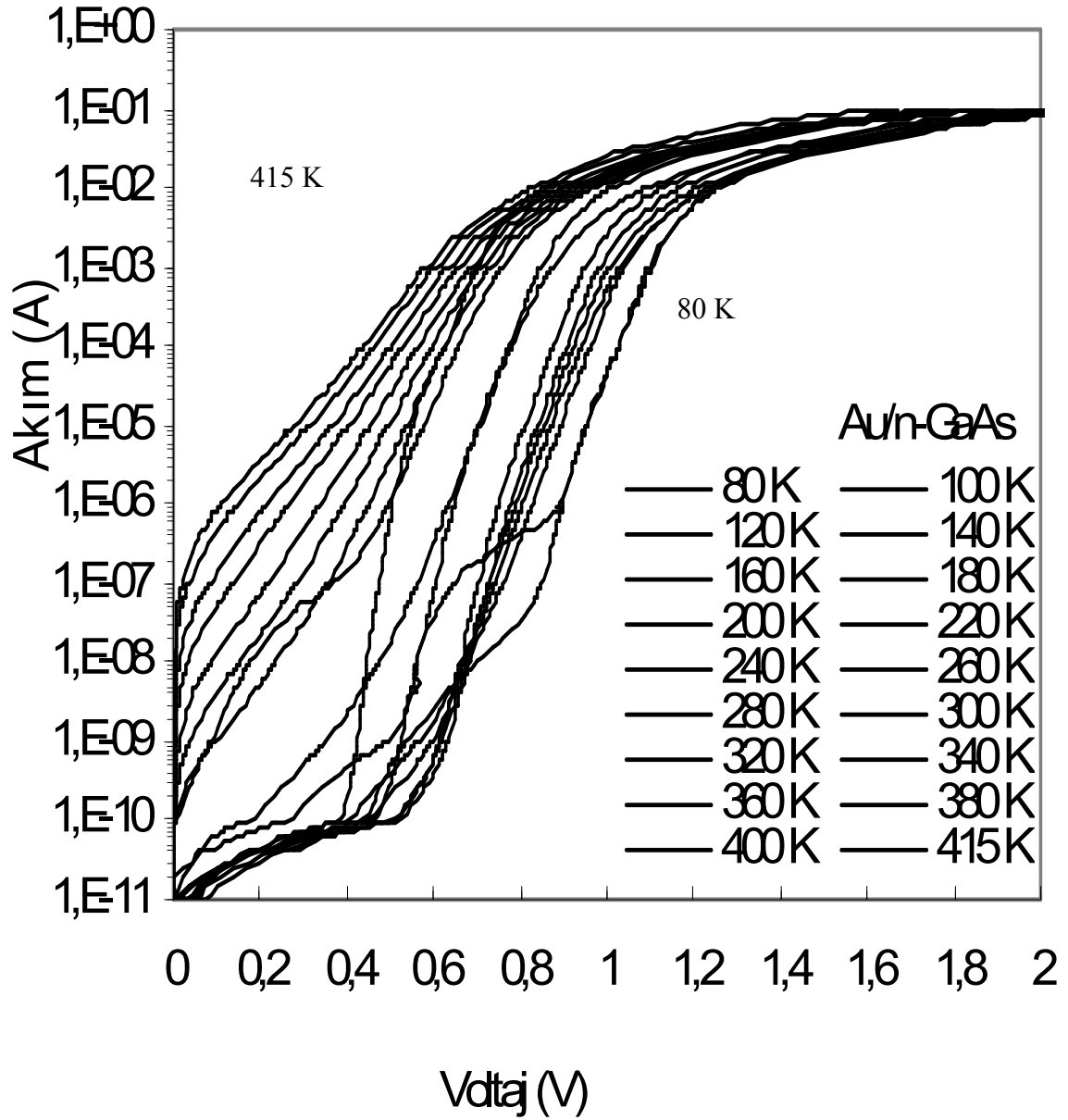
$$\ln\left(\frac{I_o}{T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\Phi_{b0}}{kT} \quad [4.4]$$

bulunur. Potansiyel engel yüksekliği ( $\Phi_b$ )  $\ln I$ - $V$  grafiğinde , lineer kısmının sıfır beslem

ekstrapole edilmesiyle bulunan  $I_0$  doyum akım değeri ve diyot alanı kullanılarak “Eş. 4.4.” den bulundu. Her sıcaklık için idealite faktörü ( $n$ ) ve engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) değerleri aynı yöntemle hesaplanarak Çizelge 4.1’de verildi.

Çizelge 4.1. Au/n-GaAs Schottly diyot için 80-415 K sıcaklık aralığında elde edilen deneysel parametreler.

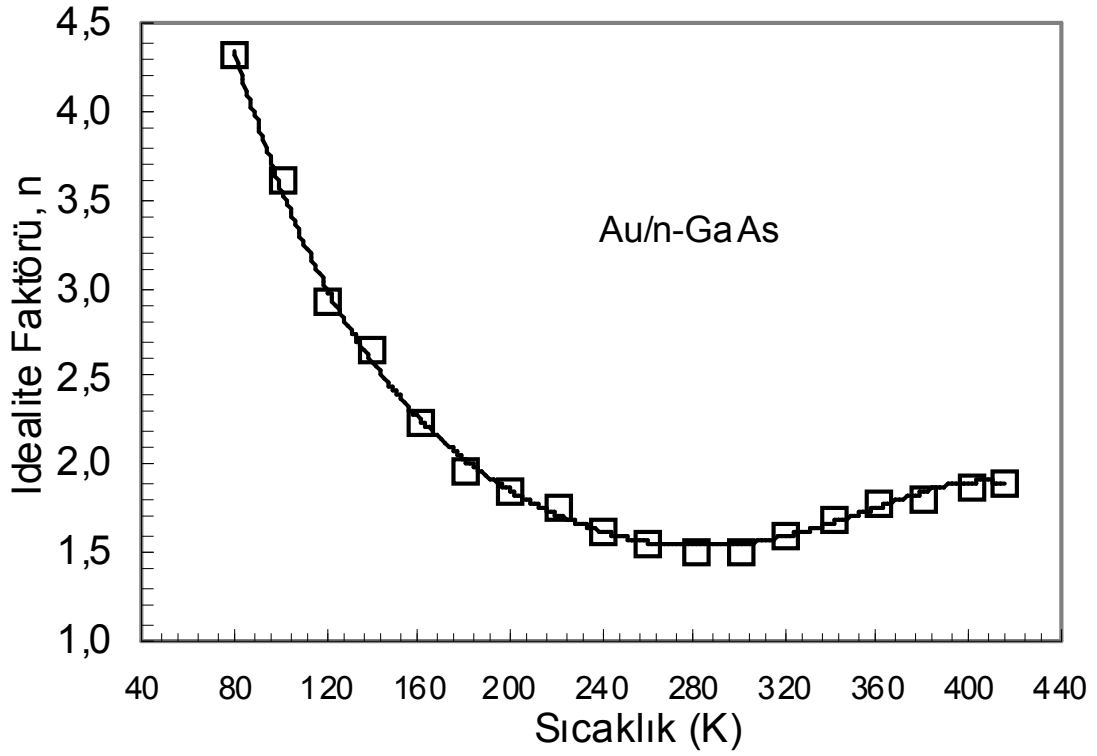
T(K)	$n$	$\Phi_{I-V}$ (eV)	$\Phi_{C-V}$ (eV)	$\Phi_{bf}$ (eV)	$N_C$ ( $cm^{-3}$ )	$N_D$ ( $cm^{-3}$ )	$R_s$ ( $\Omega$ ) $dV/dLn(I)$	$R_s$ ( $\Omega$ ) $H(I)$
80	4.33	0.3469	1.639	0.981	$2.06 \times 10^{16}$	$6.00 \times 10^{22}$	11.315	9.988
100	3.61	0.4271	1.599	0.997	$1.95 \times 10^{16}$	$6,39 \times 10^{22}$	10.701	9.788
120	2.93	0.5031	1.560	0.945	$2.03 \times 10^{16}$	$1,10 \times 10^{23}$	10.260	9.615
140	2.65	0.5634	1.520	0.936	$2.06 \times 10^{16}$	$1,39 \times 10^{23}$	9.928	9.459
160	2.25	0.6517	1.479	0.925	$2.04 \times 10^{16}$	$1,70 \times 10^{23}$	9.535	9.379
180	1.97	0.7495	1.438	0.944	$2.03 \times 10^{16}$	$2,03 \times 10^{23}$	9.233	9.345
200	1.85	0.8264	1.396	0.970	$2.03 \times 10^{16}$	$2,37 \times 10^{23}$	8.796	9.278
220	1.76	0.8500	1.355	0.915	$2.05 \times 10^{16}$	$2,74 \times 10^{23}$	8.625	9.129
240	1.63	0.9183	1.313	0.909	$2.05 \times 10^{16}$	$3,12 \times 10^{23}$	8.622	9.014
260	1.55	0.8777	1.272	0.753	$2.11 \times 10^{16}$	$3,52 \times 10^{23}$	7.852	8.852
280	1.52	0.8839	1.234	0.701	$2.44 \times 10^{16}$	$3,93 \times 10^{23}$	7.395	8.617
300	1.51	0.8917	1.201	0.665	$3.08 \times 10^{16}$	$4,36 \times 10^{23}$	7.288	8.703
320	1.59	0.8880	1.159	0.645	$3.13 \times 10^{16}$	$4,80 \times 10^{23}$	7.151	8.495
340	1.68	0.8922	1.118	0.638	$3.23 \times 10^{16}$	$5,26 \times 10^{23}$	7.132	8.294
360	1.79	0.8869	1.078	0.615	$3.41 \times 10^{16}$	$5,73 \times 10^{23}$	7.000	8.293
380	1.81	0.9035	1.039	0.598	$3.64 \times 10^{16}$	$6,21 \times 10^{23}$	6.936	8.100
400	1.88	0.9083	1.000	0.575	$3.91 \times 10^{16}$	$6,71 \times 10^{23}$	6.914	7.958
415	1.90	0.9192	0.967	0.558	$4.10 \times 10^{16}$	$7,09 \times 10^{23}$	6.936	7.797



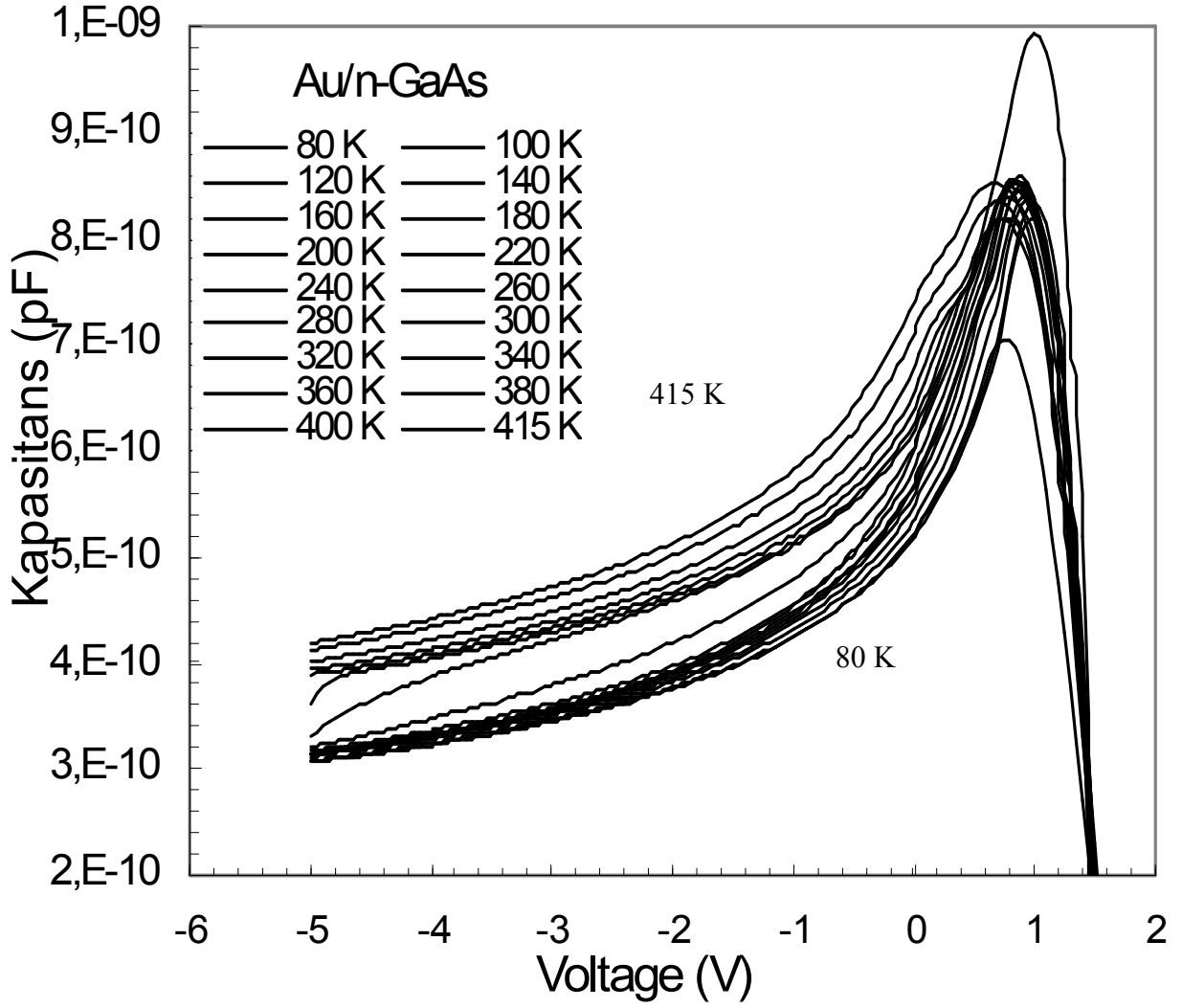
Şekil 4.1. Au/n-GaAs Schottky diyodunun deneysel doğru beslem akım-voltaj karakteristikleri.

Schottky engel diyotunun (Au/n-GaAs) 80-415K sıcaklık aralığındaki tipik yarı logaritmik doğru beslem voltaj karakteristikleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1’deki yarı logaritmik doğru beslem akım voltaj karakteristiklerinin lineer kısmının eğiminden elde edilen idealite faktörlerinin sıcaklığa göre değişimi Şekil 4.2’de gösterildi. Çizelge 4.1’de ve Şekil 4.2’de gösterildiği gibi idealite faktörünün değerleri artan sıcaklıkla azalmaktadır. Oda sıcaklığı yani 300K sıcaklığından sonra ise artan sıcaklıkla artmaktadır. Bu durum ara yüzey yüklerinin homojen olmaması, tabakanın homojen olmaması gibi etkilere atfedilebilir. Aynı

zamanda kapasitans voltaj ölçümleri 80-415K aralığında Şekil 4.3'te gösterildi. Au/n-GaAs Schottky diyotun Şekil 4.3' te gösterilen kapasitans voltaj verilerinden faydalanarak  $C^2-V$  grafiği elde edilerek Şekil 4.4' te gösterilmiştir. Katkı atomlarının yoğunluk (Na) değerleri sıcaklığa bağlı olarak Şekil 4.4' te gösterilen  $C^2-V$  karakteristiklerinin eğiminden hesaplandı. Çizelge 4.1' de görüldüğü gibi artan sıcaklıkla bu değerler azalmaktadır.

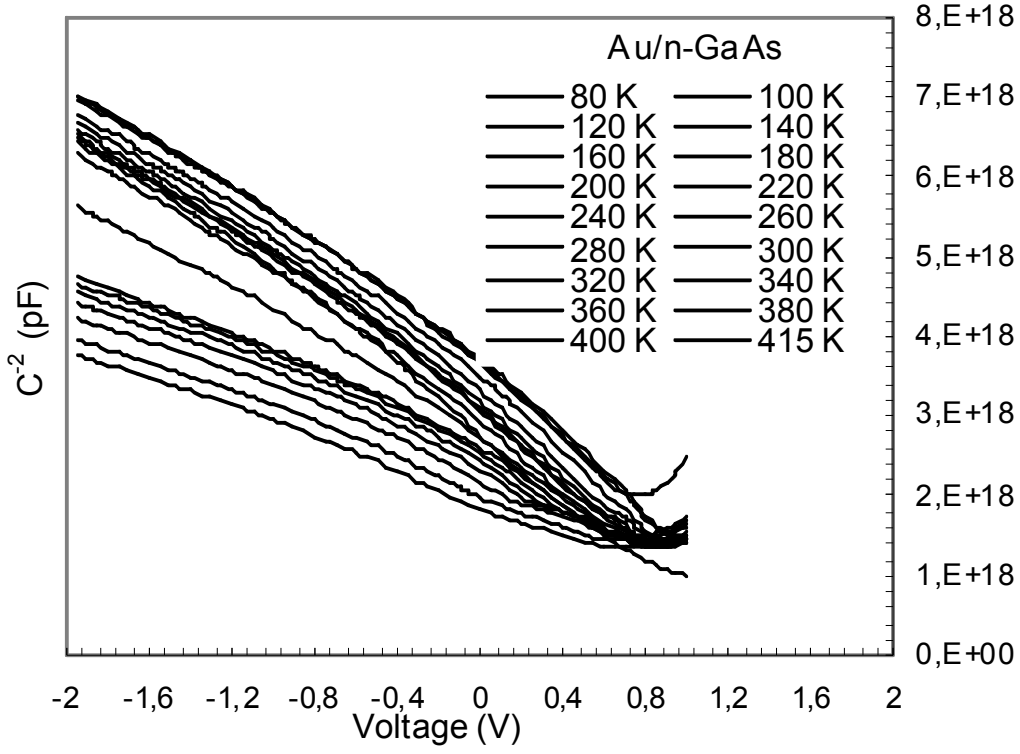


Şekil 4.2. Au/n-GaAs Schottky diyotunun idealite faktörünün sıcaklığa bağlılığı.

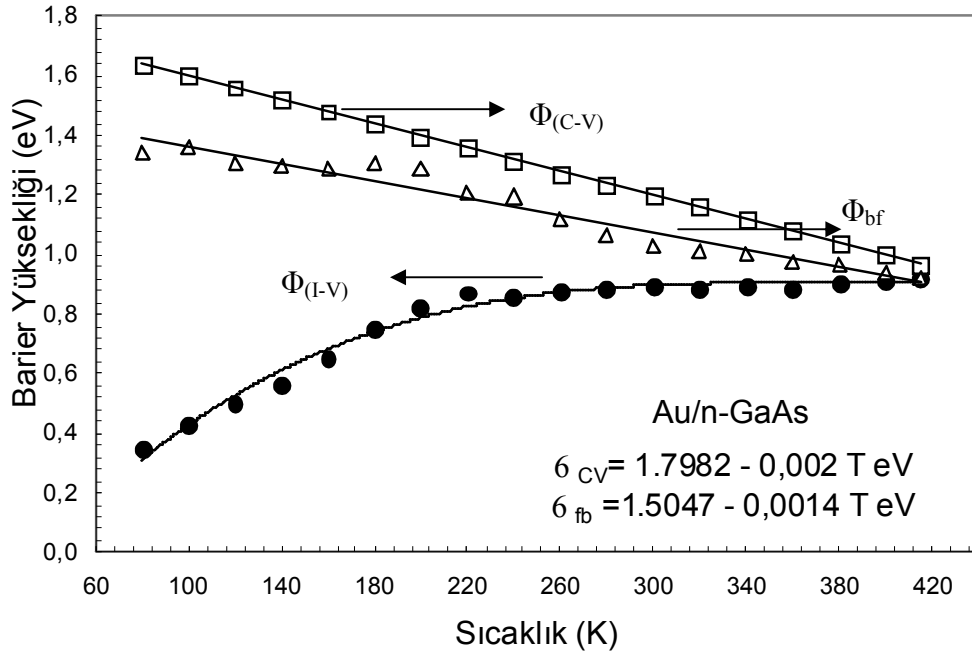


Şekil 4.3. Au/n-GaAs 80-415K sıcaklıklarda Schottky diyotunun C-V grafiği

Çizelge 4.1’ de gösterildiği gibi Au/n-GaAs için değerlik bandındaki durumların yoğunluk ( $N_v$ ) değerleri 80-415K aralığında artan sıcaklıkla artmaktadır. Şekil 4.5 ve Çizelge 4.1’ de sıcaklığa bağlı doğru beslem akım voltaj ve ters beslem kapasitans voltaj karakteristiklerinde elde edilen engel yüksekliği ( $\Phi_{C-V}$ ) artan sıcaklıkla azalmaktadır. Şekil 4.5’ te görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça engel yüksekliği ( $\Phi_{I-V}$ ) artar. Engel yüksekliği sıcaklığa ve doğru beslem voltajına bağlı olarak artacaktır. Çünkü sıcaklık (K) arttıkça elektronlar daha yüksek bir engeli aşmaya yetecek kadar enerji kazanırlar. Ayrıca akım voltaj ve kapasitans voltaj karakteristiklerinden elde edilen engel yükseklikleri birbirinden farklıdır. Bunun sebebi ölçüm yöntemlerinin farklı olmasıdır.

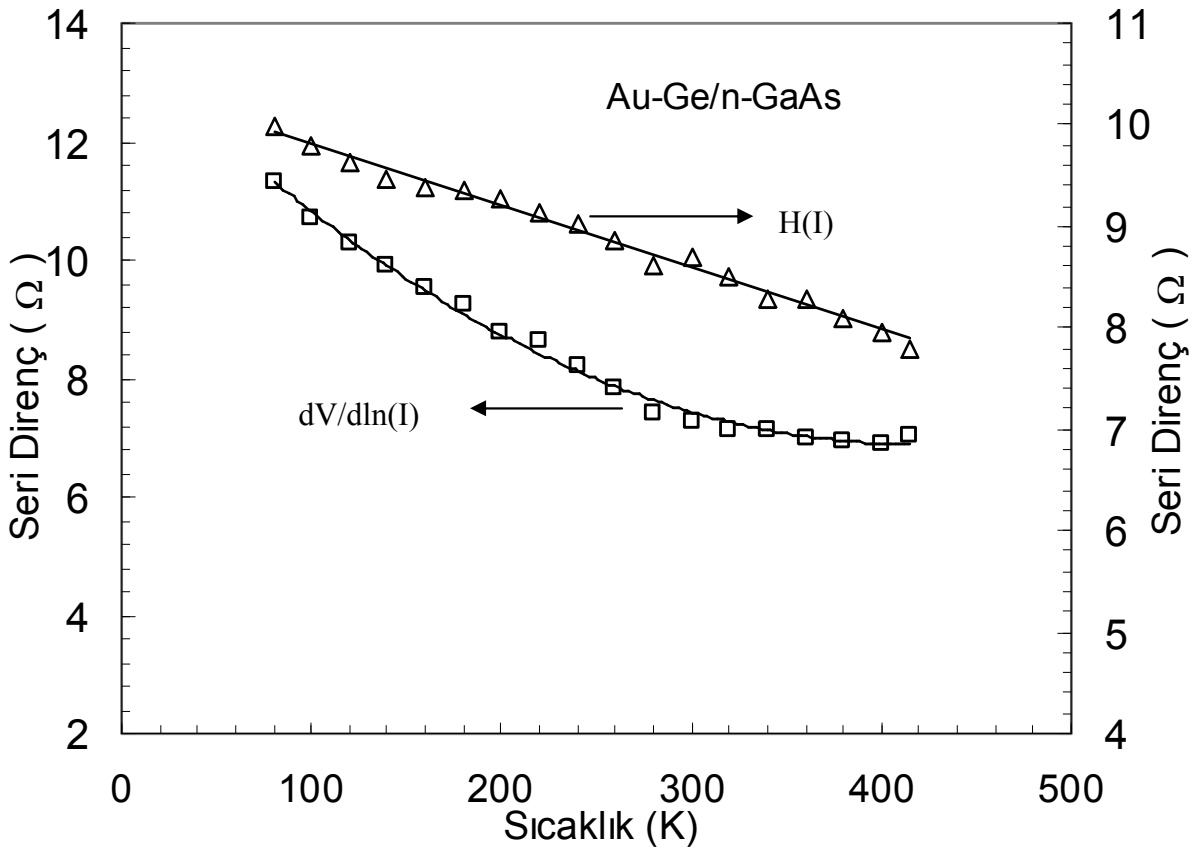


Şekil 4.4. 80-415K sıcaklıklarda Au/n-GaAs Schottky diyotunun  $C^2-V$  grafiği

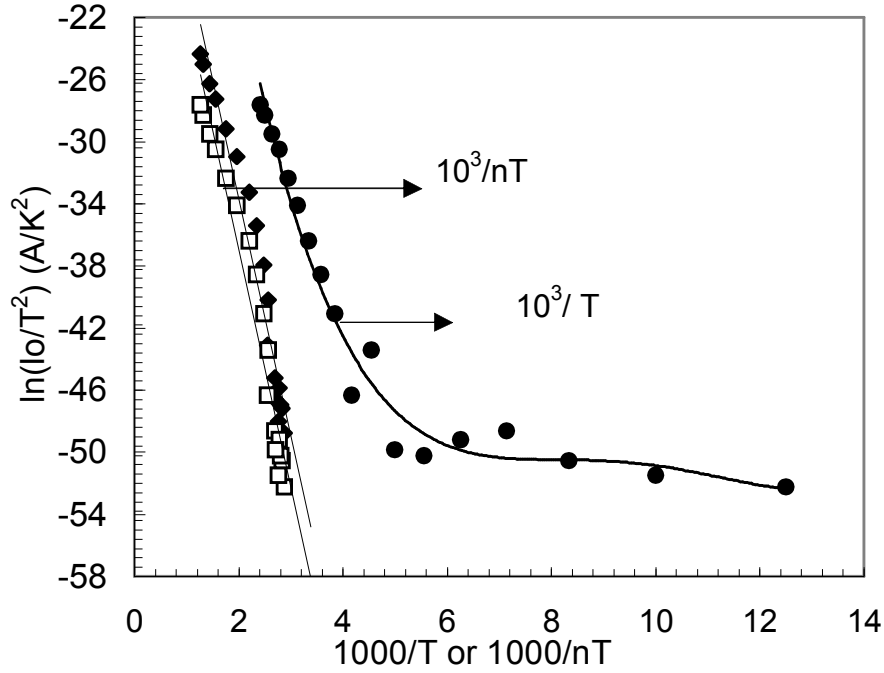


Şekil 4.5. Au/n-GaAs Schottky diyotunun engeli için sıfır beslemde C-V, I-V ve düz-bant engel yüksekliklerinin sıcaklığa göre değişimi.

Doğru beslem akım voltaj karakteristiklerinden seri direnç değerleri sıcaklığın bir fonksiyonu olarak hesaplandı ve Şekil 4.6 ve Çizelge 4.1’ de gösterildi. Çizelge 4.1’ de ve Şekil 4.6’ da görüldüğü gibi seri direnç değerleri artan sıcaklıkla azalmaktadır. Seri direnç değerleri, düşük sıcaklık (80K) ve yüksek sıcaklık (415K) değerleri için sırasıyla 11.315  $\Omega$  ve 6.936  $\Omega$  olarak elde edildi. Seri direnç ( $R_s$ ) değerlerinin düşen sıcaklıkla artması düşük sıcaklıklarda serbest taşıyıcı yoğunluğunun azalmasından kaynaklanır.



Şekil 4.6. Au/n-GaAs seri direnç değerleri



Şekil 4.7. Au/n-GaAs Schottky diyotu için  $\ln(I_0/T^2)$  veya  $1/T$  veya  $1/nT$  ve  $\ln(I_0/T^2) - 1/nT$  nin Richardson eğrileri.

Akım – voltaj (I-V) verilerinden elde edilen  $\ln(I_0/T^2) - (1/T)$  grafiği şekil 4.7 ' de gösterilmiştir. “ Eş . 4.2 “ ifadesinde her iki tarafın  $\ln$  ' i alınırsa aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\Phi_{bo}}{kT} \quad [4.5]$$

Denkleminde  $\ln(I_0/T^2)$  nin sıcaklığa bağlı  $1/T$  ' ye göre değişim grafiğinin eğimi  $q\Phi_{bo}/kT$  ve y eksenini  $\ln(I_0/T^2)$  kestiği nokta ise  $\ln(AA^*)$  olan doğru olmalıdır. Deneysel  $\ln(I_0/T^2)$  nin sıcaklığa bağlı  $(1/T)$  değişim grafiği, şekil 4.7' de görüldüğü gibi lineer bir doğru vermemektedir. Bundan dolayı bu grafikten aktivasyon enerjisini ve Richardson sabitini bulmak oldukça zordur ve var olan veriler güvenilir değildir.

## 4.2 Termiyonik Alan Emisyonu ve İmaj Kuvvet Düşmesinin Etkileri

Akım iletim termiyonik alan emisyon teorisine göre kontrol edilir ve akım-voltaj arasındaki ilişki [17].

$$I = I_0 \exp\left(\frac{V}{E_0}\right) \quad [4.6]$$

ile verilir ve burada

$$n_{tun} = \frac{qE_{00}}{kT} \coth\left(\frac{qE_{00}}{kT}\right) = \frac{qE_0}{kT} \quad [4.7]$$

dir. Buradaki  $E_{00}$ , tünelleme olayının göstergesi olan karakteristik tünelleme enerjisi olup,

$$E_{00}(T) = \frac{h}{4\pi} \left( \frac{N_a(T)}{m^* \varepsilon_s} \right)^{1/2} \quad [4.8]$$

eşitliği ile verilir. Burada deşğin etkin kütlesi  $m^* = 0.16m_0$ , h Planck sabiti ( $h = 6.626 \times 10^{-34}$  js),  $\varepsilon_s = 11.8\varepsilon_0$  ve  $N_a(T)$  ise sıcaklığa bağı alıcı atomların yoğunluğudur. İmaj kuvvetinden dolayı meydana gelen engel düşmesi ise,

$$\Delta\Phi_{imf} = \left[ \left( \frac{q^3 N_a}{8\pi^2 \varepsilon_s^3} \right) \left( \Phi_{CV} - V_P - \frac{kT}{q} \right)^{1/4} \right] \quad [4.9]$$

eşitliği ile verilir [17]. Burada  $V_n = (kT/q) \ln(N_C / N_D)$ , Au/n-GaAs yarıiletkeninin nötral bölgede Fermi Enerji seviyesi olup valans bandındaki durum yoğunlukları ( $N_C$ ) ve taşıyıcı yoğunlukları ( $N_D$ ) deneysel değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

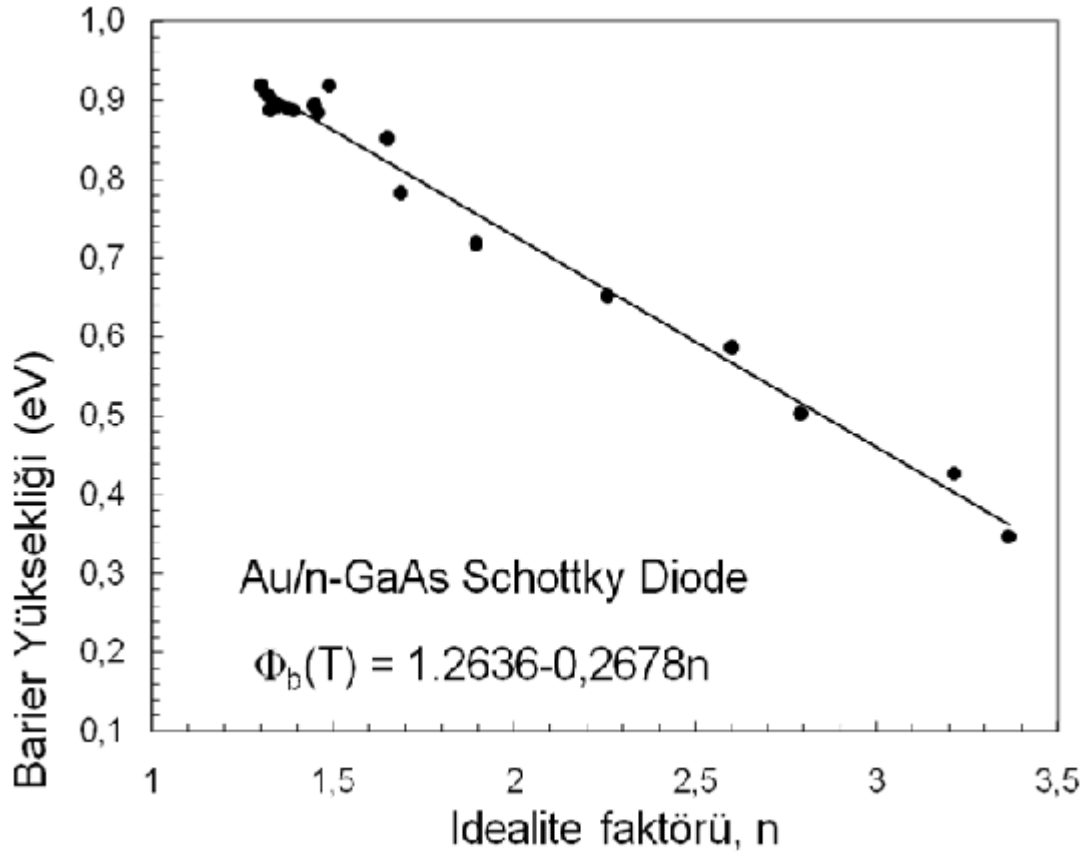
İmaj kuvvetinin düşmesinden dolayı idealite faktörü [17] .

$$\frac{1}{n_{imf}} = 1 - \Delta\Phi_{imf} \left[ 4q \left( \Phi_{CV} - V_P - \frac{kT}{q} \right) \right]^{-1} \quad [4.10]$$

eşitliğiyle verilir.

### 4.3 Homojen Olmayan Engel Analizi

Schottky kontakların fiziksel özellikleri metal-yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin homojen olduğunu kabul eden Termiyonik Emisyon teorisi kullanılarak açıklanabilir [18]. Oysa deneysel olarak düzenlenen  $\Phi_b$ , azalan sıcaklıkla azalırken  $n'$  in artması, Termiyonik Emisyon teorisi tarafından desteklenmez [19]. Düşük sıcaklıklarda sıfır beslem engel yüksekliğindeki azalma ve idealite faktöründeki artış, ara yüzey yüklerinin uzaysal dağılımından ve ara yüzey tabakası ile engel yüksekliğinin homojensizliğinden kaynaklanmaktadır [20].



Şekil 4.8. Au/n-GaAs Schottky diyotunun engel yüksekliğinin idealite faktörüne göre değişimi

Şekil 4.8’ de görüldüğü gibi Au/n-GaAs yapısının farklı sıcaklıklarda elde edilen n ve  $\Phi_{bo}$  değerleri arasında lineere yakın bir ilişki vardır.

Uygulanan doğru beslem voltajında toplam akım ifadesi ,

$$I(V) = I_0 \exp\left(\frac{qV}{n_{ap} kT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)\right] \quad [4.11]$$

ile verilir ve  $I_0$  ifadesi ,

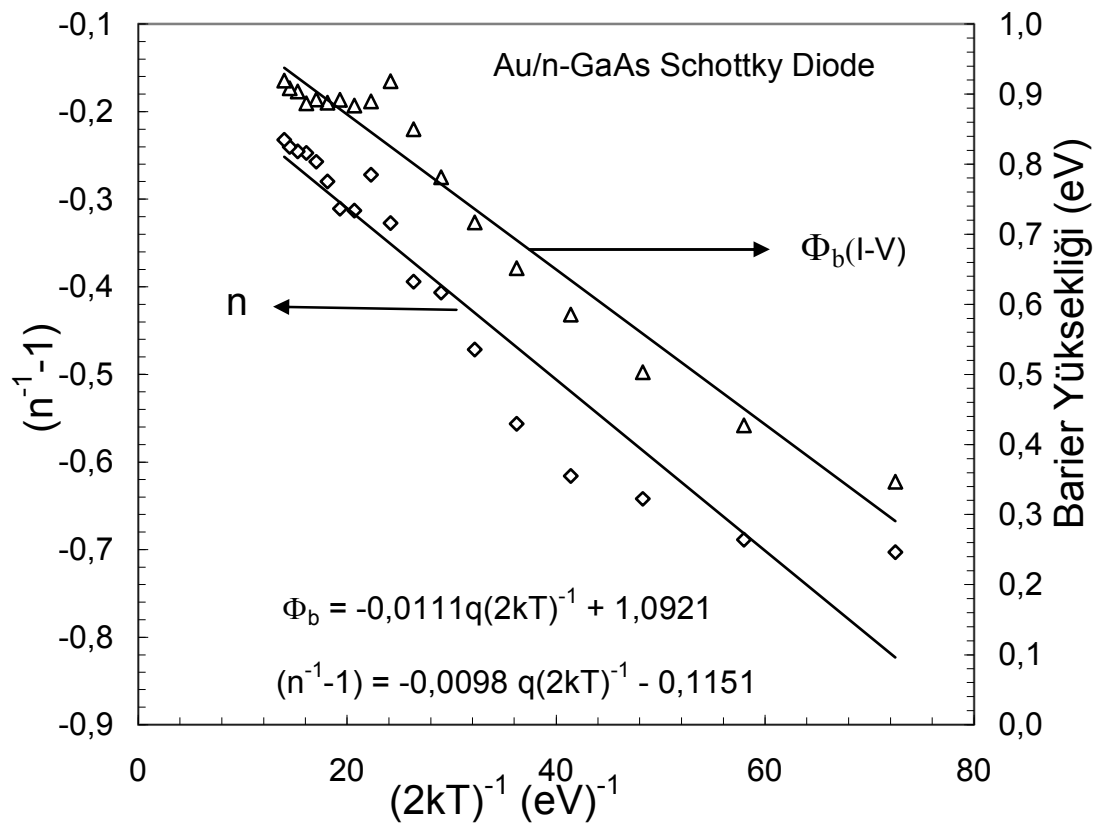
$$I_0 = A A^* T^2 \exp\left(-\frac{q \Phi_{ap}}{kT}\right) \quad [4.12]$$

şeklindedir. Burada ,  $\Phi_{b0}$  ve  $n_{ap}$  sırasıyla engel yüksekliği ve idealite faktörü değerleridir. Bu değerler aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Phi_{ap} = \overline{\Phi}_{b0} - \frac{q\sigma_0^2}{2kT} \quad [4.13]$$

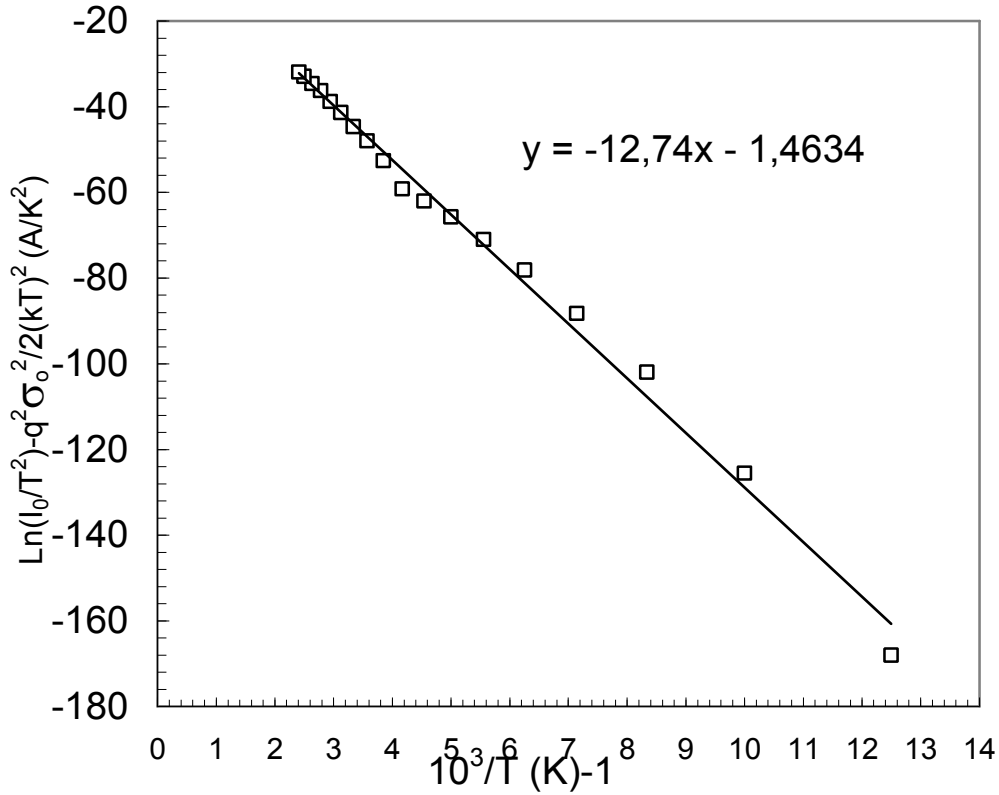
$$\left( \frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) = \rho_2 - \frac{q\rho_3}{2kT} \quad [4.14]$$

Ortalama schottky engel yüksekliği  $\Phi_b$  ve standart sapma ( $\sigma_s$ ) Gaussian dağılımında beslem gerilimine lineer olarak bağlı olan parametredir.



Şekil 4.9. Engel Yüksekliğinin Gaussian dağılımına göre Au/n-GaAs Schottky diyotunun sıfır belsemli engel yüksekliği ve idealite faktörünün 1/T 'ye göre değişimi

Şekil 4.9 'da engel yüksekliğinin Gaussian dağılımını elde etmek için Eş. 4.14 kullanılarak  $(n^{-1}-1) - (2kT)^{-1} (eV)^{-1}$  grafiği oluşturuldu. Bu grafikten bariyer yüksekliği  $\Phi_b = 1.092$  eV olarak hesaplandı. Aynı grafiğin lineer bölgesinden  $\rho_2$  ve  $\rho_3$  gerilim sabitleri hesaplandı lineer bölgenin y- eksenini kestiği noktadan  $\rho_2$  değeri 0.0098 V ve  $\rho_3$  değeri ise lineer bölgenin eğiminden -0.115 V olarak elde edildi.



Şekil 4.10. Engel yüksekliğinin Gaussian dağılımına göre Au/n-GaAs Schottky diyotunun modifiye düzeltilmiş  $\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_o^2/(2kT)^2 - 10^3/T$  göre grafiği

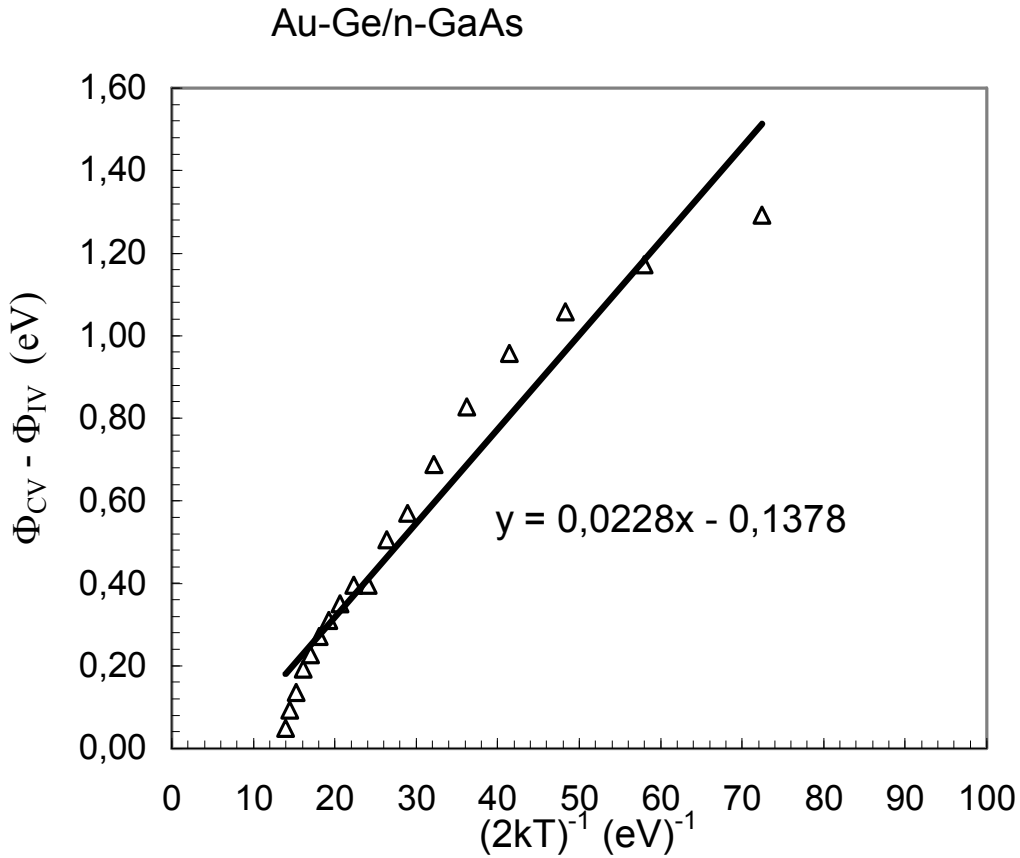
“ Eş. 4.13 ve Eş. 4.14 “ yi birleştirirsek,

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - \left(\frac{q^2\sigma_o^2}{2kT^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\bar{\Phi}_{b0}}{kT} \quad [4.15]$$

şeklinde elde edilir. “ Eş. 4.15“ e göre düzenlenen  $\ln(I_o/T^2) - (q^2\sigma_0^2/2k^2T^2) - 1/T$  grafiği, verilen bir diyot alanı (A) için tanımlanan  $A^*$  ordinatında eğimi ortalama  $\bar{\Phi}_{b_0}$  ve kesme noktası ( $=\ln AA^*$ ) yı veren bir doğru olmalıdır. Bu grafik Şekil 4.10 da gösterilmiştir. Werner and Güttler tarafından verilen  $\Phi_{ap}$  ve  $\Phi_{C-V}$  arasındaki bağıntı [21].

$$\bar{\Phi}_b - \Phi_{ap} = -\frac{q\sigma_0^2}{2kT} + \frac{q\alpha_\sigma}{2k} \quad [4.16]$$

şeklinde ifade edilir. Denklemden  $\alpha_\sigma$  standart sapmanın ( $\sigma_s$ ) bir sıcaklık sabitidir. “ Eş. 4.16 “ ya göre deneysel  $(\Phi_{C-V}-\Phi_{ap})-1/T$  grafiği Şekil. 4.11 da gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Engel Yüksekliğinin Gaussian Dağılımına göre deneysel  $(\Phi_{CV}-\Phi_{IV})-1/T$  grafiği

#### 4.4 Akım-Gerilim Karakteristiklerinde Cheung Fonksiyonlarının Kullanılması

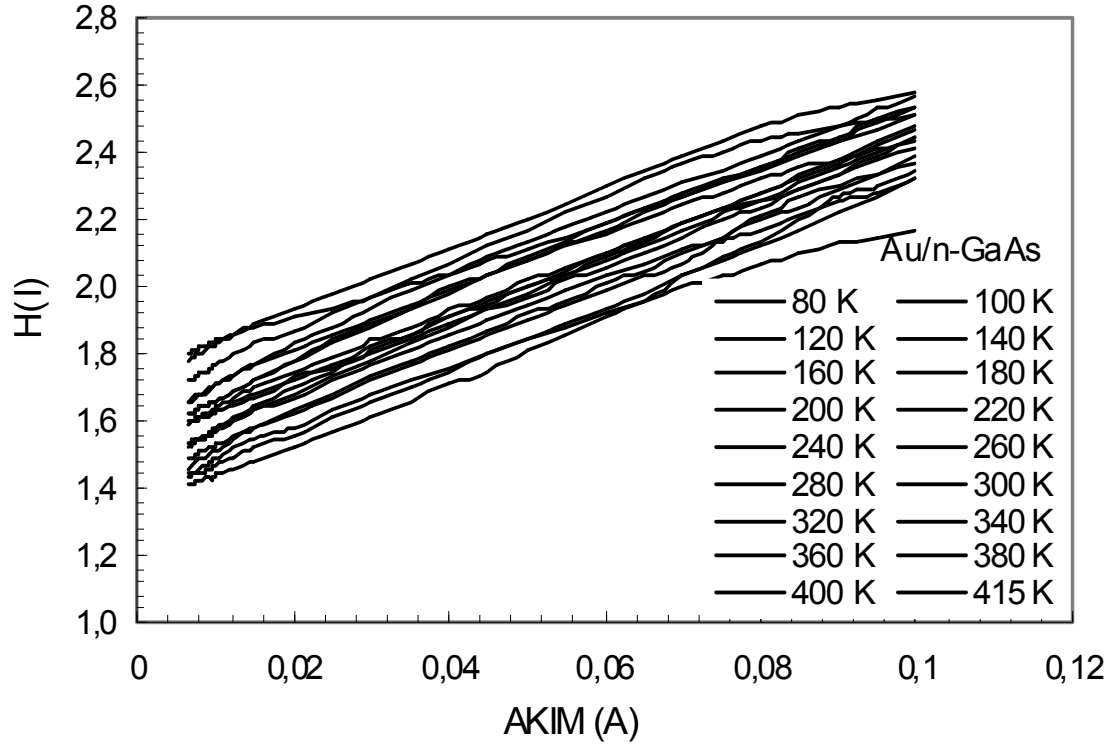
“ Eş. 4.1 “ de termyonik emisyon (TE) teorisine göre doğru beslem için temel akım denklemini yeniden düzenlenerek elde edilen ,

$$\frac{dV_a}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + R_s I \quad [4.17]$$

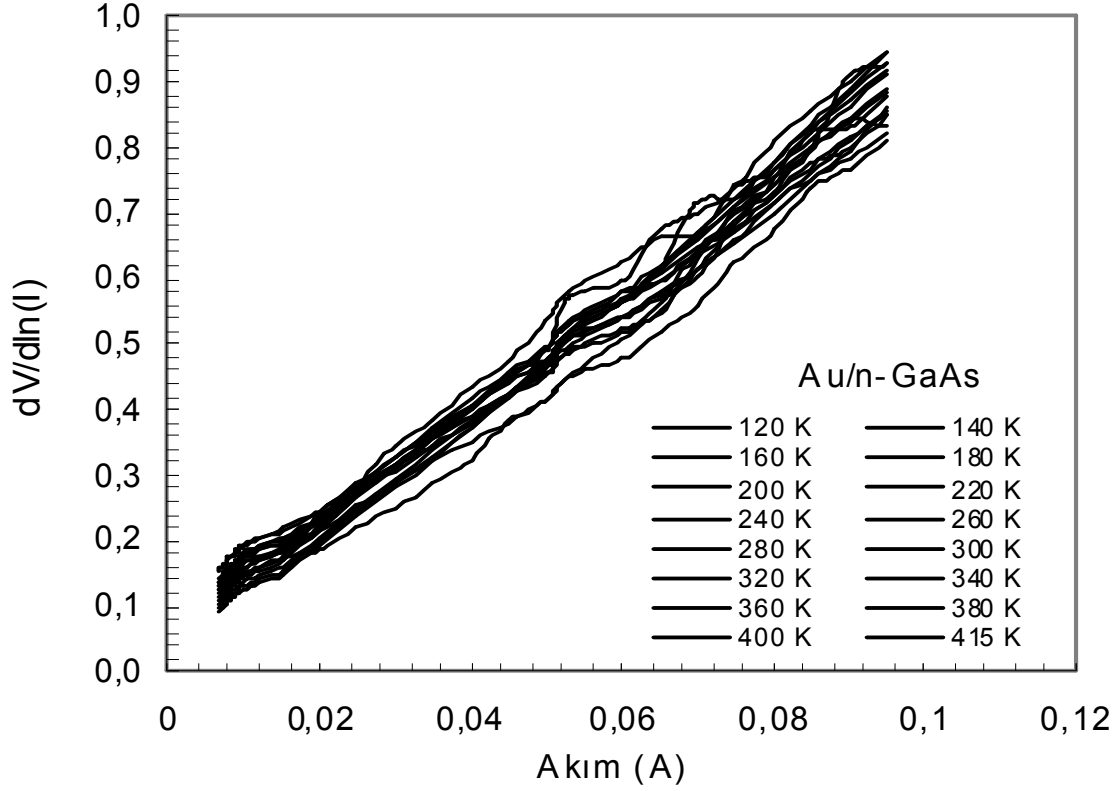
ve

$$H(I) = n\Phi_{bn} + R_s I \quad [4.18]$$

“ Eş. 4.17 “ denkleminle verilen  $dV_a / d(\ln I)$  nin akıma karşı çizilen grafiği bir doğru vermektedir. Bu doğrunun,  $I=0$  iken düşey eksenini kestiği noktadan idealite faktörü ve bu doğrunun eğiminden de seri direnç elde edilmektedir. “ Eş. 4.18 “ ifadesiyle verilen  $H(I)-I$  grafiği aynı zamanda bir doğru vermektedir. “Eş. 4.18 “ ifadesinden elde edilen idealite faktörü kullanılarak,  $H(I)-I$  grafiğindeki doğrunun  $I=0$  iken düşey eksenini kestiği noktadan, diyotun Schottky engel yüksekliği elde edilmektedir. Bu doğrunun eğimi ise yine seri direnç değerlerini vermektedir. Au/ n-GaAs Schottky diyotun Cheung fonksiyonlarına ait  $dV_a/d(\ln I)-I$  ve  $H(I)-I$  grafikleri şekil 4.12 ve şekil 4.13 de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Au/n-GaAs Schottky diyotunun  $H(I)$ - I grafiği



Şekil 4.13. Au/n-GaAs Schottky diyotunun  $dV/d\ln I$  grafiği

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada 80-415 K sıcaklık aralığında Au/n-GaAs Schottky kontakların I-V ve C-V karakteristikleri incelendi. Bariyer yüksekliği artan sıcaklıkla artarken, idealite faktörü 80-260K sıcaklık aralığında azaldığı ve 280-415 K sıcaklık aralığında arttığı görüldü. Bu durum metal yarıiletken yüzeyinde bariyer homojensizliğine atfedildi.

Modifiye edilmiş  $\ln(I_0/T^2) - q^2 \sigma^2/2k^2T^2$  vs  $q/kT$  grafiğinden gerçek bariyer yüksekliği 1.09eV olarak bulundu. Yüksek sıcaklıklardaki Au/n-GaAs Schottky bariyer diyotlarının sıcaklığa bağlı I-V ve C-V karakteristikleri, bariyer yüksekliğinin Gaussian dağılımının varlığı düşünülerek, Termiyonik emisyon mekanizması temelinde açıklandığı sonucuna varıldı.

Çalışmada seri direnç değerleri Cheung fonksiyonlarına göre hesaplandı. Düşük sıcaklık (80K) değerleri için  $11.315\Omega$  ,  $9.988\Omega$  ve yüksek sıcaklık (415K) değerleri için  $6.936\Omega$  ,  $7.797\Omega$  olarak elde edildi. Seri direnç değerleri artan sıcaklıkla azalmaktadır. Seri direnç değerlerinin artan sıcaklıkla azalması taşıyıcı yoğunlunun bir sonucudur.

Özet olarak bu çalışmada, Au/n-GaAs Schottky bariyer diyotları iyi bir diyot davranışı gösterdiği söylenebilir. Gerçekte, elektriksel karakterizasyona göre, bu doğrultucu kontaklar, entegre devreler, diğer elektronik cihazlar olarak kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Karatas , S., Altındal, Ş., Analysis of  $I-V$  characteristics on Au/n-type GaAs Schottky structures in wide temperature range. *Materials Science and Engineering B* 122: 133-139 (2005).
- [2] Sze S.M., ‘Semiconductor Devices Physics and Technology’, *John Wiley&Sons*, New York , 85- 127 (2002).
- [3] Karataş, Ş., Sn/p-Si Schottky Kontakların Elektiriksel Karekteristiklerinin Geniş Bir Sıcaklık aralığında İncelenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 1 s. (2003).
- [4] Seeger K., ‘Semiconductor Physics: An Introduction 8th edition’, *Springer*, Berlin, 10-32 (2002).
- [5] Ulu, Y.A.,  $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$  Nano Yapılarının Kimyasal Aşındırma Yöntemiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 4,5 s. (2007)
- [6] <http://eng.harran.edu.tr/~nbesli/SEG/02.Yariiletkenler.pdf>
- [7] Nuhoglu Ç., Özerden E., and Türüt A., The dependence of I-V anad C-V characteristics on temperature in the H-terminated Pb/p-Si(100) Schottky barrier diodes. *Appl. Surface Sci.* 250. 203-208. (2005).
- [8] Willson , A.H., ‘ A note of theory of rectification’ , *Proc. R. Soc. London, Ser.A.*, 136:487-498 (1932).
- [9] Kara, Z., Sn/p-Si Metal-Yarıiletken Yapıların Elektiriksel ve Dielektirik Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 22 s. (2010).
- [10] Demircioğlu, M., Sn/p-Si Metal-Yarıiletken Yapıların Oda Sıcaklığında Akım-Voltj ve Kapasitans-Voltaj Karakteristiklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Üniversitesi Fen Bilimlei Enstitüsü.Kahramanmaraş 22 s.(2010)
- [11] Deneuville, A. , Characterization of the interface states at a Ag/Si interface capacitance measurements, *J. Appl. Phys.*, 45,3079 (1974).
- [12] Singh , A, characterization of interface states at Ni/nCdF<sub>2</sub> Schottky barrier type diodes and the effect of CdF<sub>2</sub> surface preparation, *Solid- state electron.*, 28(3):223-232 (1985).

- [13] Özdemir, A.F., Metal/n- Tipi GaAs Schottky Diyotlarında Havada Oksitleme ve Yaşlanmanın Akım-Gerilim (I-V) ve Kapesite, Konduktans-Gerilim, Frekans (C,G-V,f) Karakteristiklerine Etkisi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Bilimleri Enstitüsü. Isparta 6 s.(2002).
- [14] Karataş Ş., Altındal Ş., Temperature dependence of barrier height of Au/ n- type GaAs Schottky diodes, *Solid-State Electronics* 49 :1052–105415 (2005).
- [15] Doğan, H., Isıl Olarak Tavlanmış Ni/n-GaAs/In Schottky Diyotların Karakteristiklerinin Engel İnhomojenlik Modeline Göre Belirlenmesi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum. 13 s. ( 2006 ).
- [16] Karataş , Ş., Türüt, A., The determination of electronic and interface state density distributions of Au/ n-type GaAs Schottky barrier diodes. *Physica B*, 381. 199-203 (2006).
- [17] Rhodcick, E.H., Williams,R.H.,“Metal-Semiconductor Contacts 2<sup>nd</sup> ed”., *Clarendon Press*. Oxford, 1-3 (1988).
- [18] Karataş, Ş., Altındal, Ş., Türüt, A., Özmen, A., “ Temperature dependence of characteristic parameters of the H-terminated Sn/p-Si (1 0 0) Schottky contacts“ , *Appl. Surf. Sci.*, 217(1):250-260 (2003).
- [19] Miller S. T., “Electrical Properties of Inhomogeneous Schottky Diodes“ , New Developments in Semiconductor Research, *Nova Science Publishers, New York*, 113-138 (2005).
- [20] Song, Y.P., Van Meirhaeghe, R.L., Laflere, W.H. and Cardon, F., “ On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current-voltage-temperature Measurements on Al/p-InP Schottky barriers“ , *Solid-State Electronics*, 29 (6):633-638 (1986).
- [21] Jürgen H., Werner and Herbet H. Güttler., “Barrier inhomogeneities at Schottky contacts“ , *J. Appl. Phys.*, 69(3):1522-1533 (1991).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Halil ÖZERLİ  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 28.02.1984 Osmaniye / Kadirli

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ / Fizik	2013
Lisans	AİBÜ/ Fizik	2009
Lise	Ş. Öğrt. Orhan Gök	2002

### İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2010	Çukurova Dershanesi Adana/ Kozan	Fizik Öğretmeni
2012-2013	Detay Bilim Dershanesi Osmaniye/ Kadirli	Fizik Öğretmeni

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

- H.Özerli**, I.Karteri, S.Karatas, Ö.F.Bakkallıoğlu and A.Türüt “Electrical properties of I-V and C-V Characteristics of The Au/n-GaAs Schottky Diodes at High Temperatures”,International Semiconductor Science and Technology Conference” (ISSTC-2014) 13-15 January 2014, İstanbul, Turkey.
- I.Karteri, **H. Özerli**, S. Karatas and F.Yakuphanoglu “Synthesis And Characterization Of Graphene Oxide Thin Films Via Modified Hummers Method” Turkish Physical Society 30th International Physics Conference, İstanbul, Turkey, p.435, 2-5 September 2013.
- I.Karteri, **H.Özerli**, Ş.Karataş, Ş.Altındal and A.Türüt “Analysis Of The Energy Distribution And Interface State Density Of Au/n-GaAs Schottky Structure” Turkish Physical Society 29th International Physics Conference, Bodrum, Turkey, p.494, 5-8 September 2012.