

**ORGANİK ARAYÜZEY TABAKAYA SAHİP
Au/n-GaAs SCHOTTKY ENGEL DİYOTLARIN
AKIM-VOLTAJ (I-V) KARAKTERİSTİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Mehmet Akif ALPER

**ORGANİK ARAYÜZEY TABAKAYA SAHİP
Au/n-GaAs SCHOTTKY ENGEL DİYOTLARIN AKIM-VOLTAJ (I-V)
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet Akif ALPER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2012**

Mehmet Akif ALPER tarafından hazırlanan “ORGANİK ARAYÜZEY TABAKAYA SAHİP Au/n-GaAs SCHOTTKY ENGEL DİYOTLARIN AKIM-VOLTAJ (I-V) KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Habibe USLU



Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL (GU)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Habibe USLU (KBU)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL (KBU)



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mehmet Akif ALPER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**ORGANİK ARAYÜZEY TABAKAYA SAHİP
Au/n-GaAs SCHOTTKY ENGEL DİYOTLARIN AKIM-VOLTAJ (I-V)
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet Akif ALPER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği

Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Habibe USLU

Haziran 2012, 49 sayfa

Bu çalışmada katkısız ve katkılı organik arayüzey (PVA) tabakalı çok sayıda Au/n-GaAs Schottky engel diyotları (SBDs) hazırlandı. Hazırlanan diyotların temel elektriksel parametreleri olan sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}), idealite faktörü (n), seri direnç (R_s) ve doyma akımı (I_o) oda sıcaklığındaki akım-voltaj ($I-V$) ölçümleri kullanılarak elde edildi. Bu yapıların R_s değerleri Ohm yasası, Norde metodu ve Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplandı ve bu değerlerin birbiriyle uyum içinde olduğu görüldü. Polivinil alkol (PVA)' den yapılmış organik arayüzey tabakasının bir metal (Zn) ile katkılanarak diyotun performansı üzerine etkisi araştırıldı. Deneysel sonuçlar, Zn katkılı PVA arayüzey tabakasının I_o , n , R_s değerlerini düşürdüğü; Φ_{Bo} ve diyotun iletkenliğini arttırdığı gösterdi. Bu sonuçlar, katkılı PVA arayüzey tabakanın diyotun performansını iyileştirdiğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler : Organik arayüzey tabakalı schottky diyotları, PVA, GaAs,
Elektrospinning metodu, *I-V* karakteristikleri

Bilim Kodu : 905.1.174

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF Au/n-GaAs SCHOTTKY BARRIER DIODES WITH ORGANIC INTERFACIAL LAYER

Mehmet Akif ALPER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Habibe USLU

June 2012, 49 pages

In this study, Au/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs) with and without metal doped organic interfacial layer (PVA) were fabricated. The main electrical parameters such as zero-bias barrier height (ΦB_o), ideality factor (n), series resistance (R_s) and reverse-saturation current (I_o) of these diodes were obtained using current-voltage (I - V) characteristics at room temperature. The R_s values of these diodes were obtained by using Ohm law, modified Norde method by Bohlin and Cheung functions. The obtained values of R_s for three methods are agreement each other. In addition, the effect of Zn doped PVA layer on diode performance was investigated. The obtained results show that Zn doped PVA layer decrease the I_o , n , R_s values and increase ΦB_o and conductivity values. It is clear that the doped interfacial PVA layer has improved the diode performance.

Key Words : Schottky diodes with organic interfacial layer, PVA, GaAs,
electrospinnig method, *I-V* measurements

Science Code : 905.1.174

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Habibe USLU' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin yapılmasında, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Abdülmecit TÜRÜT ve Prof. Dr. Şemsettin ALTINDAL' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda teorik bilgilerinden faydalandığım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ANUTGAN' a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanımında oldukları için sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma 2218-Yurtiçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	5
TEORİK BİLGİLER.....	5
2.1. METAL YARIİLETKEN (MS) KONTAKLAR	5
2.1.1. Metal-Yarıiletken (MS) Kontak Çeşitleri.....	5
2.1.2. n-tipi Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontak	6
2.2. SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI	10
2.3. İDEAL MIS TİPİ SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI.....	11
2.4. SCHOTTKY KONTAKLARDA AKIM-İLETİM MEKANİZMALARI	13
2.4.1. Termiyonik Emisyon (TE) Teorisi	14
BÖLÜM 3.	18
DENEYSEL YÖNTEM.....	18
3.1. POLİVİNİL ALKOL (PVA) VE TEMEL ÖZELLİKLERİ.....	18
3.2. POLİVİNİL ALKOL' ÜN UYGULAMA ALANLARI.....	19

	<u>Sayfa</u>
3.3. GaAs KRİSTALİN TEMEL ÖZELLİKLERİ.....	20
3.4. ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ İLE PVA HAZIRLANMASI.....	24
3.5. Au/PVA/n-GaAs MPS YAPININ HAZIRLANMASI.....	27
3.6. DENEYSEL ÖLÇÜM SİSTEMİ	28
3.6.1. Akım-Voltaj Ölçüm Sistemi.....	30
3.6.2. Janis vpf-475 Kriyostat.....	30
BÖLÜM 4.	32
DENEYSEL SONUÇLAR	32
4.1. GİRİŞ.....	32
4.2. AKIM-VOLTAJ (I - V) ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ.....	32
BÖLÜM 5.	43
SONUÇLAR	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda ($\Phi_m > \Phi_m$) için a) kontak edilmeden ve b) kontak edildikten sonraki enerji-bant durumları	6
Şekil 2.2.	Metal/n-tipi Schottky diyotun a) Termal denge durumu, b) doğru ön gerilim ve c) ters ön-gerilim durumlarındaki enerji-bant diyagramları	9
Şekil 2.3.	Bir MIS/MPS yapısı	11
Şekil 2.4.	$V=0$ ' da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı, a) p-tipi yarıiletken b) n-tipi yarıiletken.....	11
Şekil 2.5.	MS kontaklarda doğru ön-gerilim altındaki akım-iletim mekanizmaları	14
Şekil 3.1.	Vinil alkolün kimyasal yapısı.....	18
Şekil 3.2.	Polivinil alkolün kimyasal yapısı	19
Şekil 3.3.	GaAs için enerji-bant diyagramı	20
Şekil 3.4.	Elmas yapıdaki GaAs' in kristal yapısı. Pembe kürecikler As atomlarını, kahverengi kürecikler Ga atomlarını temsil etmektedir	21
Şekil 3.5.	Si ve GaAs için enerji-bant yapıları. Boşluklar (○), valans bandındaki pozitif boşlukları dolu daireler (●) ise iletkenlik bandındaki elektronları temsil etmektedir.....	21
Şekil 3.6.	Elektrik alanın fonksiyonu olarak Si ve GaAs için taşıyıcı hızlarının değişimi	23
Şekil 3.7.	Electrospinning düzeneği ve mekanizması	25
Şekil 3.8.	Zn-katkılı PVA' nın kimyasal yapısı	27
Şekil 3.9.	Maskeler a) Omik, b) doğrultucu kontak oluşturmak için kullanılan maskeler	27
Şekil 3.10.	Au/PVA/n-GaAs (MPS) yapının şematik gösterimi	28
Şekil 3.11.	Deneysel ölçüm sisteminin şematik görünümü.....	29
Şekil 3.12.	Deneysel ölçüm sisteminin fotoğrafik görünümü	29
Şekil 3.13.	Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı.....	30
Şekil 3.14.	Janis vpf-475 kriyostat	31
Şekil 4.1.	Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için yarı logaritmik $I-V$ eğrileri.....	36

Sayfa

Şekil 4.2. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için $\ln(I)-V$ eğrileri.....	37
Şekil 4.3. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için R_i-V eğrileri	38
Şekil 4.4. Au/PVA/n-GaAs SBD için $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ eğrileri	39
Şekil 4.5. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs SBD için $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ eğrileri.....	40
Şekil 4.6. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için $F(V)-V$ eğrileri	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Doğrultucu ve omik kontak oluşumu.....	6
Çizelge 3.1. GaAs' nin oda sıcaklığındaki özellikleri	24
Çizelge 4.1. Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs SBDs için oda sıcaklığında elde edilen I_0 , n ve Φ_{B0} değerleri	36
Çizelge 4.2. Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs SBDs için oda sıcaklığında elde edilen seri direnç değerleri.....	40
Çizelge 4.3. Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs SBDs için Norde metodundan elde edilen V_m , I_m , F_m , Φ_{B0} ve R_s değerleri	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Alan
\AA	: Angstrom
A^*	: Etkin Richardson sabiti
E_v	: Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_c	: İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_F	: Fermi enerjisi
E_g	: Yarıiletken yasak enerji aralığı
E_i	: Saf durumdaki enerji seviyesi
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik geçirgenliği
ϵ_i	: Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
K	: Kelvin cinsinden sıcaklık
k	: Boltzmann sabiti
m_e^*	: Elektronun etkin kütlesi
m_0	: Serbest elektron kütlesi
N_D	: Verici katkı atomlarının yoğunluğu
N_A	: Alıcı katkı atomlarının yoğunluğu
N_c	: İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu
N_v	: Değerlik bandındaki durumların yoğunluğu
N_{ss}	: Arayüzey durum yoğunluğu
Q_{sc}	: Uzay yükü
q	: Elektrik yükü
R_i	: Direnç
R_s	: Seri direnç
R_{sh}	: Kısa devre direnci
T	: Mutlak sıcaklık

V	: Gerilim
V_d	: Difüzyon potansiyeli
V_F	: Doğru ön-gerilim
V_R	: Ters ön-gerilim
V_y	: Yalıtkan üzerine düşen gerilim
V_{yi}	: Yarıiletken üzerine düşen gerilim
V_G	: Metal plakaya uygulanan gerilim
Φ_B	: Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{Bo}	: Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_e	: Etkin engel yüksekliği
Φ_n	: n- tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı
δ	: Yalıtkan tabaka kalınlığı
Ω	: Ohm
ρ	: Öz direnç
χ_s	: Elektron yakınlığı

KISALTMALAR

AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
I-V	: Akım-voltaj
MOS	: Metal-Oksit-Yarıiletken
MIS	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MPS	: Metal-Polimer-Yarıiletken
MS	: Metal-Yarıiletken
PVA	: Polivinil alkol
SBD	: Schottky engel diyotu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojik gelişme açıdan büyük önem taşıyan Schottky engel diyotları pek çok endüstriyel kullanım alanına sahip bir yarıiletken ayardır. Teknolojik gelişmeler optimum aygıt verimliliği, kararlılığı gerektirmektedir. GaAs (galyum arsenide) yüksek elektron mobilitesi, düşük güç tüketimi, direk ve geniş yasak enerji aralığına sahip olması sebebiyle metal-yarıiletken (MS) kontaklarda, metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) kontaklarda, yüksek verimliliğe sahip güneş pillerinde (solar cells), ışık yayan diyotlarda (LEDs), güç elektroniği uygulamalarında ve yüksek frekans gerektiren haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [1-4].

Günümüzde çok büyük pazar payına sahip olan yarıiletken aygıtların güvenilirliği ve kararlılığında ortaya çıkan problemlerin pek çoğu yüzey koşulları ile yakından alakalı olduğu için, MIS kapasitörler kullanılarak yüzey fizikini anlamak aygıt üretimi açısından büyük önem taşımaktadır. MIS yapılar öncelikle voltaj kontrollü varistör (değişken kapasitör) olarak yapıldı. Daha sonra yapının karakteristik özellikleri incelenmeye başlamıştır. İlk başarılı MIS yapısı 1960 yıllarında Si alıtış üzerine termal olarak SiO₂ tabakanın büyütülmesiyle hazırlanmıştır.

Pek çok bilimsel çalışmada organik polimer yapıda arayüzey tabakası; MS kontaklar arasına elektrospinning metodu ve benzer kaplama teknikleri yardımıyla arayüzey tabakası olarak kaplanmaktadır. Organik polimer yapılar ucuz olması, kolay üretim sürecine sahip olması, iyi yapısal özellikler göstermesi ve esnek olması sebebiyle organik ışık yayan diyotlarda (OLEDs), organik tabanlı Schottky diyotlarda, organik alan etkili transistörlerde ve organik güneş pillerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Organik polimer arayüzey tabakası metal ve yarıiletken arasına kaplandığında; yapı metal-polimer-yarıiletken tabakaya dönüşür (MPS). MS kontaklar arasına arayüzey tabakası kaplanmasıyla aygıt parametreleri optimize hale getirilebilmektedir.

Arayüzey tabakasının oluşumu, seri direnç (R_s), arayüzey durumları yoğunluğu (N_{ss}), potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}) aygıt performansı ve kararlılığını etkileyen faktörlerin başında gelir [5,6]. Yapısal kusurlardan kaynaklanan ve safsızlıklar nedeniyle oluşan arayüzey yük durumları arayüzey yakınlarında yarıiletkenin enerji bant yapısını önemli ölçüde değiştirir.

SiO₂, MIS yapılarında yaygın olarak kullanılan inorganik yalıtkan tabakalardan olmasına rağmen, yarıiletken yüzeyini tamamıyla pasivize edememekte ve dolayısıyla diyotun sızıntı akımını azaltamamaktadır. İnorganik ince filmleri büyütebilmek için radyo frekans (RF) püskürtme tekniği, moleküler ışın epitaksi, kimyasal buhar biriktirme yöntemi gibi birçok metot olmasına rağmen bu metotlar pahalı olmasının ve yüksek teknolojiye laboratuvar koşulları gerektirmektir. Bu yüzden geleneksel yollarla büyütülmüş SiO₂, Si₃N₄, TiO₂ gibi yalıtkan tabakaların yerine son zamanlarda organik ince filmler sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu avantajlarının yanında, inorganik malzemelere göre daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları gerçekleştirilmesi, üretilen aygıtın sızıntı akımını azaltması, yüksek iletkenlik sağlaması, sıcaklığa karşı kararlı olması organik ince filmleri metal-yarıiletken kontak üretiminde tercih edilen malzemeler olmaktadır. Bir diyot için bariyer yüksekliği önemli bir parametredir. Bir Schottky diyot için çok önemli bir parametre olan potansiyel engel yüksekliği değeri; metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ile yarıiletkenin elektron yakınlığı (χ) değeri arasındaki farka eşittir. Bir diyotta artan potansiyel engel yüksekliği sızıntı akımını düşürür, kırılma voltajını artırır. Yüksek bariyer değerine sahip diyotlar telekomünikasyonda, radar uygulamalarında, fakat düşük sızıntı akımına sahip diyotlar ise sensör uygulamaları için ideal bir parametredir. İdeal bir diyot için bir değerine eşit olan idealite faktörü bir diyotun termiyonik emisyon (TE) modelinden sapma miktarını göstermektedir.

MIS yapılarında potansiyel engel yüksekliğinin oluşumu hala tam olarak açıklanamamıştır ve üzerinde çalışmalara devam edilen araştırma konusu olmaktadır [7-12]. Potansiyel engel yüksekliği homojensizliğini açıklamak için iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri olan paralel iletim modeli [7-9] Schottky potansiyel engel yüksekliğinin devamlı uzaysal dağılımını varsaymaktadır ve Schottky diyottan geçen toplam akım miktarı, tek bir potansiyel engel

yüksekliğinde Termiyonik Emisyon Difüzyon (TED) modeli ile belirlenmiştir ve dağılım fonksiyonuyla bulunan akım birleştirilerek basit şekilde hesaplanır. Son zamanlarda, yüksek ve düşük sıcaklık değerlerinde Schottky engel diyotların normal olmayan elektriksel karakteristiklerini açıklamak için kullanılan Gaussian dağılım fonksiyonu tercih edilmektedir. Gaussian dağılım fonksiyonu kullanılarak, toplam akım değeri, sıcaklığa bağlı olup engel yüksekliği ve idealite faktörü ile Termiyonik Emisyon Difüzyon (TED) teorisine benzer şekilde analitik biçimde yaklaşık olarak tanımlanır.

Kundu ve arkadaşları Al/MEH-PPV/p-GaAs MIS tipi Schottky diyot hazırladılar ve hazırladıkları organik Schottky diyotun potansiyel engel yüksekliği 0,87 eV ve idealite faktör değeri 1,17 olarak buldular [13]. Vural ve arkadaşları Al/Rhodamine-101/n-GaAs MIS tipi Schottky diyot ürettikler. Ürettikleri diyotu geniş sıcaklık aralığında akım-voltaj (I - V) karakteristiklerini incelediler ve diyotun potansiyel engel yüksekliğini 290 K (Kelvin) de 0,68 eV ve idealite faktörünü 2,63 olarak buldular [14]. Aydın ve arkadaşları Au/PEDOT/n-GaAs organik Schottky diyotu hazırladılar ve ürettikleri diyotun potansiyel engel yüksekliğini 0,69 eV ve idealite faktörünü 3,94 olarak buldular [15]. Aydoğan ve arkadaşları Au/Orcein/p-Si/Al organik Schottky diyot ürettikler ve diyotun potansiyel engel yüksekliğini 0,70 eV ve idealite faktör değerini 2,48 olarak buldular [16]. Altuntaş ve arkadaşları Au/SiO₂/n-GaAs inorganik Schottky diyot ürettikler ve ürettikleri diyotun 300 K'de sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliğini 0,747 eV ve idealite faktörünü 1,51 olarak buldular [17]. Literatürde GaAs tabanlı alttaş üzerine organik arayüzey tabaka kaplayarak pek çok organik yarıiletken aygıtlar üretilmesine rağmen organik polimer yapıda olan polivinil alkol GaAs alttaş üzerine arayüzey tabakası olarak yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu yüzden yapılan çalışmada metal katkılı ve katkısız PVA arayüzey tabakalı Schottky diyotları hazırlandı ve bu diyotların temel elektriksel parametrelerini kıyaslanarak, PVA arayüzey tabakasının diyotun performansı üzerine etkisi araştırıldı.

PVA çok zayıf bir iletken malzeme olmasına rağmen metallerle ve özellikle geçiş elementleriyle katkılıandığında, katkılama atomlarının polimer yapıyla birleşmesi sonucu iletkenlik özelliğini önemli derecede arttırdığı gözlenmiştir. Bu yüzden bu

çalışmada PVA' ün iletkenliğini arttırmak için Zn (çinko) ile katkılandı. Bu çalışmada GaAs alttaş yeterince temizlenerek üzerine polivinil alkol (PVA) tabakası elektrospinning metodu kullanılarak kaplanmıştır. Bu çalışmada Au/PVA/n-GaAs ve Au/PVA (Zn katkılı)/n-GaAs olmak üzere iki tip organik Schottky engel diyotları hazırlandı ve bu diyotların akım-voltaj ($I-V$) karakteristikleri (-2)-(+2) V aralığında 50 mV' luk adımlarla oda sıcaklığında incelendi. PVA ve çinkoyla (Zn) katkılanmış PVA arayüzey tabakanın diyotun $I-V$ karakteristiklerine etkisi incelendi.

Hazırlanan bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Schottky diyotların tarihsel gelişimi, kullanım alanları ve literatürde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verildi. İkinci bölümde MS, metal-polimer-yarıiletken (MPS) ve MIS yapıları hakkında teorik bilgilere değinildi. Üçüncü bölümde PVA' nın temel özellikleri, üretim tekniği, ölçüm sistemi hakkında bilgiler verildi. Dördüncü bölümde üretilen diyotun temel parametrelerinin hesaplanması, elde edilen grafiklere yer verildi. Beşinci bölümde ise yapılan deneyde elde edilen sonuçlar yorumlandı.

BÖLÜM 2

TEORİK BİLGİLER

2.1. METAL YARIİLETKEN (MS) KONTAKLAR

2.1.1 Metal-Yarıiletken (MS) Kontak Çeşitleri

Schottky diyotlar metal ile yarıiletkenin sıkı kontak edilmesiyle elde edilir. Metal-yarıiletken Schottky diyotlara doğrultucu ve omik kontak yapılıır. Schottky doğru öngerilim altında oluşan akıma ileri öngerilim akımı (I_F), ters öngerilim altında oluşan akıma ters öngerilin akımı (I_R) denir. İleri öngerilim akımı ters öngerilim akımına oranla çok yüksek değerdedir. Bu (I_F)/ (I_R) oranına “doğrultma oranı” denir. Doğrultma oranı yüksek olan diyotlar daha idealdir. İyi bir diyotta doğrultma oranı (I_F/ I_R) en az 10^8 civarlarındadır.

Doğrultucu kontakta metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engeli oluşur, bu potansiyel engeli akımı oluşturan elektron ve hollerin hareketini kısıtlar. Omik kontakta ise durum farklıdır. Omik kontakta herhangi bir potansiyel engeli oluşmaz ve yük taşıyıcıları (elektron ve holler) metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale kolaylıkla geçer. Kontakın doğrultucu ya da omik kontak olması seçilen yarıiletken ve metalin iş fonksiyonuna göre değişir. Φ_m metalin, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonları olmak üzere aşağıdaki Çizelge 2.1’de p ve n-tipi yarıiletkenlere göre omik ve doğrultucu kontak oluşumları gösterilmiştir.

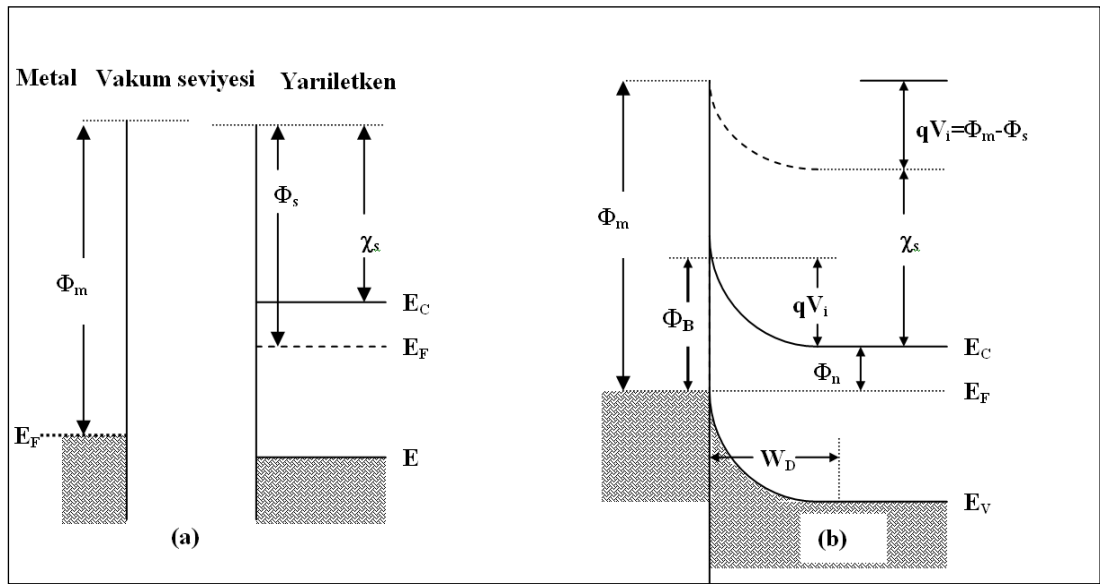
Oluşturulan kontakın daha ideal olması için, kontak olarak kullanılan malzemelerin yüzeylerinin yeteri kadar temiz ve pürüzsüz olması gereklidir.

Çizelge 2.1 Doğrultucu ve omik kontak oluşumu.

İş fonksiyonlarının durumu	Yarıiletken türü	Kontak türü
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu

2.1.2. n-tipi Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontak

Metal ve yarıiletken malzemeler sıkı kontak edildiğinde arayüzey arasında bir potansiyel engeli oluşur. Bu arayüzey bölgesi yarıiletken üzerinde oluşur ve yüklerin metale doğru hareketinden dolayı yüksek direnç özelliği gösterir. Bu oluşan yüksek dirençli tabakaya tüketim tabakası denir. Tüketim tabakasının genişliği; sıcaklığa, donör safsızlık konsantrasyonuna (N_D) ve uygulanan gerilime bağlı olarak değişir.



Şekil 2.1. Metal/n-tipi yarı iletken kontaklarda ($\Phi_m > \Phi_s$) için a) kontak edilmeden ve b) kontak edildikten sonraki enerji-bant durumları.

Şekil 2.1'de verilen ' Φ_m ' metalin iş fonksiyonunu, ' Φ_s ' yarıiletkenin iş fonksiyonu, ' Φ_B ' potansiyel engel yüksekliğini, ' Φ_n ' n-tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkını, ' χ_s ' yarıiletkenin elektron yakınlığını, ' E_V '

Valans (değerlik) bandı enerji seviyesini, ' E_C ' İletkenlik bandı enerji seviyesini, ' E_F ' Fermi enerji seviyesini, ' W_D ' ise tüketim tabakası kalınlığını ifade etmektedir.

Eğer bir n-tipi yarıiletken ile bir metal kontak edilirse yarıiletkendeki yüksek enerjili elektronlar metalin ön yüzeyine doğru hareket edecektir. Yarıiletkenden metale doğru hareket eden elektronlar arkalarında holeler bırakırlar. Bunun sonucunda yarıiletkenden metale doğru bir elektrik alan oluşur. Oluşan bu elektron ve holelere uzay yükü (space charge) denir. Schottky-Mott modeline göre metal ile yarıiletken arayüzeyinde oluşan potansiyel engel yüksekliği metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ile yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) farkına eşittir [1,18-21]. Metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için kullanılan bazı fiziksel parametreleri aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

Metalin iş fonksiyonu (Φ_m): Bir elektronu Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli minimum enerji olarak tanımlanır.

Yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s): Yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi ile vakum enerji seviyesi arasındaki enerji farkına denir. Yarıiletkenlerde katkılama atomlarının yoğunluğuyla Fermi enerjisi değiştiği için buna paralel olarak yarıiletkenin iş fonksiyonunda değişir.

Fermi enerjisi (E_F): Fermi enerjisi mutlak sıfır sıcaklığında (T=0 Kelvin) en yüksek enerji seviyesindeki elektronun enerjisine denir. Fermi enerjisinin üstündeki bütün haller boştur. Yarıiletkenlerde ise sıcaklık ve katkılama atomlarının yoğunluğuna (N_D, N_A) bağlı olarak değişir. n-tipi yarıiletkenlerde katkılama atomlarının yoğunluğu arttıkça fermi enerji seviyesi iletkenlik bandına yaklaşırken, p-tipi yarıiletkenlerde katkılama atomlarının yoğunluğu arttıkça fermi enerji seviyesi valans bandına yaklaşır.

Vakum seviyesi: Bir metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesi yada bir elektronu yüzeyden koparıp serbest hale gelmesi için gerekli minimum enerji miktarıdır.

Elektron yakınlığı (χ): Vakum seviyesi ile iletkenlik bandı kenarı arasındaki elektronun enerji farkı olarak tanımlanır.

Şekil 2.1.a'da metal ile n-tipi yarıiletkenin kontak edilmeden önce, şekil 2.1.b'de ise metal ile n-tipi yarıiletken sıkı kontak edildikten sonraki enerji bant diyagramları verilmiştir. Şekil 2.1.a'da gösterildiği gibi kontak edilmeden önce metal ve n-tipi yarıiletken enerji bant yapısında herhangi bir bükülme olmaz. Metal ile n-tipi yarıiletken sıkı kontak edildiğinde ise yarıiletkendeki yüksek enerjili elektronlar metal yüzeyine doğru hareket eder. Yarıiletkenden metale doğru hareket eden yüksek enerjili elektronlar arkasında pozitif yükler oluşturur. Elektronlar ise metal yüzeyinde kalır. Elektronların yarıiletkenden metale doğru geçerken yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi azalmaya, metalin Fermi enerji seviyesi ise artmaya başlayacaktır. Bu yüzden yarıiletkenin Fermi enerjisi ile iletkenlik bandı arasındaki yarıılma ($E_c - E_F$) Şekil 2.1.b'de gösterildiği gibi artacaktır. Termal dengede E_F sabit olacağı ve yasak enerji aralığı değişmeyeceği için iletkenlik ve valans bant kenarları yukarıya doğru bükülürler. Yarıiletkenin elektron yakınlığı değişmez.

Termal denge durumuna gelindiğinde ise yarıiletkenden metale yük geçişi olmaz, metalin ve yarıiletkenin Fermi enerji seviyeleri eşitlenir. Kurulma voltajı yarıiletkenden metale doğru geçen yüklerin karşılaştığı potansiyel engel yüksekliğine denir. Termal denge durumunda kurulma voltajı (qV_i) metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir ve aşağıdaki eşitlikte

$$qV_i = (\Phi_m - \Phi_s) \quad (2.1)$$

şeklinde verilmiştir. Metalden yarıiletkene geçen yüklerin göreceği potansiyel engel yüksekliği kurulma voltajından daha yüksek bir değerdir ve

$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.2)$$

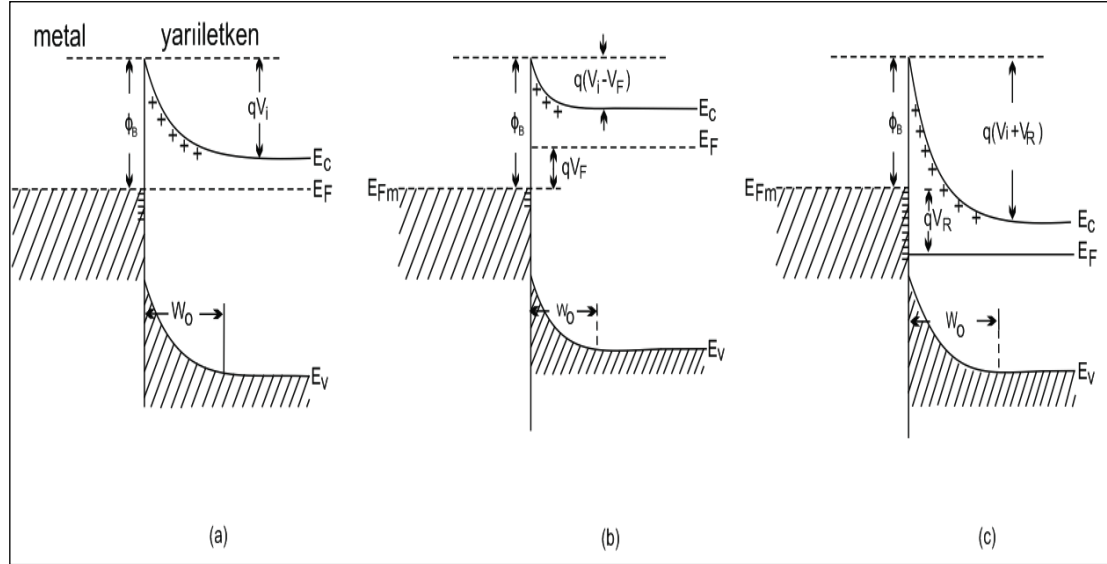
eşitliği ile verilir. Yarıiletkenin iş fonksiyonu ve metalin iş fonksiyonu aşağıda sırasıyla (2.3) ve (2.4) eşitliklerinde ifade edersek, eşitlik (2.2) ifadesi (2.5) ifadesine dönüşür.

$$\Phi_s = (\Phi_n + \chi_s) \quad (2.3)$$

$$\Phi_m = (qV_i + \Phi_s) \quad (2.4)$$

$$\Phi_s = (\Phi_n + qV_i) \quad (2.5)$$

Yukarıdaki eşitlikte kullanılan Φ_n değeri iletim bandının alt kenarı ile Fermi enerji seviyesinin farkına ($E_c - E_F$) eşittir. Eşitlik 2.1 Schottky ve Mott tarafından birbirinden bağımsız verilmiştir [19]. Diyotun termal denge durumunu değiştirmek için diyotu doğru veya ters öngerilimlemek gerekir. Diyotun termal denge, doğru öngerilimde ve ters öngerilimdeki enerji-bant diyagramı Şekil 2.2’de sırasıyla verilmiştir. Termal denge durumunda yarıiletkenden metale geçen elektronlar ile metalden yarıiletkene geçen elektronlar eşit miktardadır ve dolayısıyla net yük akışı sıfıra eşittir. Yarıiletkenin tüketim tabakası çok az yük içerdiği için bu bölgenin direnci yarıiletkenin nötral kısmının direncine göre oldukça yüksektir. Bu yüzden diyota uygulanan doğru öngerilim veya ters ön gerilim voltajının büyük kısmı tüketim tabakası üzerine düşer.



Şekil 2.2. Metal/n-tipi Schottky diyotun a) Termal denge durumu, b) doğru ön-gerilim ve c) ters ön-gerilim durumlarındaki enerji-bant diyagramları.

Diyota uygulanacak olan doğru ve ters ön-gerilim voltajı termal denge durumundaki enerji-bant diyagramını değiştirecektir. V_F termal dengedeki potansiyel engel yüksekliğinden küçük olmak şartıyla, diyota bir doğru ön-gerilim voltajı uygulandığında oluşan yeni potansiyel engel yüksekliği veya qV_i bu V_F kadar azalacak ($q(V_i - V_F)$) ve ters ön-gerilim durumunda ise V_R kadar artacaktır ($q(V_i + V_R)$). Dolayısıyla, diyot doğru ön-gerilimlendiğinde azalan potansiyel engel yüksekliği nedeniyle yüksek miktarda akım geçerken (doğrulturken), ters ön-gerilimlendiğinde ise neredeyse hiç akım geçirmeyecektir. Diyotların doğru ve ters ön-gerilim altında diyottan geçen akım miktarı I_F ve I_R olarak gösterecek olursak bu iki değer oranına “doğrultma oranı” denir ve (2.6) eşitliğiyle verilir.

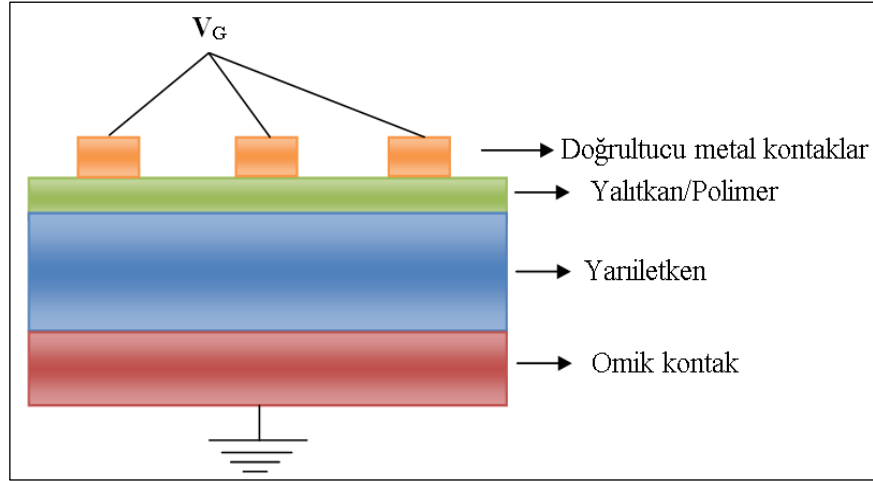
$$\text{Doğrultma oranı} = (I_F / I_R) \quad (2.6)$$

2.2. SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI

Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan ya da polimer bir tabaka kaplandığında metal-yarıiletken (MS) yapı, metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS/MPS) yapı haline gelir. Araya bu yalıtkan ya da polimer tabaka kaplanması diyotun seri direncini düşürür, doğrultma oranını artırır, metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder, metal ile yarıiletkenden geçecek yük akışını düzenler. Bu parametrelerin iyileşmesi daha kaliteli bir diyot üretilmesini sağlar. Metal-yarıiletken Schottky engel diyotlar hem arayüzey tabakaya hem de bir seri dirence sahip ise diyota uygulanan voltaj (V_G); arayüzey tabaka, diyot ve yapının seri direnci arasında bölüşülür. V_G voltajının, diyot voltajı (V_i) seri direnç voltajı (V_{R_s}) ve arayüzey tabakaya düşen voltaja (V_D) bağlı değişimi

$$V_G = V_D + V_{R_s} + V_i \quad (2.7)$$

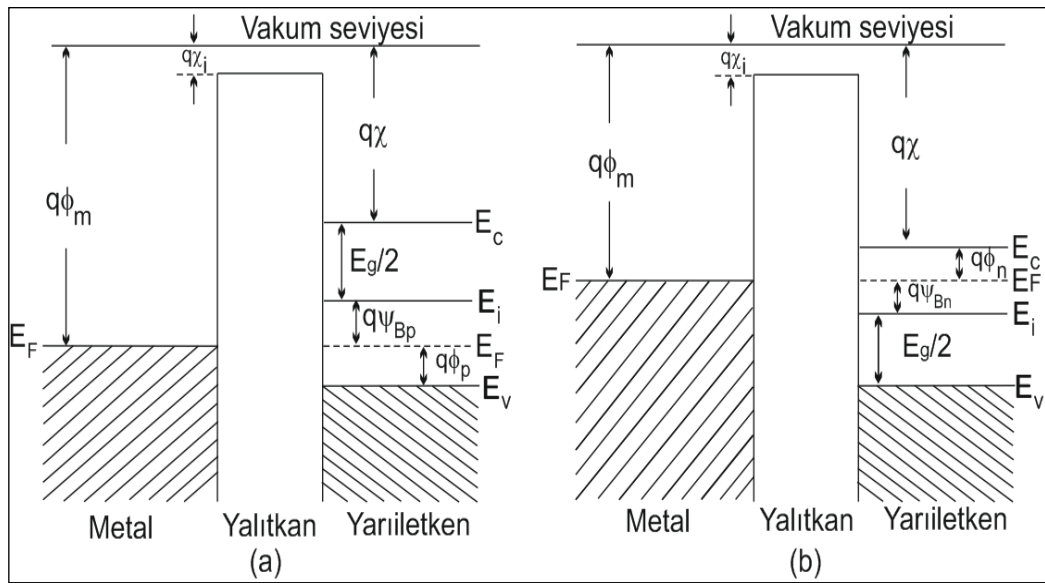
eşitliğiyle verilir. Bu yüzden MS yapılar ile MIS/MPS yapılarının akım-voltaj değişimi birbirinden farklı olacaktır. Şekil 2.3’ de MIS yapının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.3. Bir MIS/MPS yapısı.

2.3. İDEAL MIS TİPİ SCHOTTKY DİYOTLARIN YAPISI

İdeal p-tipi ve n-tipi MIS Schottky diyot yapısının, $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı Şekil 2.4' te gösterilmiştir. İdeal MIS Schottky diyotun, seri direnç ve arayüzey durumları çok küçük ve kısa devre direncinin ise $M \Omega$ ' lar değerinde olması gerekir [19,20]. Böylece diyot üzerinden geçen akım maksimum olup, diyottan geçecek kaçak devre akımı minimum değerde olacaktır. Bu tür yapılarda diyot sıfır ön-gerilimde iletme geçer ve idealite faktörü 1'e eşittir.



Şekil 2.4. $V=0$ ' da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı, a) p-tipi yarıiletken b) n-tipi yarıiletken.

Bir dış ön-gerilim olmadığı durumda, metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki fark sifira eşittir. Eşitlikte verilen χ yarıiletken elektron yakınlığı, E_g yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - (\chi + E_g/2q + \psi_{Bp}) = 0 \quad (\text{p-tipi}) \quad (2.8)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - (\chi + E_g/2q - \psi_{Bn}) = 0 \quad (\text{n-tipi}) \quad (2.9)$$

İdeal MIS yapıya DC ön-gerilim uygulandığında, yalıtkana taşıyıcı geçişi yoktur, yani yalıtkanın özdirenci sonsuzdur. Bir ön-gerilim uygulandığında yapıdaki yükler, yalıtkan ile bitişik metal yüzeyindekiler ile yarıiletkenlerdeki eşit miktarda fakat zıt yönde bulunurlar.

İdeal bir MIS yapıya, metal elektroda bir ön-gerilim uygulandığında yarıiletkende yük değişimleri oluşur. Yarıiletkenlerdeki serbest hareketli yük yoğunluğu metaldekine göre çok daha az ve uygulanan gerilime bağlı olarak değişmektedir. Yarıiletkenin arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine sebep olan uzay yükü (Q_{sc}) oluşur. Termal denge durumunda arayüzey bölgesindeki uzay yükü miktarı potansiyelin büyüklüğü ile belirlenir. Yarıiletkende bulunan yükler, n-tipi veya p-tipi katkılamaya bağlı olarak çoğunluk ve azınlık taşıyıcılar değişmekte olup, yarıiletkende metallere göre serbest olmayan yükler bulunduğu için uygulanan gerilime bağlı olarak yük, ya uzay yükü bölgesini ya da arayüzey bölgesindeki yığılmaları oluşturur. Örneğin periyodik cetvelin 4. sütununda bulunan Si kristaline yine periyodik cetvelin 3. sütunun da bulunan bor (B) atomuyla katkılanırsa bor kristal yapıdan bir tane elektron çeker, p-tipi Si elde edilir ve burada holler (deşikler) çoğunluk taşıyıcı elektronlar ise azınlık taşıyıcı durumundalar. Benzer şekilde aynı yarıiletkene 5. sütunda bulunan arsenik (As) atomu yarıiletken ile (Si) katkılanırsa arsenik kristale bir tane elektron verir, n-tipi Si elde edilir ve burada ise çoğunluk taşıyıcı elektronlar azınlık taşıyıcılar ise hollerdir. Yarıiletken diyotlarda akım iletimi hem elektronlar hem de holler tarafından sağlanır. Çoğunluk ve azınlık taşıyıcılarının oluşturduğu akıma çoğunluk ve azınlık taşıyıcı akımı denir.

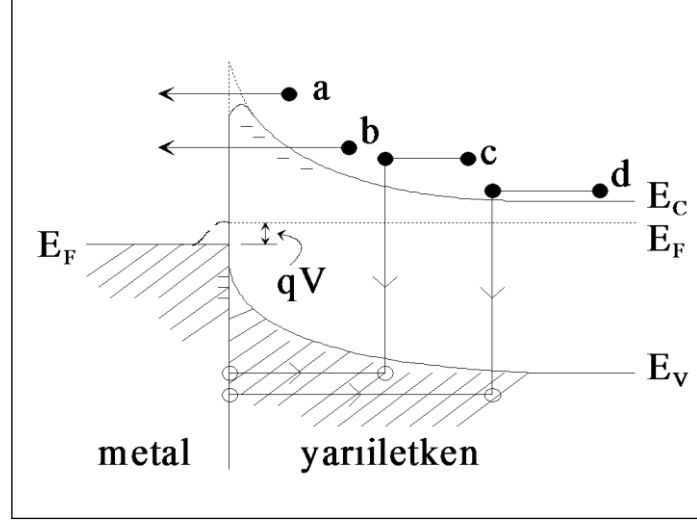
2.4. SCHOTTKY KONTAKLARDA AKIM-İLETİM MEKANİZMALARI

Metal-yarıiletken kontakların dışarıdan uygulanacak elektrik alan altındaki akım-iletim mekanizmalarının belirlenmesi çok önemlidir. Kontakta arayüzey durumları, sıcaklık, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan veya polimer tabaka, uygulanan gerilimin yönü, yarıiletkenin tipi gibi faktörlerin Schottky diyotlara etkisini dikkate alarak, hangi durumda hangi iletim mekanizmasının etkili olacağını belirlemek çok önemlidir. MS ve MIS/MPS yapıları kontakların başlıca akım-iletim mekanizmaları aşağıda verildiği gibi sıralanır [19-21].

1. Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
2. Difüzyon Teorisi
3. Termiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
4. Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termiyonik Alan Emisyonu (TAE), Alan Emisyonu (AE) ve Çok katlı tünelleme)
5. Uzay yük bölgesinde rekombinasyon
6. Elektron veya deşik enjeksiyonu
7. T_o etkili akım iletimi
8. Gaussian Dağılımı

Şekil 2.5' de doğru ön-gerilim altında metal/n-tipi yarıiletkeninde dört tane temel akım-iletim mekanizması gösterilmiştir. Şekil 2.5'de (a); potansiyel engelin tepesini yeteri kadar termal enerji kazanarak aşan elektronların iletimi (TE), (b); elektron için kuantum mekaniksel tünelleme (TAE veya AE) bu mekanizma yüksek oranda katkılanmış ($N_d \geq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) yarıiletkenler ve düşük sıcak değerleri için gerçekleştirilebilen bir modeldir (c); Uzay yük bölgesinde birleşme (yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için uygun bir model) ve (d); ise doğal bölgede enjeksiyon mekanizmasını göstermektedir. Bu çalışmada hazırlanan iki tip numunenin temel elektriksel parametreleri sadece oda sıcaklığında incelenip

karşılaştırılmıştır. Bu yüzden oda sıcaklığı ve sistemde genelde TE teorisi geçerli olduğu için, hesaplamalarda bu 'teori' kullanılmıştır.



Şekil 2.5. MS kontaklarda doğru ön-gerilim altındaki akım-iletim mekanizmaları.

2.4.1. Termiyonik Emisyon (TE) Teorisi

Termiyonik emisyon teorisi; sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların salınması şeklinde açıklanabilir. Schottky kontaklarda yeterli termal enerjiyi kazanan taşıyıcıların potansiyel engeli aşıp yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene doğru hareket etmesi TE teorisi olarak bilinir. Bu olay metal/n-tipi yarıiletken yapılarda elektron, metal/p-tipi yarıiletken yapılarda ise deşikler tarafından sağlanmaktadır [27]. Metal tarafına uygulanan gerilimden bağımsızdır ve termal enerjileri nedeniyle metal tarafındaki engeli aşan elektronların oluşturduğu akım I_o termiyonik akımdır. MS kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcılar tarafından iletildiği savunulan TE teorisinin temel varsayımları şunlardır [19]:

1. Potansiyel engelinin yüksekliği (Φ_B), kT/q enerjisinden çok büyüktür.
2. Schottky bölgesinde taşıyıcıların çarpışmaları gerçekleşmez. Yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin genişliğinden daha büyüktür.

3. Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilir, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine bağlı olarak çok küçük miktarda değişim gösterir.

Kontak yüzeyini x-düzlemine dik alırsak, kontak yüzeyine dik doğrultuda hareket eden elektronların x yönündeki hız bileşeni v_x olacaktır. Buradan yarıiletken yapıda hızları v_x ile $(v_x + \Delta v_x)$ arasında değişen elektronların yoğunluğu Eş. 2.10' daki gibi ifade edilebilir.

$$dn_x = N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right)^{1/2} dv_x \quad (2.10)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikteki N_d verici atomların yoğunluğu, m_n^* elektronun etkin kütlesi, k Boltzmann sabiti ve T ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır. Eğer yarıiletkene bir gerilim uygulanırsa elektronların yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu, hızları $\frac{1}{2} m_n^* v_x^2 \rangle eV_D$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının e ile çarpımına eşittir. Buradan yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu,

$$\begin{aligned} J_{sm} &= \int_{v_{0x}}^{\infty} e v_x dn_x = \int_{v_{0x}}^{\infty} e N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} v_x \exp \left(- \frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \\ &= e N_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) = e N_d \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{eV_D}{kT} \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilir. Eğer iletkenlik bandının alt kenarı sıfır enerji seviyesi olarak referans alınırsa ($E_c - E_F = E_F$), iletim bandındaki durumların yoğunluğunu;

$$N_c = \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp \left(- \frac{E_F}{kT} \right) \quad \text{ve} \quad N_v = \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp \left(\frac{E_F}{kT} \right) \quad (2.12)$$

eşitliği ile ifade edilir [28]. Bu ifade $e\Phi_{Bn}=E_s-\Phi_m$ ' de yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa eşitlikler

$$J_{sm} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{eV_D + E_F}{kT}\right) \right) \quad (2.13)$$

$$e\Phi_{Bn} = \left(eV_o + \frac{kT}{q} \right) + E_F = V_D + E_F \quad (2.14)$$

elde edilir. Metal tarafında yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre görülen potansiyel engel yüksekliği şeklinde verilir. Bu durumda yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu ifadesi Eş. 2.15' deki gibi olacaktır.

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.15)$$

Burada A^* elektronlar için etkin Richardson sabiti (n-tipi GaAs için $8,16 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$) ve Φ_{Bn} ise metal ile n-tipi yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğidir. Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru ön-gerilim altında engel yüksekliği azalacağı için akım yoğunluğu değeri $\exp(eV/kT)$ çarpanıyla orantılı olarak artar. Böylece yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu;

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (2.16)$$

İfadesiyle verilebilir. Termal denge durumunda, yarıiletkenden metale ve metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunlukları eşit olur yani net akım sıfırdır ve toplam akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_n = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.17)$$

şeklinde olacaktır. Eşitlik 2.17' de verilen köşeli parantez önündeki ifade sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğudur (J_o). Bu ifadeden

yararlanarak metal ile yarıiletken arasındaki potansiyel engel yüksekliğinin değeri doğru ön-gerilim I - V ölçümlerinden Eş. 2.18' den elde edilebilir.

$$\Phi_{Bn} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{A^* T^2}{J_o} \right) \quad (2.18)$$

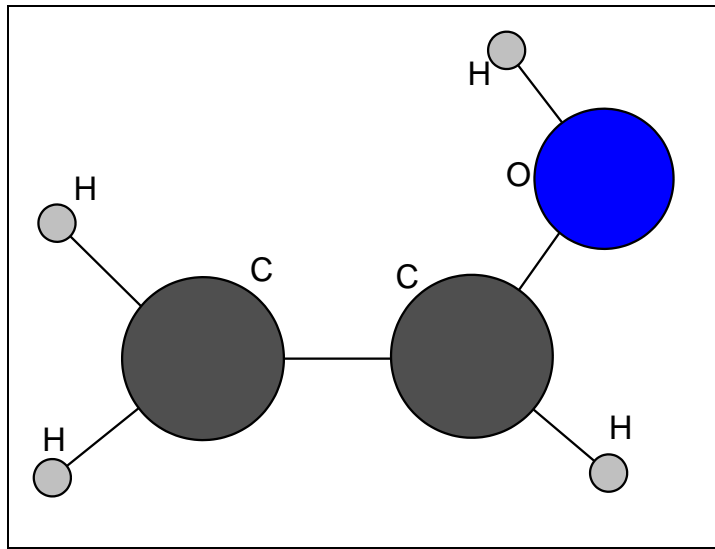
BÖLÜM 3

DENEYSSEL YÖNTEM

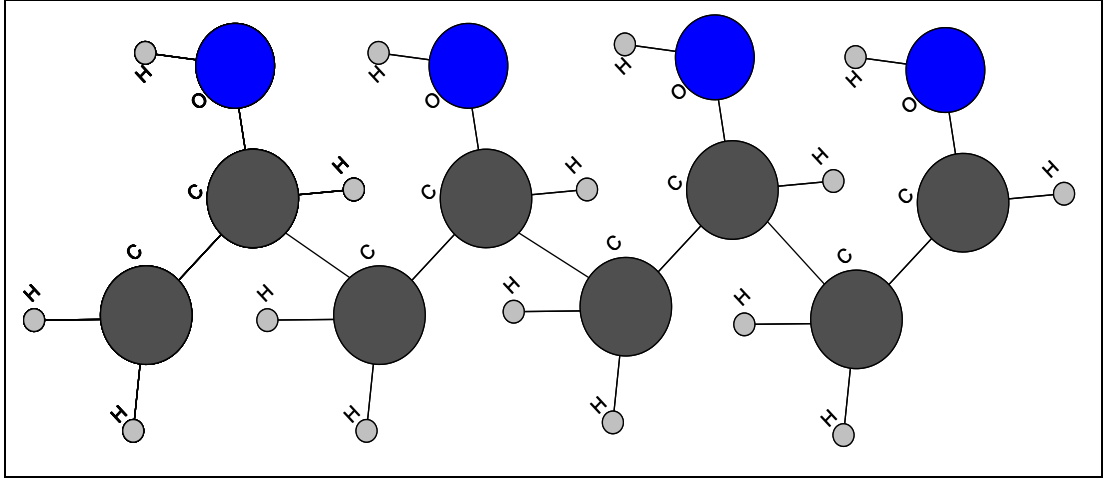
3.1. POLİVİNİL ALKOL (PVA) VE TEMEL ÖZELLİKLERİ

Polivinil alkol (PVA) suda çözünen sentetik reçinelerin içinde en büyük hacime sahip olan polihidroksil polimerdir. Polivinil alkol hidrokarbon çözücülere karşı dayanıklı olan film, tüp ve lif şeklini alabilen, beyazımsı sert bir polimerdir. PVA kelimesi vinil asetat ve vinil alkolün kopolimerleri olan ürünlerin dizilimini tanımlar. PVA ticari olarak polivinil asetatın hidroliz edilmesiyle üretilmekte ve %98' in üzerinde hidroliz edilebilmektedir. Zincirinde hidrofilik gruplar bulunduğu için suda çözünebilen bir polimer maddedir. Suyla karışmayan çözücülere karşı büyük direnç gösterir [29-31].

Vinil alkol ve polivinil alkolün (PVA)'nın kimyasal yapısı Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Vinil alkolün kimyasal yapısı.



Şekil 3.2. Polivinil alkolün kimyasal yapısı.

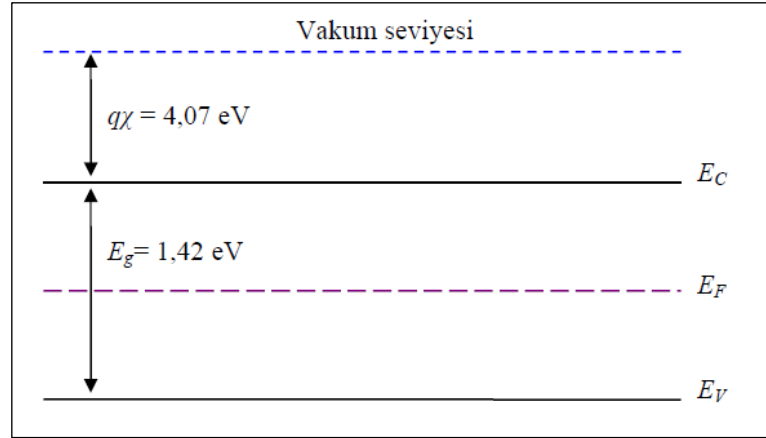
PVA hafif kokuludur ve beyazımsı renkte granüler haldedir. Öz kütlesi 1,19-1,31 gr/dm³ civarındadır. PVA' nın içerisinde bulunan hidroksil grupları moleküller arasında ve molekül içerisinde güçlü hidrojen bağları oluşturur ve bu da sudaki çözünürlüğünü azaltır. Eğer PVA yüksek derecede hidroliz edilirse sudaki çözünürlüğü azalır. Çünkü kısmi hidroliz edilmiş PVA' da bulunan asetat gruplarının varlığı bu hidrojen bağlarını zayıflatır ve düşük sıcaklıklarda çözünürlüğe yol açar. Asetat gruplarının hidrofobik doğası asetat gruplarının sayısı arttıkça artan negatif çözünme ısısına neden olur. Sulu çözeltisi nötral ya da çok az asidik yapıdadır. Erime noktası 200 °C' dir. PVA' nın artan molekül ağırlığına bağlı olarak kristal özellikleri, adezyon kuvvet, mekanik dayanım ve yayılım özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir [29].

3.2. POLİVİNİL ALKOLÜN UYGULAMA ALANLARI

PVA liflerinin nem absorblaması fazla olduğundan tekstil sanayinde, gıda ambalajı yapımında, sulu yapıştırıcıların bileşiminde, vinil asetallerin üretiminde, televizyon tüplerinde fosforesans pigmenterin ve boyaların bağlayıcısı olarak ve polarizlenme merceklerinde kullanılması PVA' nın temel uygulama alanlarından [30]. Ek olarak PVA, metaller, plastikler ve seramiklerin koruyucu kaplama malzemesi olarak da kullanılabilir. Bu sayede malzemenin mekanik ve kimyasal tahribatının azaltılması sağlanmaktadır.

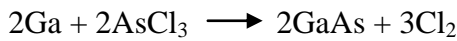
3.3. GaAs KRİSTALİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

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 3.3' de GaAs için enerji-bant diyagramını göstermektedir. Bu şekilde E_C iletkenlik bandının tabanın enerji seviyesi, E_F Fermi enerji seviyesi, E_V valans bandının tavanının enerji seviyesi, $q\chi$ yarıiletkenin elektron ilgisidir (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.

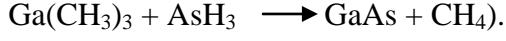


Şekil 3.3. GaAs için enerji-bant diyagramı [31].

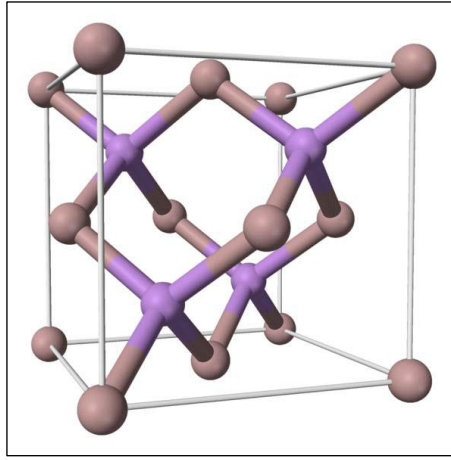
GaAs, değişik tekniklerle kristal yapıda büyütülebilir. Bunlardan birincisi, Bridgman-Stockbarger tekniği olup bu teknikte GaAs, Ga ve As buharı bir ucu soğutucuya bağlı bir tohum kristal üzerinde reaksiyona girecek şekilde bir yatay fırın kullanılarak büyütülür. İkinci teknik LEC (liquid encapsulated 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.



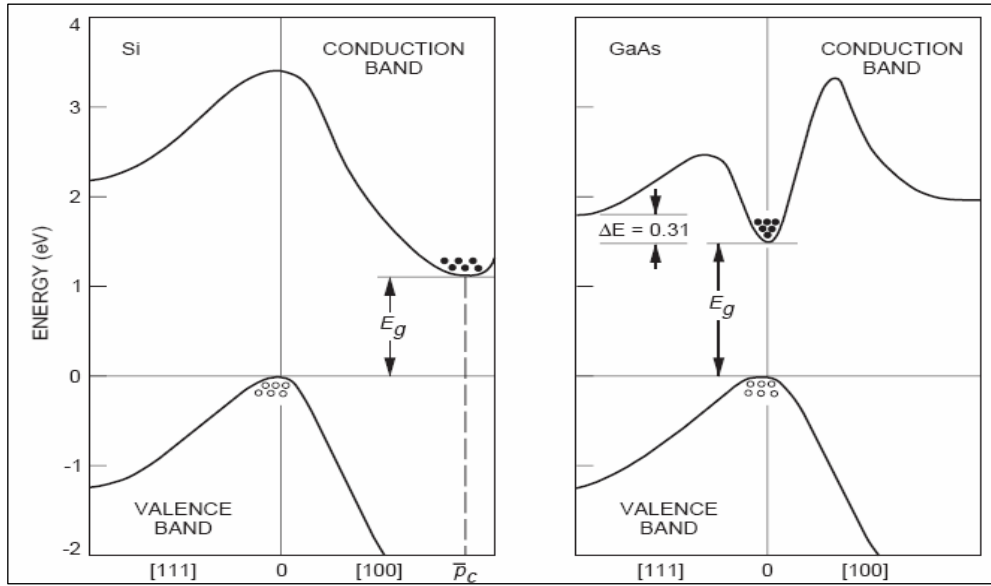
Son olarak MOCVD (Metal-organic chemical vapour deposition) kullanılarak GaAs kristali, trimetilgalyum ve arsenin aşağıda yazılan reaksiyonu sonucunda elde edilir.



Şekil 3.4' de GaAs kristal yapısını göstermektedir. Burada arsenik ve galyum atomlarının elmas kristal örgüdeki yerleşimi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.4. Elmas yapıdaki GaAs'in kristal yapısı. Pembe kürecikler As atomlarını, kahverengi kürecikler Ga atomlarını temsil etmektedir [31].

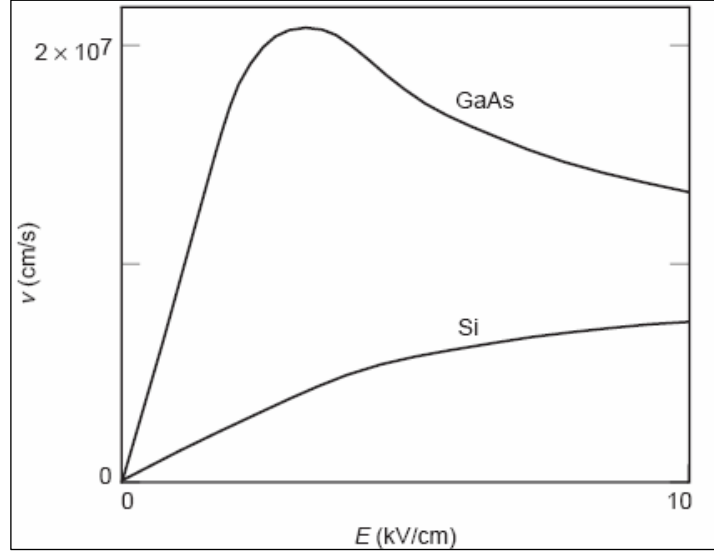


Şekil 3.5. Si ve GaAs için enerji bant yapıları. Boşluklar (○), valans bandındaki pozitif boşlukları, dolu daireler (●) ise iletkenlik bandındaki elektronları temsil etmektedir [1].

Şekil 3.5’ te GaAs için iletkenlik bandının tabanıyla, valans bandının tepesinin aynı k dalga vektörü değerinde olduğunu göstermektedir. Bu, GaAs için valans bandından iletkenlik bandına geçen bir elektron için momentum değişimi olmayacağını gösterir. Bu özelliğinden dolayı GaAs, doğrudan band aralıklı yarıiletken olarak adlandırılır ve optoelektronik devrelerde kullanılabilir. Oysa aynı şekilde, Si için valans bandının tepesi ile iletkenlik bandının tabanının aynı k değerinde olmadığı açıkça görülmektedir. Bu durumda valans bandından iletkenlik bandına doğru olan elektron geçişi esnasında momentum değişimi söz konusu olacaktır. Si bu özelliğinden dolayı doğrudan olmayan bant aralıklı yarıiletken sınıfına girer ve bundan dolayı optik uygulamalarda kullanılamaz.

Silisyumun, doğada bol miktarda bulunması, kolay işlenmesi ve fiziğinin iyi anlaşılması olmasından dolayı yarıiletken teknolojisinde genişçe kullanılan bir malzeme olduğu aşikârdır. Silisyumun bu baskın özelliklerinden dolayı, GaAs bu zaman diliminde askeri ve ticari alanlar dahil önemsenmeyecek derecede az ilgi uyandırmıştır. Ancak, mikrodalga frekanslarında çalışan yarıiletken devre elemanları için artan taleple birlikte GaAs’ yi işlemenin ortaya çıkması, GaAs’ yi yarıiletken pazarında silisyum teknolojisiyle yarışır hale getirdi.

GaAs’ in silisyuma karşı avantajlarından birincisi yüksek elektron mobilitesine sahip olmasıdır. Bu özellik GaAs’ in mikrodalga frekanslarda çalışmasını sağlayan en önemli nedendir. Çünkü mobilite, taşıyıcı hareketliliğiyle ilgili bir parametre olup yük taşıyıcısının (elektron veya boşluk) uygulanan elektrik alandan ne kadar çok etkilendiğini gösteren bir niceliktir. Bundan dolayı taşıyıcı hızının elektrik alana karşı grafiği bize taşıyıcı mobilitesi hakkında bilgi verir. Şekil 3.6’ da Si ve GaAs için uygulanan elektrik alanın fonksiyonu olarak taşıyıcı hızlarının değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi GaAs için maksimum nokta ele alındığında GaAs’ in elektron mobilitesinin silisyum’ un kinden yaklaşık 6 kattan daha yüksek olduğu açıkça görülebilir. Yapılan çalışmalar GaAs dijital devre elemanlarının Silisyumdan yapılanlara göre 2 ile 5 kat arasında daha hızlı çalıştığını ve daha düşük güç kaybı gösterdiğini bildirmektedir.



Şekil 3.6. Elektrik alanın fonksiyonu olarak Si ve GaAs için taşıyıcı hızlarının değişimi [31].

GaAs sadece hız avantajı değil aynı zamanda yarı-yalıtkan taban malzeme olarak üretilme özelliğinden dolayı yarıiletken endüstrisinde yaygın bir kullanıma sahip oldu. Yarı-yalıtkan özelliği devre elemanları arasında yalıtım görevi göreceğinden, düşük elektronik gürültüye ve eksiksiz bir tümleşik devre üretimine yol açar. Bunlara ilave olarak GaAs, Silisyuma göre daha büyük bir yasak enerji aralığına sahip olduğu için özdirenci daha büyüktür. Bu durum, kısa azınlık taşıyıcı hayat süresine sahip olması ile de birleştirilirse GaAs' ın radyasyona karşı dayanıklı bir malzeme olmasını sağlar.

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 kullanılabilir. Hızlı çalıştığı ve daha düşük güç kaybı gösterdiğini bildirmektedir. GaAs için iletkenlik bandının tabanıyla, valans bandının tepesinin aynı k dalga vektörü değerinde olduğundan GaAs için valans bandından iletkenlik bandına geçen bir elektron için momentum değişimi olmayacaktır. Yani GaAs, doğrudan band aralıklı yarıiletken olduğundan opto-elektronik devrelerde kullanılabilir. Çizelge 3.1' de GaAs' ın özellikleri görülmektedir.

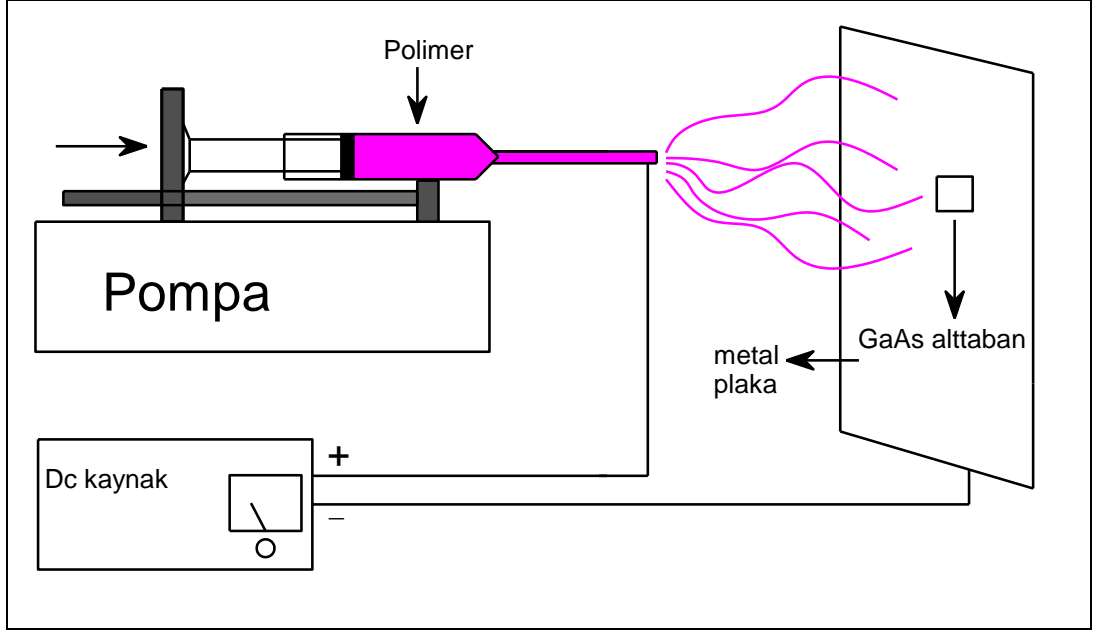
Çizelge 3.1. GaAs' nin oda sıcaklığındaki özellikleri.

Özellik	GaAs
Erime noktası ($^{\circ}\text{C}$)	1238
Yasak enerji aralığı (E_g, eV)	1,43
Enerji aralığı tipi	Direkt
Elektron mobilitesi (cm^2/Vs)	8000
Boşluk mobilitesi (cm^2/Vs)	400
Elektron etkin kütlesi (m_o)	0,067
Boşluk etkin kütlesi (m_o)	0,48
Asal taşıyıcı konsantrasyonu (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 (ϵ_0)	13,1
Erime noktasındaki buhar basıncı (Torr)	740
Maksimum işlem sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	400

3.4. ELEKTROSPİNNİNG METODU İLE PVA HAZIRLANMASI

Nanofiber polimer ince filmler MIS diyotlarda yaygın şekilde kullanıldığı için diyotun elektriksel özelliklerinin ölçülmesine duyulan ihtiyaç giderek önem kazanmaktadır. Polimer bileşik ince filmlerin uygulamalarından biri Schottky engel diyotlardır. Polimer esaslı nanofiblerin üretimi için en verimli yöntemlerden biri de elektrospinning yöntemidir. Elektrospinning metodu için gerekli deney düzeneği Şekil 3.7' de gösterildiği gibi temel olarak üç ana parçadan oluşmaktadır [32,33].

1. Yüksek voltaj güç kaynağı,
2. Besleme ünitesi (şırınga, metal iğne v.b.),
3. Toplayıcı (metal plaka, döner silindir v.b.).



Şekil 3.7. Elektrosinning düzeneği ve mekanizması.

Bu teknikte, polimer uygun bir çözücünde çözülür veya ısı uygulanarak eritilmesi sağlanır, ucunda küçük bir delik bulunan cam şırınganın içine yerleştirilir. Daha sonra polimer çözeltisi/eriği ile pipetin açık ucunun karşısındaki bir toplayıcı levha arasına 50 kV gerilim uygulanır. Toplayıcı levhada oluşan yüzeye çapları 30 nm ile 1 μm değerlerinde değişen lifler bulunmasına rağmen, bu işlem çapı 50 nm boyutunda nanoliflerin üretimine imkân sağlar [32].

Electrospinning metodu kısaca yüksek elektrik alana bırakılan polimer çözeltisinin veya eriğinin benzer yükler ile yüklenerek ayrışma ve incelik, çok ince fibril yapılar oluşturması şeklinde açıklanabilir. Bu yöntemi kısaca anlatmak isterse;

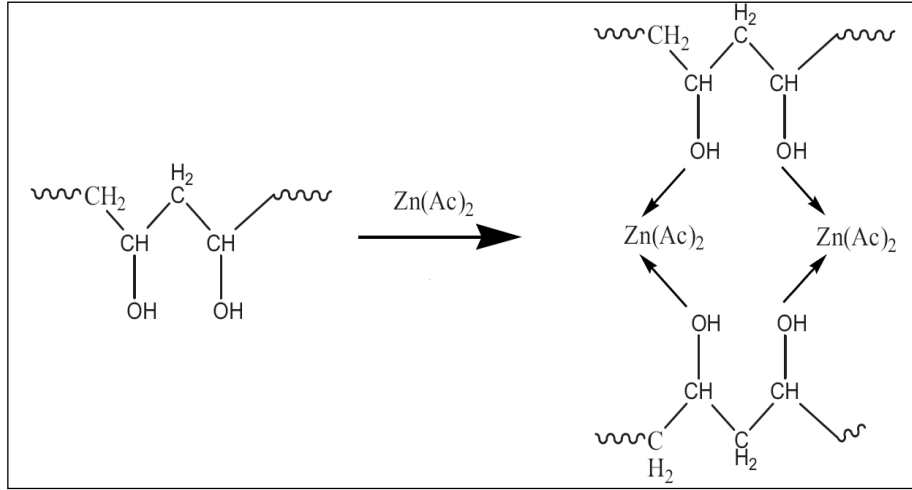
1. Polimer çözeltisi veya eriği cam şırınga içerisine konulur ve bu şırıngadan belirli mesafe uzağa örneğin kaplanacağı toplayıcı-metal bir plaka konulur.
2. Gerilim sağlayacak olan güç kaynağının artı kutbu cam şırınganın metal olan ucuna bağlanır, toplayıcı plaka ise toprağa bağlanır.
3. Bu sayede cam şırınga ve toplayıcı metal plaka arasında yüksek elektrik alan uygulanmış olur.

4. Güç kaynağı tarafından sağlanan yüksek gerilim değeri arttırıldığında, yeterince yüksek değere gelen elektrik alan kuvveti çözelti üzerindeki visko- elastik ve yüzey gerilimi kuvvetlerini geçmeye başlayacaktır devamında polimer molekülleri şırıngadan toplayıcıya doğru fırlamaya başlar.
5. Bu işlemler sonucunda toplayıcı metal plaka üzerine nano boyutta çaplara sahip lifler oluşturulması sağlanır.

Elektrospinning metoduyla kaplama yapmadan önce n-tipi GaAs alttaşın temizlenmesi gerekmektedir. Her ne kadar alttaş temiz ortamda büyütülüp saklansa da çevredeki organik ve inorganik kirlilikler alttaşı kirletip, üretmekte olduğumuz aygıtın karakteristiklerini bozacaktır. Organik kirlilikleri temizlemek için alttaş kimyasal temizleme işlemine tabi tutulur, temizleme işlemi sırasıyla aşağıdaki aşamalar ile yapılır;

1. Trikloretilende ultrasonik olarak 5 dakika yıkama işlemine tabi tutulur.
2. Asetonda ultrasonik olarak 5 dakika süreyle yıkanır.
3. Metanolda ultrasonik olarak 5 dakika yıkanır.
4. Deiyonize su ile yıkanır.
5. $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$ (5:1:1) çözeltisinde iyice yıkanır.
6. Deiyonize su içersinde iyice yıkanır.
7. Son olarak azot gazı (N_2) ile kurutulur.

Çinko asetat [$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$] katkılanmış polivinil alkolün (PVA) kimyasal yapısı Şekil 3.8' de verilmiştir.

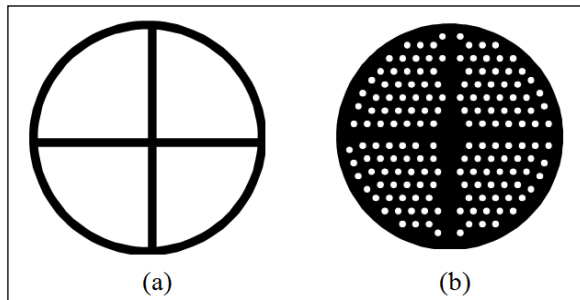


Şekil 3.8. Zn-katkılı PVA' nın kimyasal yapısı.

3.5. Au/PVA/n-GaAs MPS YAPININ HAZIRLANMASI

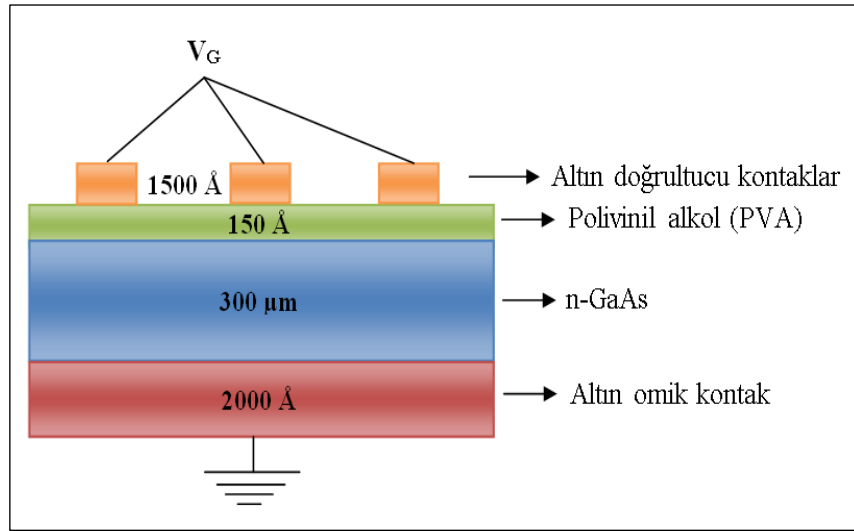
Omik kontakçı oluşturmak için, kimyasal olarak iyice temizlenen yarıiletken mat yüzeyi aşağı gelecek şekilde maske üstüne yerleştirildi. Omik kontakların oluşturmak için Şekil 3.9.a' da çizilmiş olan maske kullanıldı. Vakum sistemi aracılığıyla elde edilen $\sim 10^{-6}$ Torr basınç altında üzerinden akım geçirilerek yüksek sıcaklığa getirilen tungsten flaman yardımı ile oldukça saf altın (Au) ($\sim 99,999\%$) buharlaştırılarak GaAs alttaşın arka yüzeyine Au tabakası oluşturulmuştur. Buharlaştırma işlemi ile elde edilen arka kontakın, GaAs alttaşın üzerine çöktürülmesi ile omik kontak elde edilmiş oldu.

Omik kontak oluşturulduktan sonra GaAs alttaşın ön yüzeyine electrospinning metodu kullanılarak PVA arayüzey tabakası oluşturulmuştur.



Şekil 3.9. Maskeler, a) Omik, b) doğrultucu kontak oluşturmak için kullanılan maskeler.

Üzeri PVA ile kaplanmış yüzey, üzeri çok sayıda 1 mm çapında delikler açılmış olan Şekil 3.9.b’ de gösterilmiş olan bakır maske üzerine parlak yüzey aşağıda olacak şekilde yerleştirildi. Üzerine gerilim uygulanarak ısıtılan Flaman üzerine konulan kimyasal olarak temizlenen yüksek saflıktaki altın (Au) metal parçası $\approx 10^{-6}$ Torr vakum altında buharlaştırılarak, kristalin parlak yüzeyine küçük dairecikler (1 mm çaplı) şeklinde Au ile kaplanması sağlandı. Bu sayede doğrultucu kontakın da oluşturulmasıyla Au/PVA/n-GaAs şeklinde MPS yapı elde edilmiş oldu. Soğuması için bir süre bekletildikten sonra kristal vakum ortamından alınarak her bir dairecik (diyot) ortada kalacak şekilde, elmas kesici yardımıyla eşit dört parçaya kesilmiştir. Hazırlanan MPS yapı Şekil 3.10’ da gösterilmektedir.

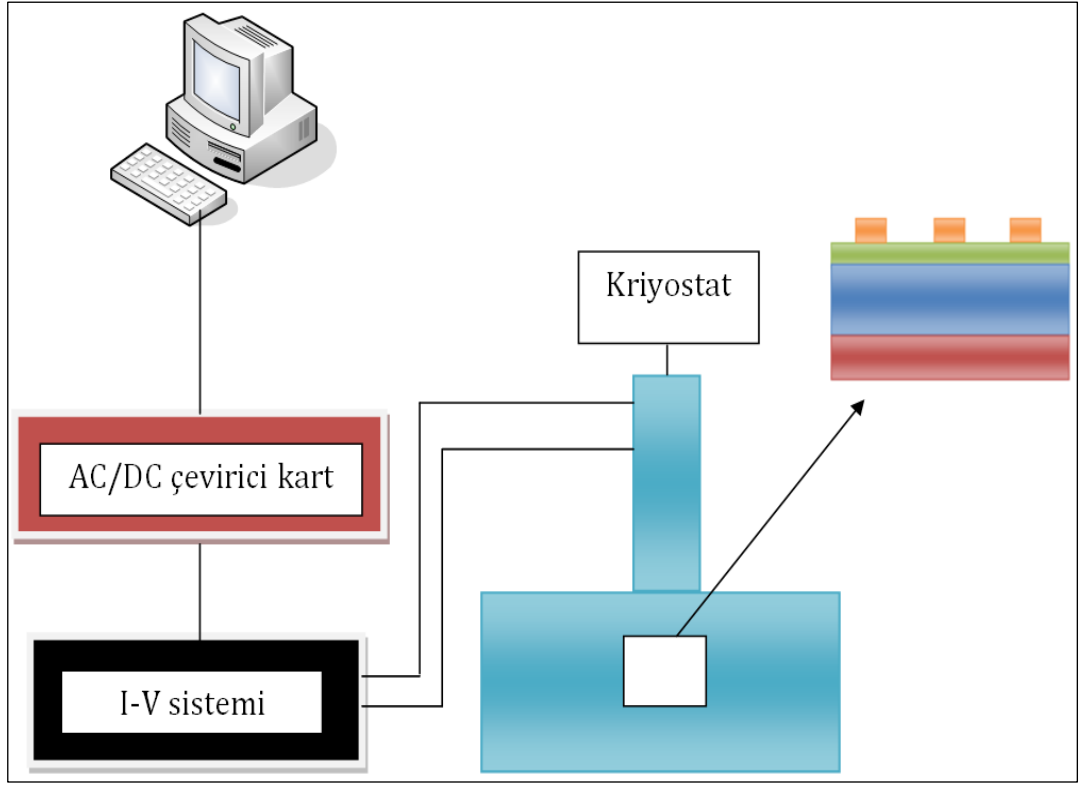


Şekil 3.10. Au/PVA/n-GaAs (MPS) yapının şematik gösterimi.

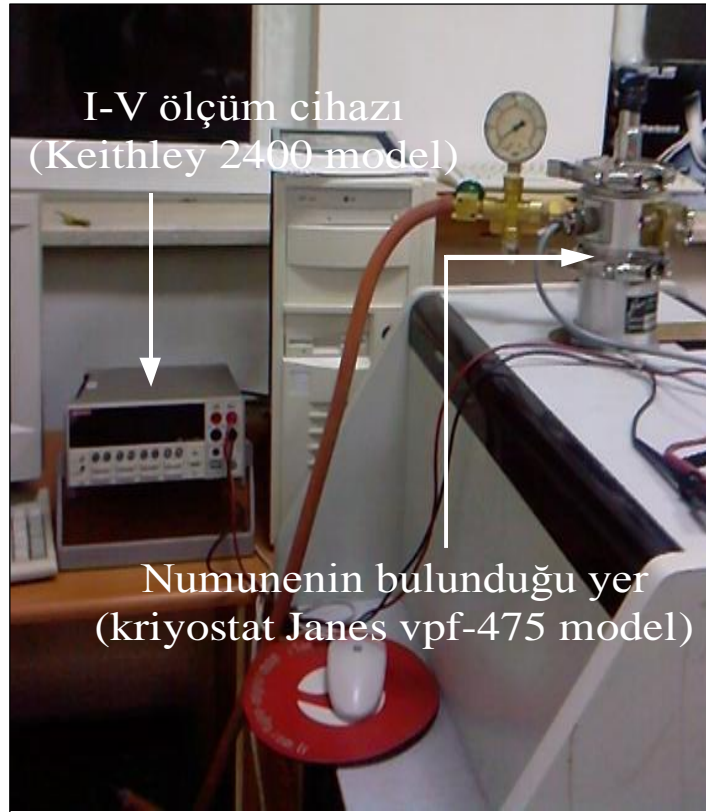
3.6. DENEYSEL ÖLÇÜM SİSTEMİ

Elektriksel karakteristikler için gerekli ölçümlerin tamamı Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Yarıiletken (Starlab) Laboratuvarında gerçekleştirildi. Deneysel ölçüm sisteminin şematik ve fotoğrafik görüntüsü sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’ de sırasıyla verildi. Bu deney sisteminde kullanılan cihazlar aşağıdaki gibidir.

1. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı
2. Janis vpf-475 kriyostat



Şekil 3.11. Deneysel ölçüm sisteminin şematik görünümü.



Şekil 3.12. Deneysel ölçüm sisteminin fotoğrafik görünümü.

3.6.1. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı

Akım-voltaj değerlerini yüksek doğrulukta ölçmek için Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı kullanıldı. Şekil 3.13' de gösterilmiş olan Keithley 2400 model akım-gerilim ölçüm cihazı, hem akım kaynaklı gerilim ölçümü, hem de gerilim kaynaklı akım ölçümü yapabilme özelliğine sahiptir. $\pm 1 \mu\text{V}$ ' dan $\pm 200 \text{ V}$ ' a gerilim ölçümü ve $\pm 10 \text{ pA}$ ' den $\pm 1 \text{ A}$ ' e kadar akım ölçümü yapabilmektedir. $\pm \% 0.15$ gibi yüksek hassasiyetle ölçüm yapabilen cihaz IEEE-488 arayüzey kablolarına sahiptir.



Şekil 3.13. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı.

3.6.2. Janis vpf-475 kriyostat

Dış etkenlerin alınacak ölçüm değerleri üzerindeki etkisini minimum değere indirmek için hazırlanan Schottky engel diyotların I - V ölçümleri 4 optik pencerele bir Janis vpf-475 kriyostat içerisinde yaklaşık olarak 10^{-2} mbar basınçta gerçekleştirilmiştir. Bu kriyostat, Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol ünitesine sahip olup, 79 K ile 425 K sıcaklık değerlerinde ölçüm yapabilme kapasitesindedir. Şekil 3.14' de Janis vpf-475 kriyostatın fotoğrafik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.14. Janis vpf-475 kriyostat.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, birçok Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs Schottky engel diyotları (SBDs) hazırlandı ve bunların elektriksel karakteristikleri benzer davranış gösterdiği için seçilen örnek diyot için akım-voltaj (I - V) ölçümleri oda sıcaklığında ölçüldü ve ilgili grafikler ve çizelgeler elde edildi. I - V ölçümleri, ± 2 V arasında 50 mV' luk adımlarla oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Deneysel I - V ölçümlerinden I_o , Φ_{Bo} , n ve R_s gibi temel diyot parametreleri elde edildi. Ayrıca metal ile yarıiletken arasında büyütülen PVA tabakanın ve seri direncin bu temel elektriksel parametreler üzerine etkisi araştırıldı.

4.2. AKIM-VOLTAJ (I - V) ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Seçilen örnek Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs SBDs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs diyotları doğru ve ters ön-gerilimlerdeki yarı-logaritmik akım-voltaj (I - V) ölçümleri oda sıcaklığında elde edilerek Şekil 4.1' de verildi. İdealite faktörünün 1' den büyük ve seri direncin (R_s) mevcut olması durumunda bir MS veya MIS tipi Schottky engel diyotu için akım-voltaj ilişkisi, $V \geq 3kT/q$ için, aşağıdaki şekilde verilir [1].

$$I = I_{o1} \left\{ \exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{n_1 kT} \right) - 1 \right\} + I_{o2} \left\{ \exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{n_2 kT} \right) - 1 \right\} + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} \quad (4.1)$$

Burada V diyot üzerine uygulanan gerilim, n_1 ve n_2 idealite faktörleri, k Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık, R_{sh} kısa devre direncini ve IR_s terimi ise diyotun seri direnci üzerine düşen voltajdır. Ancak düşük ve orta gerilim bölgelerinde IR_s terimi diyota uygulanan voltaj yanında ihmal edilecek kadar küçüktür. Eş. 4.1' deki

köşeli parantez önündeki I_{o1} ve I_{o2} terimleri ise ters doyum akımı olup

$$I_{o1} = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bo1}}{kT}\right) \quad \text{ve} \quad I_{o2} = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bo2}}{kT}\right) \quad (4.2)$$

eşitliği ile verilir. Burada Φ_{Bo1} ve Φ_{Bo2} metal ile yarıiletken arasında oluşan sıfır-beslem (ön-gerilim) potansiyel engel yüksekliği, A diyotun doğrultucu kontak alanı olup değeri $A=7.85 \times 10^{-3}$ cm ve A^* etkin Richardson sabiti olup değeri n-tipi GaAs için $8.16 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ dir [34,35]. Buna göre Eş. (4.2), Eş. (4.1)' de yerine yazılırsa ve R_s etkisi ihmal edildiğinde Eş. 2.1

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bo1}}{kT}\right) \left(\exp\left(\frac{qV_D}{n_1kT}\right) - 1 \right) + AA^*T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bo2}}{kT}\right) \left(\exp\left(\frac{qV_D}{n_2kT}\right) - 1 \right) + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} \quad (4.3)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Burada $V_D (=V-IR_s)$ diyot üzerine düşen voltajdır. Orta ve yüksek sıcaklıklarda köşeli parantez içindeki 1 rakamı üstel ifade yanında ihmal edilebilir. Saf TE teorisine göre idealite faktörünün 1 olması beklenir. Ancak pratikte durum farklıdır. Yani n değeri özellikle düşük sıcaklıklarda 1' den birkaç kat fazla olabilir. İdealite faktörünün değeri, metal ile yarıiletken arasında oluşan bir yalıtkan veya polimer arayüzey tabaka ile potansiyel engel yüksekliğinin biçimi ve homojensizliği, yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss}), Schottky engel alçalmasına ve numune sıcaklığına bağlıdır [1]. Eğer yapı, yarıiletkenin gövde direnci, yalıtkan arayüzey tabakası ve kontaklardan dolayı bir seri dirence sahip ise diyot üzerine düşen voltaj,

$$V_D = V - IR_s \quad (4.4)$$

şeklinde olacaktır. Schottky diyotlarda $\ln(I)$ - V grafiği, genelde lineer bir doğru olması beklenir [36]. Ancak deneysel sonuçlar göstermiştir ki yüksek voltajlarda ($V \geq 1$ V) $\ln(I)$ - V eğrisi özellikle seri direnç ve arayüzey tabakasından dolayı

lineerlikten sapar. Yüksek gerilim bölgesinde grafiğin doğrusallıktan sapması veya çok dar bir bölgede lineerlik göstermesi elde edilen elektriksel parametrelerin doğruluğu ve güvenilirliğine bozmaktadır. Ancak bilindiği gibi yarıiletken aygıtların gerçek direnci mümkün olduğu kadar ileri pozitif voltajlar için elde edilen değerdir. Bu yüzden diyotun seri direncinin bu bölgede hesaplanmasında fayda vardır.

Schottky diyotlarda, doğru ön-gerilim $\ln(I)$ - V eğrileri üç farklı bölgeye ayrılır. Bunlar sırasıyla düşük gerilim ($V \leq 0.1$ V) bölgesi, orta gerilim ($0.1 < V < 0.8$ V) bölgesi ve yüksek gerilim ($V > 0.8$ V) bölgesidir. Düşük gerilim bölgesinde kaçak akımlar etkin olup lineer bir davranış gözlenmez. Yukarıda belirtildiği gibi yüksek gerilim bölgesinde ise $\ln(I)$ - V eğrisinde R_s ' den dolayı bir bükülme meydana gelir. Orta gerilim bölgesinde $\ln(I)$ - V eğrisi genelde lineer bir davranış gösterdiği için, Eş. 4.1 ifadesinde her iki tarafın \ln ' i alınır Eş. 4.5' de verilen bir doğru denklemi elde edilir.

$$\ln(I) = \ln(I_o) + \frac{q}{nkT} V_D \quad (4.5)$$

Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için oda sıcaklığında doğru ve ters ön-gerilim yarı-logaritmik I - V eğrileri ve doğru ön-gerilimde $\ln(I)$ - V eğrileri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' de verildi. Şekilden de görüldüğü gibi her iki numune için yarı logaritmik I - V eğrileri farklı eğimli iki lineer bölgeye sahiptir. Bu bölgelerden ilki düşük voltaj bölgesine ikincisi ise orta voltaj bölgesine karşılık gelmektedir. Bu durum ikili paralel diyot modeli veya çift Gaussian engel modeli ile açıklanabilir. Yani burada birinci bölge düşük engel yüksekliğine ikinci bölge ise yüksek engel yüksekliğine karşılık gelmektedir.

Normalde PVA zayıf bir iletken olmasına rağmen metallere özellikle geçiş elementleriyle katkılандığında, onların polimerik sistemde birleşmesi sonucu iletkenlik özelliğini büyük ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Şekil 4.1' den de görüldüğü gibi PVA' ya metal (Zn) katkısı diyotu iyileştirmiştir. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs Schottky diyotunun doğrultma oranı (I_F/I_R) 10^7 iken Au/PVA/n-GaAs Schottky

diyotunun yaklaşık 10^5 tir. Ayrıca Zn katkıladığımız diyotun seri direnç değeri katkısız olana göre daha düşüktür. PVA' ya metal (Zn) katkılanması iletkenliği artırmıştır.

Şekil. 4.2' den görüldüğü gibi her iki diyotta iki lineer bölge davranışı sergilemektedir. Bu lineer bölgelerin eğiminden ($\tan\theta=q/nkT$) diyotların idealite faktörü değerleri Eş. 2.6 eşitliğinden elde edilerek Çizelge 4.1' de verildi.

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (4.6)$$

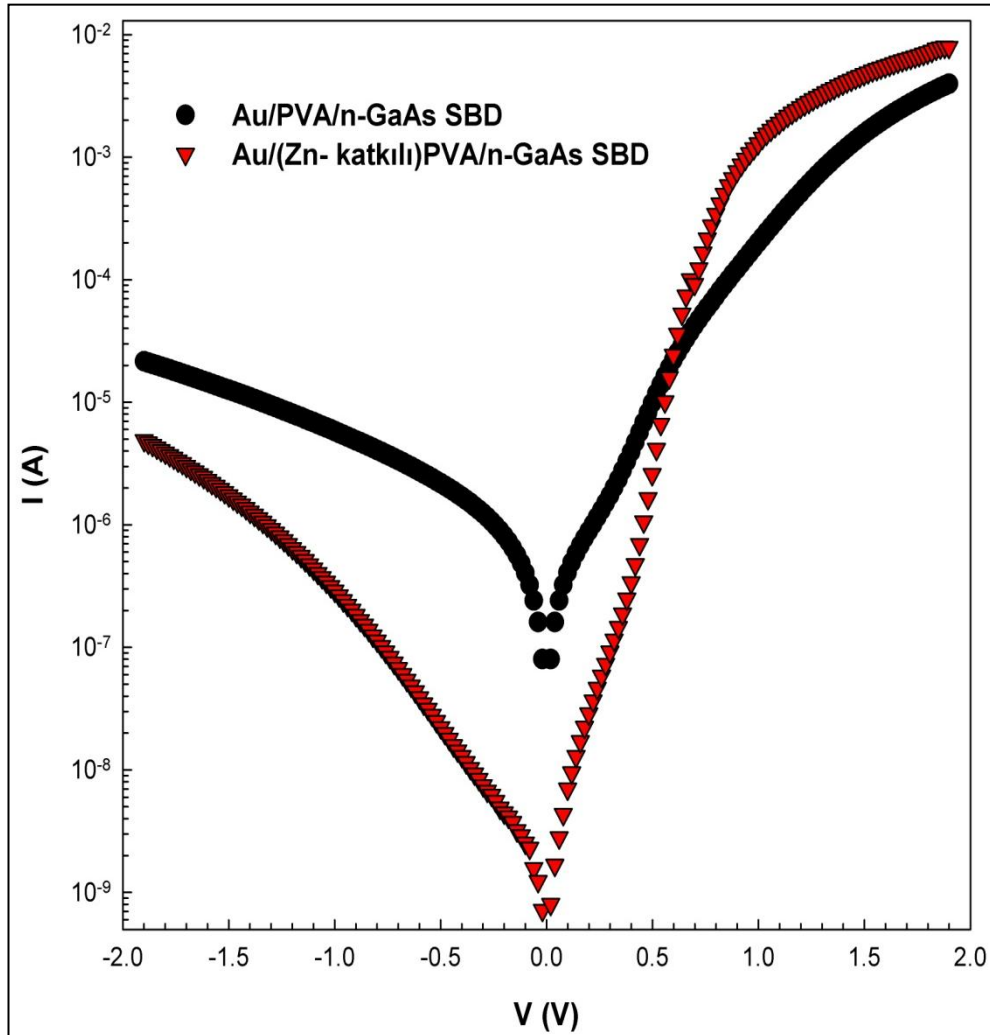
I_o doyma akımı değerleri ise yine $\ln(I)-V$ grafiğinin lineer bölgesinin sıfır voltaja extrapole edilmesiyle elde edildi. Elde edilen I_o değerleri ile diyotun doğrultucu kontak alanı (A) ve etkin Richardson sabiti (A^*) değerleri kullanılarak sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}) değerleri Eş. 4.7' den elde edildi ve Çizelge 4.1' de verildi.

$$\Phi_{Bo} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_o}\right) \quad (4.7)$$

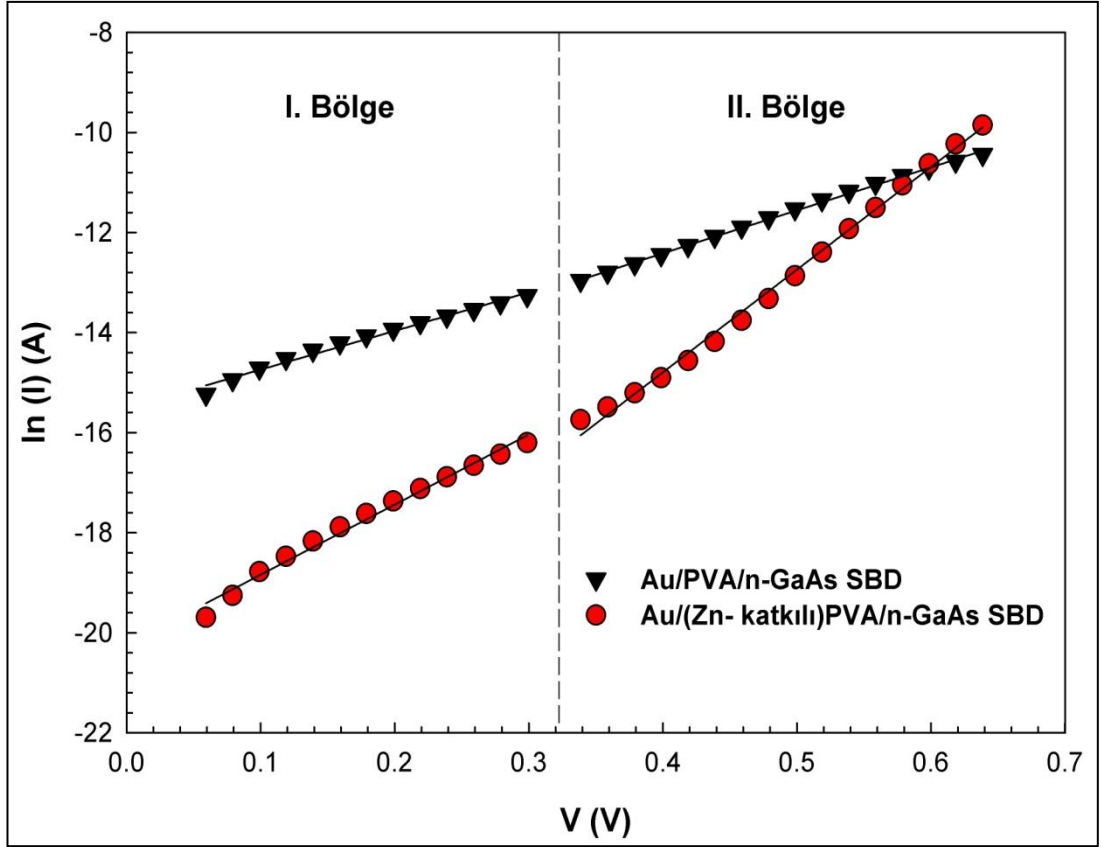
Çizelge 4.1' den de görüldüğü gibi her iki Schottky diyot içinde düşük voltaj bölgesinden (I. Bölge) elde edilen potansiyel engel yüksekliği değeri yüksek voltaj bölgesindekinden (II. Bölge) daha düşüktür. Elde edilen bu deneysel sonuç birinci bölge düşük engel yüksekliğine ikinci bölge ise yüksek engel yüksekliğine karşılık geldiğini göstermektedir. I. Bölgeden elde edilen idealite faktör değeri II. Bölgedekinden daha yüksektir. PVA' ya katkılanmış metalin idealite faktörünü düşürdüğü gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBDs için oda sıcaklığında elde edilen I_0 , n ve Φ_{Bo} değerleri.

	Au/PVA/n-GaAs SBD	Au/PVA (Zn-katkılı)/n-GaAs SBD
I_{01} (A)	1.83×10^{-7}	1.62×10^{-9}
I_{02} (A)	1.30×10^{-7}	1.02×10^{-10}
n_1	4.998	2.758
n_2	4.496	1.883
Φ_{Bo1} (eV)	0.626	0.748
Φ_{Bo2} (eV)	0.634	0.820

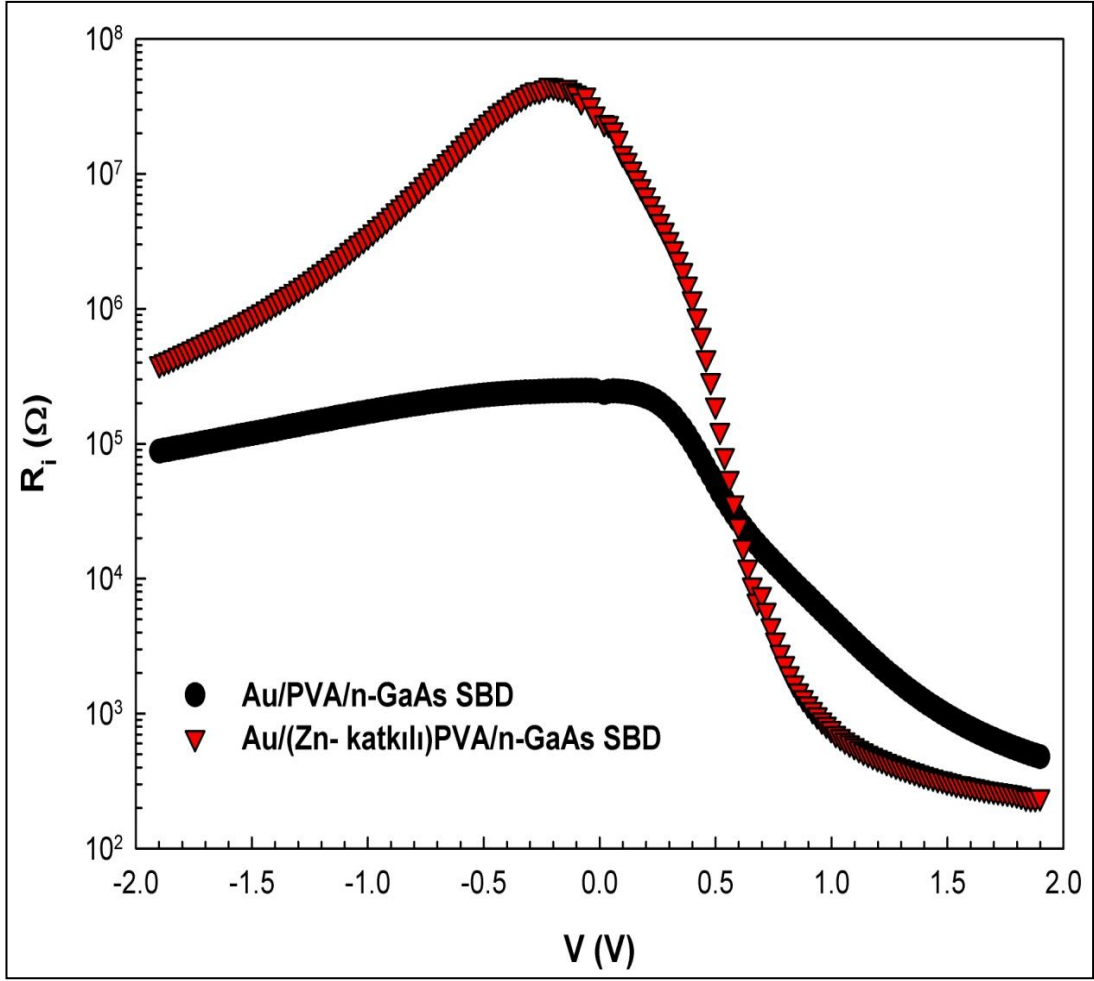


Şekil 4.1. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için yarı-logaritmik I-V eğrileri.



Şekil 4.2. Au/(Zn-katkılı)PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için $\ln(I)$ -V eğrileri.

Hazırlanan Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs Schottky engel diyotlarda yapının direncinin (R_i) voltaj ile nasıl değiştiğini göstermek amacıyla R_i değerleri oda sıcaklığında ± 2 V aralığında 50 mV'luk adımlarla Ohm yasasından hesaplandı ve Şekil 4.3' de verildi. Şekilden de görüldüğü gibi R_i değerleri voltaja bağlı olarak oldukça değişmektedir. Şekil 4.2' de yüksek pozitif ön-gerilimler için elde edilen R_i değerleri diyotun seri direncine (R_s) karşılık gelirken, yüksek negatif ön-gerilimler için elde edilen R_i değerleri ise diyotun kısa devre direncine (R_{sh}) karşılık gelmektedir.



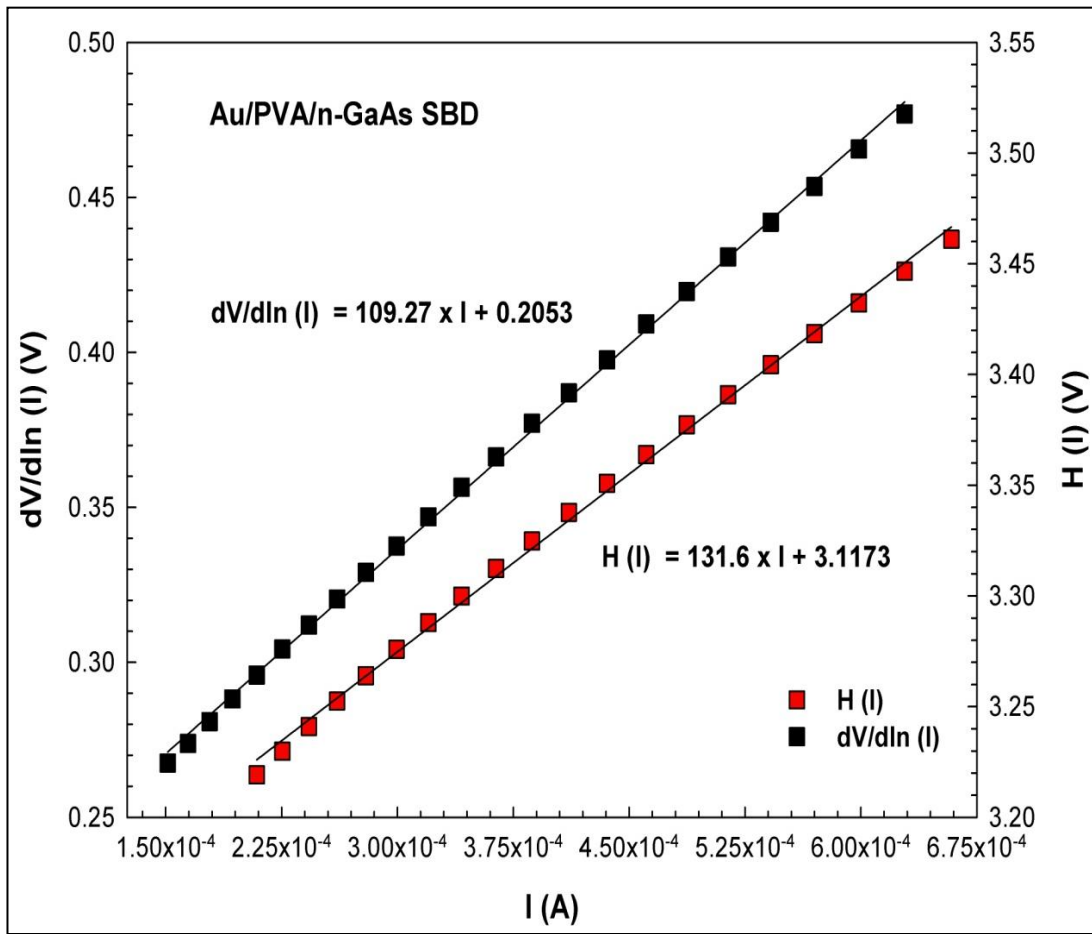
Şekil 4.3. Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için R_d -V eğrileri.

Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs Schottky engel diyotları için R_s değerleri oda sıcaklığında Cheung fonksiyonları kullanılarak Eş. 4.9.a ve Eş. 4.9.b yardımı ile hesaplandı [37]. Bu metoda göre, seri direnç doğru ön-gerilim I - V eğrilerinin tam bükülmeye başladığı ileri pozitif ön-gerilimlerde etkilidir.

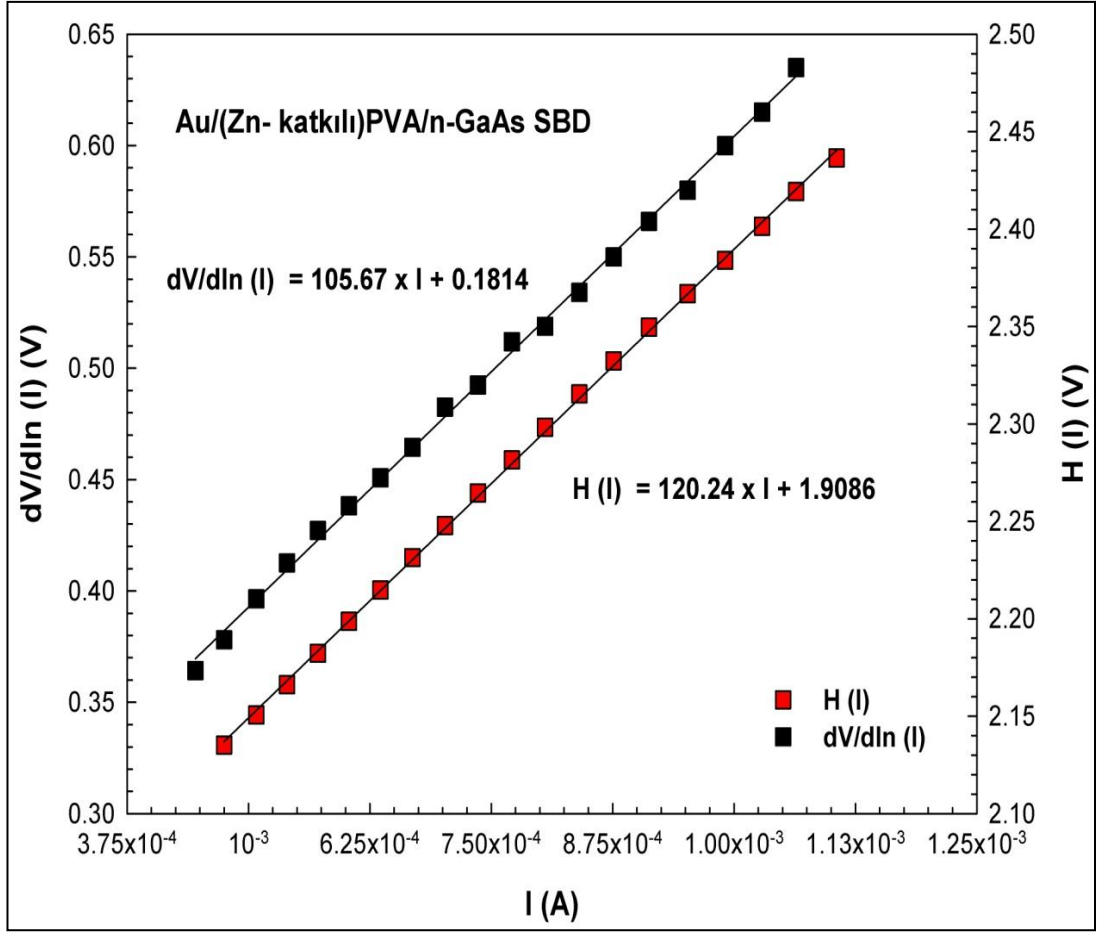
$$\frac{dV}{d \ln(I)} = n \frac{kT}{q} + R_s I \quad (4.9)$$

$$H(I) = V - n \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^* T^2}\right) = n\Phi_B + R_s I \quad (4.10)$$

Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBDs' nin $dV/d\ln(I)$ - I ve $H(I)$ - I eğrileri sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' de verildi. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5' den de görüldüğü gibi hem $dV/d\ln(I)$ - I hem de $H(I)$ - I eğrileri lineer bir doğru vermektedir. Bu doğruların eğiminden elde edilen R_s değerleri Çizelge 4.2' de verilmiştir. Au/PVA (Zn-katkılı)/n-GaAs SBD için Cheung fonksiyonlarından elde edilen R_s değerleri, Au/PVA/n-GaAs SBD için elde edilen R_s değerlerinden daha küçük çıkmıştır. Elde edilen bu sonuç PVA' ya katkılanan çinkonun (Zn) Schottky diyotun iletkenliğini ($R=1/G$) artırdığını gösterdi.



Şekil 4.4. Au/ PVA/n-GaAs SBD için $dV/d\ln(I)$ - I ve $H(I)$ - I eğrileri.



Şekil 4.5. Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBD için $dV/d\ln(I)$ - I ve $H(I)$ - I eğrileri.

Çizelge 4.2. Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBDs için oda sıcaklığında elde edilen seri direnç değerleri.

	R_s (dV/dln (I) (Ω))	R_s (H (I) (Ω))
Au/PVA/n-GaAs SBD	109.27	131.60
Au/PVA (Zn-katkılı)/n-GaAs SBD	105.67	120.24

Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBDs için R_s değerlerini bulmanın başka bir yolu ise Norde fonksiyonunu kullanmaktadır. Yüksek seri direnç ve idealite faktörüne sahip Schottky diyotlarında Bohlin tarafından modifiye edilmiş Norde fonksiyonu olan [38],

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (4.10)$$

($n < \gamma$ keyfi bir değer) eşitliğinden $F(V)$ - V grafiği Şekil 4.6' da verildi. Bu eşitlik, seri dirençten dolayı $dF(V)/dV=0$ Őartından bir minimumdan (F_m) geçmektedir. Bu noktaya karşılık gelen voltaj (V_m) ve akım (I_m) noktalarının değerleri ve ayrıca I - V grafiğinin (Şekil. 4.1) eğiminden hesaplanan n değeri kullanılarak,

$$R_s = \frac{(\gamma - n)kT}{qI_m} \quad (4.11)$$

$$\Phi_B = F(V_m) + \frac{V_m}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.12)$$

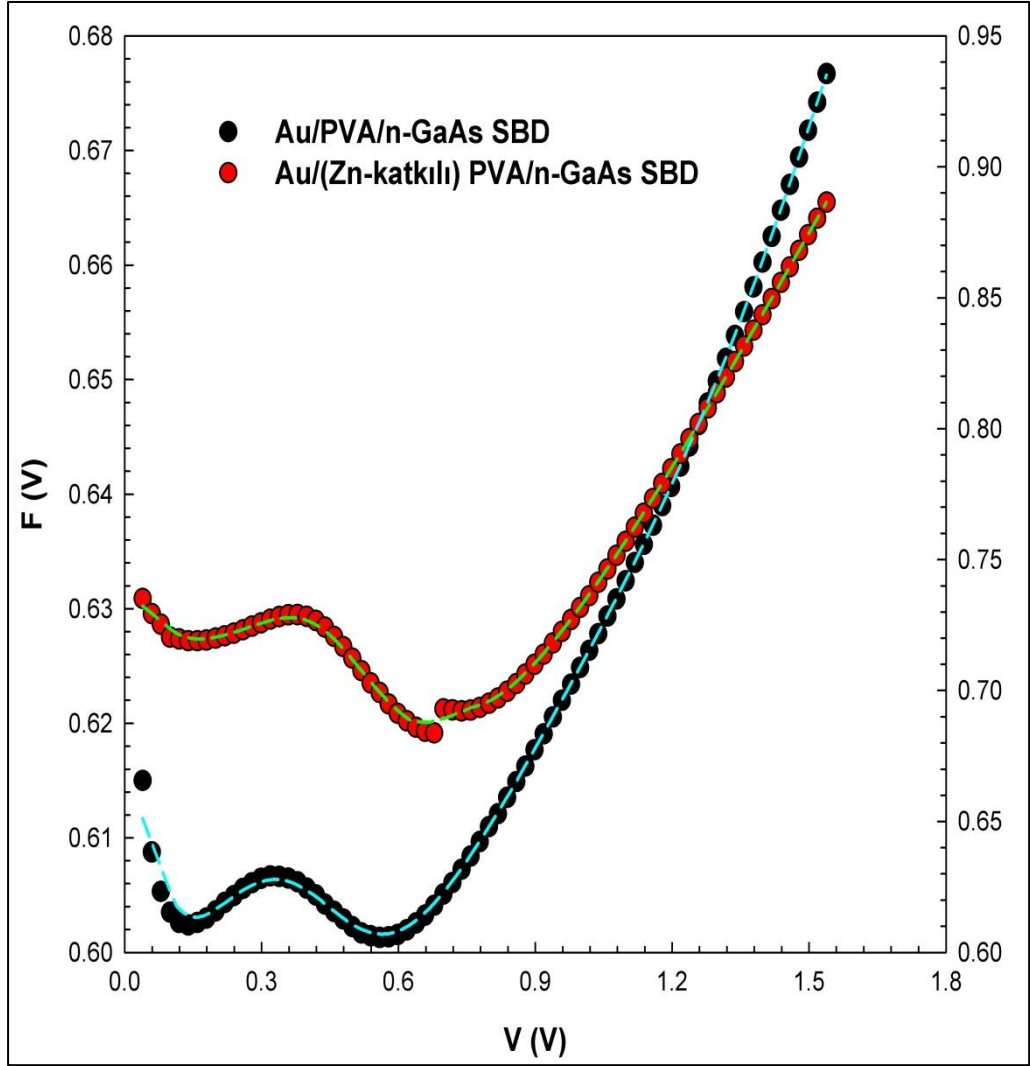
Eşitlikleri yardımıyla hesaplanan V_m , I_m , F_m , Φ_{B_0} ve R_s ' nin birinci minimum ve ikinci minimum durumlarında almış olduğu değerler Çizelge 4.3. de verildi.

Çizelge 4.3. Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBDs için Norde metodundan elde edilen V_m , I_m , F_m , Φ_{B_0} ve R_s değerleri.

Birinci minimum					
	V_m (V)	I_m (A)	F (V)	Φ_{B₀} (eV)	R_{s1} (Ω)
Au/PVA/n-GaAs SBD	0.14	5.81x10 ⁻⁷	0.602	0.604	4.30x10 ³
Au/PVA (Zn-katkılı)/n-GaAs SBD	0.16	1.71 x10 ⁻⁸	0.719	0.750	1.46x10 ⁵
İkinci minimum					
	V_m (V)	I_m (A)	F (V)	Φ_{B₀} (eV)	R_{s2} (Ω)
Au/PVA/n-GaAs SBD	0.56	1.63 x10 ⁻⁵	0.601	0.686	153.37
Au/PVA (Zn-katkılı)/n-GaAs SBD	0.68	1.00 x10 ⁻⁴	0.684	0.897	25.00

Şekil 4.6' dan da gorldğu gibi eğri iki minimum noktaya sahiptir. İki minimuma sahip olması $\ln(I)$ - V eğrisinin duşuk ve yüksek voltaj bölgesine sahip olduğunun bir göstergesidir. Sıfır voltaj bölgesine yakın olduğu için ve ilk bölgede potansiyel engeli daha yüksek olduğu için eğrinin ilk minimumundan elde edilen seri direnç değeri ikinci minimumundan elde edilen seri direnç değerinden daha yüksektir. Bundan dolayı ilk minimumdan elde edilen direnç değeri Őont direncine daha yakındır. Gerçek seri direnç değeri ise ikinci minimumdan elde ettiğimiz değerdir. Norde fonksiyonundan elde edilen temel diyot parametreleri hem yüksek hem de duşuk gerilim bölgesi için elde edildi. Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs SBD

için Norde fonksiyonundan elde edilen R_s değerleri, Au/PVA/n-GaAs SBD için elde edilen R_s değerlerinden daha küçük çıkmıştır. Üç farklı yöntem; Ohm yasası, Cheung fonksiyonları ve Norde fonksiyonu kullanılarak elde edilen seri direnç değerlerinin birbirleriyle uyum içinde olduğu görüldü.



Şekil 4.6. Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs ve Au/PVA/n-GaAs SBDs için F(V)-V eğrileri.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada hazırlanan çok sayıda hem saf PVA hem de Zn-katkılı PVA arayüzey tabakalı Au/n-GaAs Schottky engel diyotları (SBDs) hazırlandı. Bu hazırlanan iki tip diyotlardan birer tane örnek seçilerek birbirleriyle kıyaslamalı olarak incelendi. Bilindiği gibi polimerler zayıf iletkenliğe sahiptirler. Bu nedenle PVA tabaka Zn ile katkılanarak diyotun performansı üzerine etkisi incelendi.

Bu numunelerin oda sıcaklığındaki akım voltaj (I - V) ölçümleri (-2 V)-(+2 V) aralığında ve 50 mV' luk adımlarla gerçekleştirildi. Doğru ön-gerilim I - V ölçümlerinden Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn katkılı) PVA/n-GaAs diyotlarının sıfır beslem doyma akımı (I_o), idealite faktörü (n), yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}) ve seri direnç (R_s) değerleri hesaplandı. Yarı-logaritmik I - V eğrileri her iki numune için farklı eğimli iki lineer bölgeye sahip olduğu gözlemlendi. Bu iki lineer bölge için n , I_o ve Φ_{Bo} değerleri ayrı ayrı hesaplanarak tablolar şeklinde verildi. Bu davranış literatürde iki paralel diyot modeli olarak isimlendirilir. Bu bölgelerden birincisi ($0 \leq V \leq 0,3$ V) düşük potansiyel engeline ve ikincisi ise ($0,3 < V < 0,7$ V) yüksek potansiyel engeline karşılık gelmektedir. Bu iki eğimli bölge Zn-katkılı PVA arayüzey tabakalı diyotta daha belirgindir.

Hazırlanan Au/PVA/n-GaAs ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs diyotlarının elektriksel karakteristikleri doğru ve ters öngerilim altındaki akım voltaj verilerinden yararlanılarak hesaplandı. Elde edilen yarı logaritmik $\ln I$ - V grafiklerinin lineer kısmının eğiminden idealite faktörleri ve bu lineer kısımların sıfır voltajda akım eksenini kestiği noktadanda potansiyel engel yükseklikleri hesaplandı. Her iki diyot için seri direnç ve kısa devre dirençleri Ohm Yasası kullanılarak elde edildi. PVA arayüzey tabakasının çinko (Zn) elementi ile katkıladığımızda diyotun doyma akımı (I_o) ve idealite faktörü (n) değerinin düştüğü; metal ile yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Au/PVA/n-GaAs Schottky

bariyer diyotları ve Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs Schottky bariyer diyotları için seri direnç değerleri Ohm yasası, Cheung fonksiyonları ve Norde fonksiyonları kullanılarak ölçölmüştür. Üç farklı yöntem için elde edilen seri direnç değerleri birbiriyle uyumlu olduğu görölmüştür. Bütün yöntemler için ölçölen seri direnç değerleri Au/PVA/n-GaAs diyotun Au/(Zn-katkılı) PVA/n-GaAs diyotu için ölçölen değerden yüksek olduğu bulundu. Katkılamanın diyotun iletkenliğini ($G=1/R$) arttırdığı saptandı.

Tüm bu elde edilen deneysel sonuçlar ışığında polimer arayüzey tabakanın diyotun performansını arttırmakta olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Sze, S. M. and Ng, K. K., "Physics of Semiconductor Devices, 3rd Ed.", A *John Wiley and Sons, Inc., Publication*, 178-180, (2007).
2. Chekir, F., Lu, G. N. and Barret, C., "Anomalies in schottky diode $I-V$ characteristics", *Solid-State Electronics*, 29 (5): 519-522 (1986).
3. Schuster, E., Keune, W., Lo, F.-Y., Reuter, D., Wieck, A. and Westerholt, K., "Preparation and characterization of epitaxial Fe(001) thin films on GaAs(001)-based LED for spin injection", *Superlattices and Microstructures*, 37 (5): 313-320 (2005).
4. Bao, Z. L., Grist, S., Majumder, S., Xu, L. B., Jensen, E. and Kavanagh, K. L., "Residual stress, defects, and electrical properties of epitaxial copper growth on GaAs" *J. Electrochemical Soc.*, 156 (4): D138 (2009).
5. Tung, R. T., "Recent advances in schottky barrier concepts", *Material Science and Engineering*, R35 (1-3): 1-138 (2001).
6. Card, H. C. and Rhoderick, E. H., "Studies of tunnel MOS diodes I. interface effects in silicon schottky diodes", *J. of Physics*, D 4: 1589 (1971).
7. Ohdomari, I., and Tu, K. N., "Parallel silicide contacts", *J. Appl. Phys.*, 51 (7): 3735 (1980).
8. Song, Y. P., Van Meirhaeghe, R.L., Laflère, 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).
9. Zhu, S., Detavernier, C., Van Meirhaeghe, R.L., Cardon, F., Ru, G.-P., Qu, X.-P. and Li, B.-Z., "Electrical characteristics of $\text{CoSi}_2/\text{n-Si}(100)$ schottky barrier contacts formed by solid state reaction", *Solid-State Electronics*, 44 (10): 663-671 (2000).
10. Palm, H., Arbes, M. and Schulz, M., "Fluctuations of the Au-Si(100) schottky barrier height", *Phys. Rev. Lett.*, 71 (14): 2224-2227 (1993).
11. Tung, R. T., "Electron-transport at metal-semiconductor interfaces-general theory", *Physical Review B*, 45 (23): 13509-13523 (1992).
12. Sullivan, J. P., Tung, R. T., Pinto, M.R., and Graham, W. R., "Electron transport of inhomogeneous schottky barrier: A numerical study", *J. Appl. Phys.*, 70 (12): 7403-7423 (1991).

13. Kundu, S., Kumar, A., Banerjee, S. and Banerji, P., “Electrical properties and barrier modification of GaAs MIS schottky device based on MEH-PPV organic interfacial layer”, *Material Sci. in Semiconductor Processing.*, D15 (4): 386-392 (2012).
14. Vural, Ö., Şafak, Y., Altındal, Ş. and Türüt, A., “Current-voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs structures in the wide temperature range”, *Current Applied Physics.*, 10 (3): 761-765 (2010).
15. Aydın, M. E., Soylu, M., Yakuphanoglu, F. and Farooq W. A., “Controlling of electronic parameters of GaAs schottky diode by poly(3,4-ethylenedioxiophene)-block-poly(ethylene glycol) organic interlayer”, *Microelectronic Engineering*, 88 (6): 867-871 (2011).
16. Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Deniz, A. R. and Türüt, A., “Extraction of electronic parameters of schottky diode based on an organic orcein”, *Microelectronic Engineering*, 87 (12): 2525-2530 (2010).
17. Altuntaş, H., Altındal, Ş. and Shtrikman, H., Özçelik, S., “A detailed study of current-voltage characteristics in Au/SiO₂/n-GaAs in wide temperature range”, *Microelectronics Reliability*, 49 (8): 904-911 (2009).
18. Sharma, B. L., “Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications”, *Plenum Press*, New York, 1-3 (1984).
19. Rhoderick, E. H. and Williams R. H., “Metal Semiconductor Contacts”, *Oxford Press*, 257-264 (1988).
20. Nicollian, E. H. and Brews, J. R., “MOS Physics and Technology”, *John Wiley & Sons*, New York, 40-175, 222-226, 423-439 (1982).
21. Neamen, D. A., “Semiconductor Physics and Devices 2nd ed.”, *Mc Graw-Hill*, New York, 420-450, 517-523 (1997).
22. Schroder, D. K., “Semiconductor Material and Device Characterization 2nd ed.”, *John Wiley & Sons*, New York, 337-379 (1998).
23. Hofstein, S. R. and Warfield, G., “Physical limitations on the frequency response of a semiconductor surface inversion layer”, *Solid-State Electronics*, 8 (3): 321-341 (1965).
24. Altındal, Ş., “Al-SiO_x-pSi aygıtların ve güneş pillerinin elektriksel karakteristikleri.”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 52-74 (1993).
25. Ulrich, B. and Kuchar, F., “Capacitance-voltage measurements on a p-type InSb metal/insulator/semiconductor structure with Si₃N₄ as the insulator”, *Thin Solid Films*, 168 (2): 157-168 (1989).

26. Haddara, S. H. and El-Sayed, M., “Conductance technique in MOSFETs: study of interface trap properties in the depletion and weak inversion regimes”, *Solid-State Electronics*, 31 (8): 1289-1298 (1988).
27. Taşçıoğlu, İ., Uslu, H., Altındal, Ş., Durmuş, P., Dökme, İ. and Tunç, T., “The effect of gamma irradiation on electrical characteristics of Au/Polyvinyl alcohol (Co, Zn-Doped)/n-Si schottky barrier diodes”, *J. App. Polymer Sci.*, 118 (1): 596-603 (2010).
28. Shuer, M., ”Physics of Semiconductor Devices ”, *Prentice-Hall, Int.Inc.*, New Jersey, 2: 194-225 (1990).
29. Hassan, M. C. and Peppas, A. N., “Structure and applications of poly(vinyl alcohol) hydrogels produced by conventional crosslinking or by freezing/thawing methods”, *Polymer Science and Engineering Laboratories*, IN 47907-1283, USA 12-15 (1999).
30. Ünlü, A., “Sulu poli(vinil alkol) ve poli(n-vinil pirolidon) çözeltilerinden, potasyum klorür iletkenliğinin, iç (lokal) viskozitenin ve assosiyasyonun incelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 33-40 (1987).
31. Güllü, Ö., “H₂ öntavlama Au/n-GaAs diyotlarda elektriksel karakteristiklerin schottky metal kalınlığı ve sıcaklığa bağlı değişiminin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 54-57 (2008)
32. Kozanoğlu G. S., “Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 35 (2006).
33. Uslu H., “Au/(Co, Zn-Katkılı) polivinil Alkol/n-Si schottky engel diyotlarının hazırlanması ve elektriksel özelliklerinin aydınlatma şiddetine bağlı incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 36-40 (2010).
34. Arulkumaran, S., Arokiaraj, J., Dharmarasu, N. and Kumar, J., “Current-voltage characteristics of low energy proton and alpha particle irradiated Au and schottky barrier diode”, *Solid-State Electronics*, 41 (5): 802-805 (1997).
35. Korkut, H., Yıldırım, N. and Türüt, A., “Thermal annealing effects on I-V-T characteristics of sputtered Cr/n-GaAs diodes”, *Physica B*, 404 (21): 4039-4044 (2009).
36. Saxena, A. N., “Forward current-voltage characteristics of schottky barrier on n-type silicon “, *Surface Science*, 13 (1): 151-171 (1969).

37. Cheung, S. K. and Cheung, N. W., "Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics", *Appl. Phys. Lett.*, 49 (2): 85-88 (1986).
38. Bohlin, K. E., "Generalized norde plot including determination of the ideality factor", *J. Appl. Phys.*, 60 (3): 1223-1224 (1986).

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Akif ALPER 1985 yılında Uşakta doğdu. İlköğrenim eğitimini İzmir’ de tamamladı. 1999 yılında, İzmir’ de, Ahmet Adnan Saygun Lisesinde (YDA) lise eğitimine başlayıp, 2003 yılında lise eğitimini tamamlamıştır. 2004 yılında kazandığı Ankara Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Eğitimini 2009 yılında tamamladı. 2011 yılından Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Dumlupınar Üniversitesi, Merkez Kampüs
Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Tavşanlı Yolu 10.km KÜTAHYA.

Tel : (555) 602 8536

E-posta : mehmetakifalper@dpu.edu.tr