



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**POLİ (LİNOLEİK ASİT)-g-POLİ (METİL METAKRİLAT) GRAFT
KOPOLİMERİN SENTEZİ VE ELEKTRİKSEL
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYAT ÇULCU

AĞUSTOS 2015

DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Hayat ÇULCU tarafından hazırlanan Poli (Linoleik Asit)-g-Poli (Metil Metakrilat) Graft Kopolimerin Sentezi ve Elektriksel Karakterizasyonu isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.07.2015 tarih ve 2015\628 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye
(Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Muharrem GÖKÇEN
Düzce Üniversitesi

Üye
Doç. Dr. Abdullah YILDIZ
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir ALLI
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 13.08.2015

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Hayat ÇULCU'nun FİZİK Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

09.08.2015

(İmza)

Hayat ÇULCU

Sevgili Aileme

Hayatımın hiçbir anında beni yalnız bırakmayan, yorulmak pes etmek istediğimde beni yüreklendiren; umutsuzluğa kapıldığım, bütün seçeneklerimin tükenip gittiğini hissettiğim anda hep yanımda arkamda olan; hayattaki en önemli şeyin saf sevgi olduğunu gösteren sevgili ailem;

Anlayışınız, sevginiz ve hiçbirşeyi eksiltmeden bana bütün imkanları verdiğiniz için sizlere minnet borçluyum.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince, yanında çalışmaktan onur duyduğum, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, hiçbir yardımı esirgemeyen, desteğini hep hissettiğim çok değerli hocam Doç. Dr. Muharrem GÖKÇEN'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca, ilgi ve desteklerini esirgemeyen Kimya Bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir ALLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca, değerli katkılarını esirgemeyen, tecrübelerinden faydalanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli arkadaşım Dr. Sema ALLI'ya sonsuz teşekkür ederim.

Yalnızca yüksek lisans öğrenimim değil, hayatımın her anında hep yanımda olan desteğini benden hiç esirgemeyen canım kardeşim Hakan ÇULCU'ya,

Ve bir çocuğun sahip olabileceği en iyi anne baba, Hatice ve Yusuf ÇULCU'ya,

.....herşey için çok ama çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2014.05.02.233 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

9 Ağustos 2015

Hayat ÇULCU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR SAYFASI	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	6
2. TEORİK BİLGİLER	12
2.1. POLİMERLER.....	12
2.1.1. Polimer Çeşitleri.....	13
2.1.1.1. Sentez Yöntemine Göre Polimerler.....	13
2.1.1.2. Zincir Yapılarına Göre Polimerler.....	14
2.1.1.3. Kimyasal Yapılarına (Monomer Çeşitlerine)Göre Polimerler.....	14
2.1.2. Polimerlerin Molekül Ağırlığı.....	16
2.1.3. Polimerizasyon Yöntemleri.....	17
2.1.3.1. Kondenzasyon Polimerizasyonu.....	17
2.1.3.2. Katılma Polimerizasyonu.....	17
2.1.4. Polimerlerin Karakterizasyon Yöntemleri.....	19
2.1.4.1. NMR Spektrofotometre.....	19
2.1.4.2. Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC).....	20
2.1.4.3. Termal Gravimetrik Analiz (TGA).....	20
2.1.4.4. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC).....	21
2.1.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	21
2.2. YARIİLETKENLER.....	22
2.2.1. Katıların Bant Yapısı.....	24

2.2.2. Yarıiletkenlerin Bant Yapısı.....	25
2.2.3. Yarıiletken Tipleri.....	27
2.2.3.1. Doğal (Hakiki) Yarıiletken.....	27
2.2.3.2. Katkılı Yarıiletken.....	28
2.3. METAL-YARIİLETKEN (MS) KONTAKLAR.....	31
2.3.1. Metal/n-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar.....	32
2.3.2. Metal/n-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar.....	36
2.3.3. Metal/p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar.....	38
2.3.4. Metal/p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar.....	40
2.4. METAL-POLİMER-YARIİLETKEN (MPS) KONTAKLAR.....	42
2.4.1. İdeal MIS Yapı.....	43
2.4.2. Gerçek MIS Yapı.....	46
2.4.3. MIS Yapılarda Arayüzey Durum Yoğunluğu Teorisi.....	47
2.5. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLARDA AKIM-İLETİM MEKANİZMALARI.....	48
2.5.1. Termiyonik Emisyon (TE) Teorisi.....	49
2.5.2. Difüzyon Teorisi.....	51
2.5.3. Termiyonik Emisyon-Difüzyon (TED) Teorisi.....	52
2.5.4. Engel Boyunca Tünelleme.....	54
2.5.5. To Etkili Akım İletimi.....	56
2.6. METAL YARIİLETKEN KONTAKLARDA (SCHOTTKY DİYOTLARDA) DOĞRU BESLEM I-V KARAKTERİSTİKLERİ.....	57
3. MATERYAL VE YÖNTEM	60
3.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ.....	60
3.1.1. PLİMMA Polimerinin Temel Özellikleri.....	60
3.1.2. Silisyum Kristalinin Temel Özellikleri.....	61
3.2. Au/PLİMMA/n-Si YAPININ HAZIRLANMASI.....	63
3.2.1. Kristal Temizleme.....	63
3.2.2. Omik Kontakın Oluşturulması.....	65
3.2.3. PLİMMA Tabakasının Oluşturulması.....	66
3.2.4. Doğrultucu Kontakın Oluşturulması.....	68
3.3. KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ.....	69
3.3.1. Nükleer Manyetik Rezonans (¹ H NMR).....	70

3.3.2. Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC).....	70
3.3.3. Termal Gravimetrik Analiz (TGA).....	70
3.3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC).....	70
3.3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	70
3.3.6. Keithley 2400 Akım-Gerilim Kaynağı.....	70
3.3.7. Omron ZUV-C20H Mor Ötesi (UV-365 nm) Işık Kaynağı.....	70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
4.1. PLİMMA GRAFT KOPOLİMERİNİN SENTEZ VE KARAKTERİZASYONU.....	71
4.2. Au/PLİMMA/n-Si YAPININ UV IŞIK ALTINDA AKIM-VOLTAJ (I-V) KARAKTERİSTİKLERİ.....	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	90
6.KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ	100

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>	
Şekil 2.1.	NMR spektrofotometresi	20
Şekil 2.2.	Katıların bant diyagramı	25
Şekil 2.3.	Direkt bant aralığı	26
Şekil 2.4.	İndirekt bant aralığı	26
Şekil 2.5.	Doğal (hakiki) yarıiletken	27
Şekil 2.6.	p-tipi yarıiletkenin oluşumu	28
Şekil 2.7.	p-tipi yarıiletkenin enerji seviyeleri	29
Şekil 2.8.	n-tipi yarıiletkenin oluşumu	30
Şekil 2.9.	n-tipi yarıiletkenin enerji seviyeleri	30
Şekil 2.10.	Bir Schottky kontağın şematik görünümü	32
Şekil 2.11.	Metal/n-tipi doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı	33
Şekil 2.12.	Metal/n-tipi doğrultucu kontak için enerji bant diyagramı	35
Şekil 2.13.	Metal/n-tipi omik kontak için enerji bant diyagramı	37
Şekil 2.14.	Metal/p-tipi doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı	39
Şekil 2.15.	Metal/p-tipi doğrultucu kontağın $V \neq 0$ olması durumunda enerji-bant diyagramı	39
Şekil 2.16.	Metal/p-tipi omik kontağın enerji-bant diyagramı	41
Şekil 2.17.	Bir MPS (MIS) yapının şematik gösterimi	42
Şekil 2.18.	$V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı	43
Şekil 2.19.	Bir MIS kapasitansının eşdeğer devresi	45
Şekil 2.20.	İdeal olmayan MIS yapıda arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması	46
Şekil 2.21.	Metal/n-tipi yarıiletkende doğru beslem altında temel akım-iletim mekanizmaları	49

Şekil 2.22	Doğru beslemede termiyonik alan emisyonu ve alan emisyonu bant diyagramı	54
Şekil 2.23.	Farklı akım-iletim mekanizmalarını gösteren $nkT/q - kT/q$ grafiği	57
Şekil 3.1.	Polimerik linoleik asit ile metil metakrilatın serbest radikal polimerizasyonu ile Poli(linoleik asit)-g-poli (metil metakrilat) (PLİMMA) graft kopolimerlerin sentezlenmesi için reaksiyon düzeni	61
Şekil 3.2.	Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan metal buharlaştırma cihazı	65
Şekil 3.3.	Elektrospinning cihazı	67
Şekil 3.4.	Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske	68
Şekil 3.5.	Au/PLİMMA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi	69
Şekil 4.1.	Plina, Plina-g-PMMA (PLİMMA) 1H NMR spektrumları	72
Şekil 4.2.	Plina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerin DSC diyagramı	74
Şekil 4.3	Plina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerin TGA diyagramı	74
Şekil 4.4.	PLİMMA nanofiber yapının SEM resimleri	76
Şekil 4.5.	Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde akım-gerilim grafiği	78
Şekil 4.6.	Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_i-V eğrileri	82
Şekil 4.7.	Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $dV/d\ln(I)-I$ eğrileri	84
Şekil 4.8.	Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $H(I)-I$ eğrileri	85
Şekil 4.9.	Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ eğrileri	89

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Polimerlerin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması	16
Çizelge 2.2. MS kontakların iş fonksiyonuna göre omik ve Schottky kontaklar	32
Çizelge 3.1. Silisyumun oda sıcaklığındaki bazı temel özellikleri	62
Çizelge 4.1. PLina ile metil metakrilatın 5 saat boyunca 80 °C deki serbest radikal polimerizasyon sonuçları	73
Çizelge 4.2. PLina, PMMA, PLina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerlerin termal özellikleri	75
Çizelge 4.3. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde I-V eğrilerinden elde edilen I_0 , n ve Φ_{B_0} değerleri	81
Çizelge 4.4. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotu için farklı metotlarla elde edilen diyot parametreleri	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Alan
Å	Angstrom
A*	Etkin Richardson sabiti
AE	Alan emisyonu
Au	Altın metali
a.c.	Alternatif akım
C	Kapasitans
C _{ox}	Yalıtkan tabakanın kapasitansı
C _{sc}	Uzay yükü kapasitansı
C-V	Kapasitans-voltaj
d.c.	Doğru akım
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
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
□ _{ox}	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
□ _s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
GPC	Jel geçirgenlik kromatografisi
¹ H NMR	Nükleer manyetik rezonans
I-V	Akım-voltaj
k	Boltzman sabiti
m*	Elektronun etkin kütlesi
m ₀	Serbest elektron kütlesi
μ	Elektronun mobilitesi
MS	Metal-yarıiletken
MIS	Metal-yalıtkan-yarıiletken
MPS	Metal-polimer-yarıiletken

N_D	Verici katkı atomlarının yoğunluğu
N_c	İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
Q_{sc}	Uzay yükü
q	Elektrik yükü
PLİMMA	Poli(linoleik asit)-g-poli(metil metakrilat)
PLina	Polimerik linoleik asit
PMMA	Poli metil metakrilat
R_i	Direnç
R_s	Seri direnç
T	Mutlak sıcaklık
TAE	Termiyonik alan emisyonu
TE	Termiyonik emisyon teorisi
TED	Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi
TGA	Termal gravimetrik analiz
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
V	Gerilim
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_F	Doğru ön-gerilim
V_R	Ters ön-gerilim
V_{ox}	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
V_G	Metal plakaya uygulanan gerilim
W_D	Tüketim tabakasının genişliği
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

χ_s	Elektron yakınlığı
Ψ_s	Yüzey potansiyeli

ÖZET

POLİ (LİNOLEİK ASİT)-g-POLİ (METİL METAKRİLAT) GRAFT KOPOLİMERİN SENTEZİ VE ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

Hayat ÇULCU
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Muharrem GÖKÇEN
Ağustos 2015, 101 sayfa

Bu çalışmada polimerik linoleik asit ile metil metakrilatın serbest radikal polimerizasyonu ile poli(linoleik asit)-g-poli(metil metakrilat) (PLİMMA) graft kopolimerleri sentezlendi. Elde edilen graft kopolimerlerin karakterizasyonları nükleer manyetik rezonans (^1H NMR), jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), termal gravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknikleri kullanılarak yapıldı. Çalışmanın ikinci kısmında, bu polimerler uygun çözültide çözülerek elektrospinning yöntemiyle bir iletken/yarıiletken arayüzeyine kaplanarak Au/PLİMMA/n-Si yapısı oluşturuldu. Au/PLİMMA/n-Si Schottky engel diyotların elektriksel karakteristikleri, akım-voltaj (I-V) ölçüm metotları kullanılarak karanlık ve UV ışık altında oda sıcaklığında incelendi. Doğru ön-gerilim I-V ölçümlerinden idealite faktörü (n), sıfır-beslem engel yüksekliği (Φ_{Bo}), arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) ve seri direnç (R_s) değerleri hesaplandı ve tüm bu parametrelerin aydınlatma şiddetine oldukça bağlı olduğu ve PLİMMA graft kopolimerlerin organik arayüzey olarak cihaz parametrelerini olumlu etkilediği görüldü.

Anahtar sözcükler: plina-g-poli(metil metakrilat); kimyasal karakterizasyon; schottky diyot; elektriksel karakterizasyon; UV ışık etkisi.

ABSTRACT

SYNTHESIS AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF POLY (LINOLEIC ACID)-G-POLY(METHYL METHACRYLATE) GRAFT COPOLYMER

Hayat ÇULCU

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Physics

Master of Science Thesis

Supervisor: Associate Prof. Muharrem GÖKÇEN

August 2015, 101 pages

In this study, polymeric linoleic acid by free radical polymerization of methyl methacrylate graft copolymers of poly(linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) (PLIMMA) have been synthesized. The obtained graft copolymers were characterized by proton nuclear magnetic resonance (^1H NMR), gel permeation chromatography (GPC), thermal gravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetry (DSC) and scanning electron microscope (SEM) techniques. In the second part of the study, these polymers dissolved in suitable solvents by electrostatic spraying technique with a conductor and a semiconductor surface covered Au/PLIMMA/n-Si structure was created. The electrical characteristics of Au/PLIMMA/n-Si Schottky barrier diodes have been investigated by using current-voltage measurements in dark and under UV illumination intensities at room temperature. These were obtained that; the values of ideality factor (n), zero-bias barrier height (Φ_{B0}), the density of interface states (N_{ss}) and series resistance (R_s) were found to be a strong function of illumination intensity and PLIMMA graft copolymers have a positive effect on device electrical parameters.

Keywords: plina-g- poly(methyl methacrylate) ; chemical characterization; schottky diodes; electrical characterization; UV illumination effect.

EXTENDED ABSTRACT

SYNTHESIS AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF POLY (LINOLEIC ACID)-G-POLY(METHYL METHACRYLATE) GRAFT COPOLYMER

Hayat ÇULCU

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Physics

Master of Science Thesis

Supervisor: Associate Prof. Muharrem GÖKÇEN

August 2015, 101 pages

1. INTRODUCTION:

Developments in science and technology put a great many instruments into use, from TV and telephones to computers and satellites, that ease our lives and become our basic needs. In parallel with all these developments, advances in polymer technology, too, enable polymer substance to be used as building block in a lot of products that we use in the daily life. A cost-effective material, polymer, is mostly a kind of favored one for technological innovations due to the fact that it is also able to clear a lot of hurdles of design. The reasons for polymeric materials being so widespread are that they are weightless, secure, long-lasting and susceptible to all-purpose use. They can be used in all areas. Because of their electrical and mechanical properties, polymers have come into use widely in electronics industry, as well. Those kinds of polymers are utilized with the purpose of making electrical non-conductor, dielectric capacitor, parts of microwave instruments, Schottky diode, transistor and the like electronic circuit components. That's why, today it is so important to study the electrical characteristics of metal-semiconductor (MS) and metal-nonconductor/polymer-semiconductor (MIS or MPS). In this study, poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) (PLIMMA) graft copolymer was synthesized and characterized. Later, in order to research the practicality of PLIMMA polymer as interface layer, Au/PLIMMA/n-Si Schottky diode was produced and the basic electrical parameters of the pattern were calculated from experimental current-voltage (I-V) characteristics at room temperature. By this means,

the electrical characterization of Au/PLIMMA/n-Si Schottky diode was studied and the way how polymer interface layer affects diode parameters was determined.

2. MATERIAL AND METHODS:

Polymers are synthesized with varied polymerization methods. In this research, free radical polymerization of polymeric linoleic acid and methyl methacrylate and poli (linoleic acid)-g-poli (methyl methacrylate) (PLIMMA) graft copolymers were synthesized. It is really important for green chemistry that polymerization system comes into real without needing any solvents and catalyzers. Graft copolymers were characterized with nuclear magnetic resonance (^1H NMR), gel transmittance chromatography (GPC), thermal gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) methods. Using graft copolymers as an interfacial layer, Au/PLIMMA/n-Si Schottky diode was produced and the some main electrical parameters have been investigated form experimental current-voltage (I-V) characteristics of the diode at room temperature.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

By polymerizing polymeric linoleic acid with methyl methacrylate, PLina-g-PMMA (PLIMMA) graft copolymers were attained at high efficiency (%41). It was observed that by characterizing the attained copolymer in different ways, the copolymer has suited mechanical and thermal properties to be used as a material in electronic implementations. There by Au/PLIMMA/n-Si diodes were produced and by using current-voltage (I-V) measurements, their electrical characteristics were studied at room temperature, in the dark and under the UV light. It was seen that as compared to current-voltage (I-V) measurements, Au/PLIMMA/n-Si Schottky diode has a beter proportion of rectification both in the dark and at all degress of illumination intensity. In addition, the values of the ideality factor of the diode (n), saturation current (I_0), barrier height (Φ_{B0}), resistance (R) and density of interface state (N_{ss}) were calculated through Cheung&Cheung method and Card&Rhoderick function both in the dark and under UV light intensity.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

When the electrical characteristics of Au/PLIMMA/n-Si Schottky barrier diodes were analyzed by using current-voltage (I-V) measurements in the dark and under the UV light; it was observed that the values of n , Φ_{B0} , N_{ss} and R_s are quite dependent on the light intensity. It was also seen that PLIMMA polymer interface layer significantly develops the proportion of the diodes rectification and short-circuit resistance, but dramatically decreases series resistance and interface states. In comparison to the literature, the gathered experimental results demonstrated that the synthesized PLIMMA graft copolymer, as an interface layer, brought to a successful conclusion for Au/PLIMMA/n-Si Schottky diode and it is compatible to be used as a material for electronic implementations.

1. GİRİŞ

Geride bıraktığımız yüzyıl bilim ve teknolojide büyük ilerlemelere tanık olmuştur. Günlük hayatımızda kullandığımız televizyondan bilgisayarlara, telefondan uydulara kadar pek çok cihaz bu gelişmelerin ürünüdür.

Sentetik polimerlerin ticari boyutlarda üretiminin başlamasından önce insanlar; dokuma veya giyinme gibi gereksinimlerini yün, pamuk, jüt, keten gibi doğal liflerin işlenmesiyle sağlamışlar, günlük hayatta yararlandıkları eşya ve malzemelerin yapımında çelik, cam, odun, taş, tuğla, çimento gibi maddeler kullanmışlardır [1].

Polimerik ürünlerden biri olup, bugünde çok kullanılan maddelerden biri olan kauçuğun kullanımı 5000 yıl öncesine dayanır. Başlangıçta sıvı olan kauçuğun özsuyu (lateks) uzun zincirli moleküller içerir. Kızılderililer bu özsuyu ile ayaklarını kapladıktan sonra havadaki oksijenin etkisi ile bazı noktalardan bu moleküller birbirlerine bağlanırlar. Bu bağlanmalar nedeniyle artık moleküller birbirlerinden kolayca ayrılamazlar. Böylece sıvıdan katı duruma geçilir. Fakat bu katı biraz özeldir. Bu katı yapı içerisinde küçük moleküller hareket edebilirler ve tüm yapıda hareketlidir. Yapının bir balık ağı gibi davrandığı düşünülebilir. Bu nedenle bu yapı kısmen katı kısmen sıvı gibi davranır. Bu madde kauçuk olarak adlandırılır. Bununla beraber bu kauçuk ayakkabı bir gün içerisinde dağılır. Çünkü havadaki oksijen ilk olarak molekülleri birbirine bağlamasına karşın bir süre sonra oksijen, zincirleri kesmeye başlar ve bir gün sonunda yapı dağılır [2].

Çinliler'in 1400'lü yıllarda yaptıkları, balmumuna daldırılmış kumaştan şemsiye, daha sonra "Direkt Kaplama" olarak isimlendirilecek işlemin tarihteki ilk uygulamasıydı. Kumaşın tamamı ile farklı bir malzemeye kaplanarak (birleştirilerek) işlevini daha iyiye götürme fikri böyle oluştu.

Bugün sıkça kullanılan Poli Vinil Klorür (PVC) ve Poli Üretan (PU) gibi polimerlerin atası 1839 yılında Goodyear tarafından üretildi. Goodyear kükürtle vulkanize edilmiş kauçuk olan Libonit'i üretti. 1849 yılında Charles Goodyear kauçuk ağacının özsuğunu kükürt ile kaynattığında esnek, sağlam siyaha yakın bir madde elde etti. Goodyear'ın bu

buluşu halen üretimdedir, fakat o yıllarda henüz polimer kavramı ortaya atılmamıştı.

1920 yılında Alman Kimyacı Staundinger “makromolekül” kavramını ortaya atmıştır. Selüloz ve proteinlerin birer makromolekül olduğunu ileriye sürdü. Polisitiren ve polioksimetilen için ilk kez uzun zincirli molekül formülleri sunmuştur. 1926 yılında Svendberg Ultrasantrifüj yöntemi ile polioksimetilenin molekül ağırlığının 100.000 civarında olduğunu gösterdi. Makromolekül Hipotezi sonraki yıllarda birçok polimerin üretimine ışık tutmuştur [3].

Makromoleküllerin sentez yöntemleri ilk defa Amerikalı kimyager Wallace Hume Carothers tarafından ileri sürülmüştür. Makromoleküllerin önemini ve imkanlarını gören kimya endüstrisi bu alandaki çalışmalarını hızlandırarak 1927 yılında IG-Farben (BASF) Bayer ve Hoechst firmaları 1929 yılında polisitireni patent altında üreterek insanlığın hizmetine sunmuşlardır [3].

Bundan kısa bir zaman öncesine kadar polimerlere çok iyi bir yalıtkan olarak bakılıyordu. Plastiklerin elektriği iletme fikri o dönemlerde pek rağbet görmüyordu. Gerçekten de plastik malzemeler bu yalıtkan özelliği ile elektronik endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanıldı. Bununla birlikte, bu dar bakış açısı yeni keşfedilen ve kendine özgü iletkenliği olan elektroaktif polimerlerle birlikte çok hızlı bir şekilde değişmiştir.

Polimerler, yani plastikler, metallerin aksine yalıtkan ve elektriği iletmeyen maddeler olarak bilinmekteydi ve bu özelliği ile de elektrik tellerinin kaplanması kullanılmaktadır. Böylece elektrik tellerinin canlılarla ve birbirleriyle kısa devre teması önlenir. Ancak, bütün bunlarla birlikte Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid ve Hideki Shirakawa isimli bilim adamları yaptıkları buluşlarıyla bir polimer olan poliasetilenin (polyacetylene) hemen hemen bir metal gibi iletken olabileceğini gösterdiler. Bu buluşla polimerlerin hep yalıtkan olma imajı da değiştirilmiş oldu. Bu bilim adamları bu buluşları ve polimerlerle ilgili sonraki çalışmalarından dolayı Nobel 2000 kimya ödülüne layık görülmüşlerdir.

Polimerler hayatımızı kolaylaştıran, güvenli kılan, temiz tutan ve eğlenceli hale getiren ürünlerin temel taşı olarak her an karşımızdadırlar. Uygun maliyetli bir malzeme olan polimer, birçok tasarım engelini de aşabildiği için teknolojik yeniliklerde sıklıkla tercih edilen bir malzeme olmuştur. Son yıllarda biyo-bazlı polimerlerin üretiminin artmasıyla da doğaya karşı daha duyarlı bir malzeme olarak gelecekteki yerini alacaktır. Polimerik

malzemelerin bu kadar yaygın olmalarının sebepleri çok yönlü kullanıma yatkın, hafif, güvenli, dayanıklı ve düşük maliyetli olmalarıdır. Her alanda kullanılabilirler. İstenilen mekanik uygulamaya göre, sert ya da esnek yapılabildikleri gibi katı ve gözenekli yapıda da kolayca üretilebilirler.

İletken polimerlerin yaygın olarak kullanıldığı alanlar; şarj olabilen pil yapımı, elektronik alet (transistör, kapasitör, sensör) yapımı, iyon seçici elektrot yapımı, korozyon önleme, biyokimyasal analizler, foto-elektrokimyasal hücreler ve elektroeolojik çalışmalardır. Bazı polimerlerin üstün optik özellikleri önem taşır. Bu polimerlerden uçak camları, güvenlik camlarının iç katmanları yapılır. Bazı plastik ve elastomerler, operasyonla insan vücudunun çalışmayan organları yerine konur. Polimerler, elektriksel ve mekanik özelliklerinden dolayı elektronik endüstrisinde de yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür polimerler elektriksel yalıtkan, dielektrik kapasitörü, mikrodalga aygıtlarının parçaları, schottky diyot, transistör vb. elektronik devre elemanı yapımında kullanılırlar.

1874 yılında Braun, Oral [4] Boy [5], metal ve yarıiletken kontaklar arasındaki elektriksel iletkenliğin doğasını keşfetmiştir. Metal – yarıiletken kontaklar, Braun'un ilk çalışmalarından önce yapılmıştır ve bu devre elemanları ilk radyo deneylerinde dedektör olarak kullanılmıştır. 1906'da patentini almış olduğu, silisyum kullanarak nokta dedektörü yapan Pickard'ın ardından 1907'de Pierce, bir tür yarıiletken üzerine metallerin püskürtülmesiyle elde edilen diyotların doğrultucu karakteristiklerini yayınlamıştır. 1920 yılının ilk dönemlerinde vakum ortamında daha kaliteli nokta kontaklı diyotlar elde edilmeye başlanmıştır. Bu dönemlerde nokta kontaklar; radyo ve düşük seviye mikrodalga dedektörü, frekans çevirici, II. Dünya savaşında ise radar dedektörü olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemlerden sonra ise bu aygıtlara olan ilgi artmış ve bu alanda geniş çaplı araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. 1935'ten beri silisyum nokta kontak ve selenyum Schottky diyotlar radyo dedektörleri olarak kullanılmaktadır. Radarların geliştirilmesiyle dedektör diyotlara olan ihtiyaç artmıştır. Bu aşamada yüksek saflıkta silisyum ve germanyum elde etme metotları geliştirilmiştir. 1960'lı yıllarda, nokta kontak diyottan yola çıkılarak Schottky engel diyotu üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Yarıiletken fiziğinin daha da gelişmesi ile beraber metal – yarıiletken kontakların yapısı anlaşılmaya başlanmıştır [4,5]. Yarıiletken kristaller kullanılarak elde edilen elektronik

veya opto-elektronik cihazlar elektronik endüstrisinin temelini oluşturmaktadır. Bu sebeple günümüzde metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS veya MPS) yapıların elektriksel karakteristiklerinin incelenmesi oldukça önemlidir. Metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS veya MPS) Schottky diyotlarla ilgili çalışmalar metal-yarıiletken (MS) Schottky diyotlara dayanmaktadır. Metal-yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engeli oluştuğunu ilk kez Schottky ortaya koymuş ve onun adına atfen metal-yarıiletken kontaklara Schottk kontaklar veya Schottky diyotlar adı verilmiştir. Metal-yarıiletken kontaklardan ibaret olan Schottky kontaklar, güneş pilleri, mikrodalga karıştırıcı dedektörleri, kapasiteleri uygulanan gerilimle değişen kondansatörler, lazer diyotlar, radyo dedektörleri, hızlı anahtar uygulamaları gibi elektronik sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Schottky diyotların yüksek performansla çalışması; yapıldığı maddenin karakteristiğine, yarıiletken/yalıtkan arayüzey durumuna, kontağın homojenliğine, seri dirence ve sıcaklığına bağlıdır. Bu alanda yapılan çeşitli çalışmalarda amaç, Schottky diyotların doğru ve verimli çalışmasını sağlamak ve mekanik açıdan güvenilir devre elemanları üretmektir. Son zamanlarda organik filmin yarıiletkene buharlaştırılmasıyla yapılan Schottky diyotlarla ilgili çalışmalarda, organik malzemelerin değişik özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. Sensörler, güneş pilleri, organik devre elemanları, plastik bataryalar, FET'ler, optik veri saklayıcıları, anahtarlama devre elemanları gibi birçok alanda organik malzemelerin optik, elektrik, fotoelektrik ve manyetik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Organik malzemeler; spin kaplama, vakumda buharlaştırma ile kaplama, elektrokimyasal kaplama gibi yöntemlerle elektronik ve optoelektronik devre elemanlarında ince filmler şeklinde oluşturulurlar [6].

1938'de Schottky, metal-yarıiletken yapıdaki potansiyel engelin kimyasal bir tabaka olmayıp, sadece yarıiletken içerisindeki kararlı uzay yüklerinden kaynaklandığını ileri sürdü [7]. Bu teori Schottky engeli olarak bilinir. Potansiyel engeli ile ilgili diğer bir model ise Mott tarafından ileri sürülmüştür. Bu modele göre arayüzey tabakadaki elektrik alan sabit kalırken potansiyelin doğrusal olarak değiştiği varsayılmaktadır. Mott'a göre potansiyel engel, metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklanır [8,9].

Crowell ve Sze, MS kontaklarda akım iletim mekanizmalarını açıklayan Schottky'nin difüzyon teorisi ile Bethe'nin termiyonik emisyon teorisini (TE), termiyonik emisyon difüzyon (TED) modelinde birleştirmişlerdir [8,10]. Son dönemlerde bu çalışmalara ilaveten MS ve MIS/MPS Schottky diyotların yapısının iyice anlaşılması için seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_{Bo}) gibi temel parametrelerin tayininde teorik ve deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yapılarda ideal durum ($n=1$) için seri direnç etkisi Norde tarafından öne sürülmüştür [11]. Bu yöntem, seri direnç ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişmediği durumlara uygulandığı için yalnızca bir sıcaklıkta akım-voltaj (I-V) eğrisine ihtiyaç vardır. Daha sonraları Cheung, ideal ve ideal olmayan diyotlar için akım-voltaj karakteristiklerini kullanarak Schottky diyotlarda seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliğini hesaplamak için farklı bir hesaplama modeli önermiştir [12].

Yarıiletkenin kristal yüzeyi genellikle laboratuvar ortamında organik kirler ve oksit tabakalarıyla kaplıdır. Kimyasal olarak temizlenmiş yarıiletken yüzeyinde oluşan doğal oksit tabaka, temiz oda havasına maruz kalarak ortaya çıkar. Tabakanın kalınlığı ise numune üzerindeki gazlara maruz kalma süresine bağlı olarak artar. Metal ile yarıiletken arasında ister doğal olarak ister yapay olarak bir arayüzey tabaka oluşturulması MS yapısını MIS/MPS yapıya dönüştüreceği için diyotun karakteristiklerine büyük ölçüde etki eder [12-15].

Üretilen bir devre elemanının istenilen devre yapısına ait bütün özelliklerinin bilinmesi, doğabilecek olumsuzlukların giderilmesini sağlar. Bu nedenle yarıiletken teknolojisinde, temel elektronik devre elemanlarının fiziksel ve elektriksel özelliklerini araştırmak büyük önem taşımaktadır. Organik ve polimer Schottky diyotlar diğer kontaklara göre daha kolay üretilmeleri, kısa zamanda bol miktarda üretimlerinin yapılabilmesi, ekonomik olması, esneklikleri ve çevre dostu olmaları açısından gelecek için umut vaat etmektedirler.

Bu çalışmada Poli (linoleik asit)-g-poli (metil metakrilat) (PLİMMA) graft (aş) kopolimeri sentezlenmiştir. Elde edilen graft kopolimeri; proton nükleer manyetik rezonans (1H NMR), jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) teknikleri ile karakterize edilmiştir. PLİMMA'nın kullanılabilirliğini araştırmak amacı ile Au/PLİMMA/n-Si diyot imal edilmiş ve PLİMMA polimer ara yüzeyi ile yapılmış olan bu schottky diyotun oda

sıcaklığındaki deneysel akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden hesaplanan temel fiziksel parametreler; Cheung fonksiyonları yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar termiyonik emisyon teorisi kullanılarak elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu sayede Au/PLİMMA/n-Si diyotun elektriksel karakterizasyonu incelenmiş ve polimer ara yüzeyinin diyot parametrelerini nasıl etkilediği belirlenmiştir.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. POLİMERLER

Canlıların yaşam sürecinde önemli rol oynayan, çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan polimerler (makromoleküller) günlük yaşantımızın önemli bir parçası olmuştur. Doğal makromoleküller olmaksızın hayatın devamı düşünülemez. Çünkü hayatın kendisini oluşturan temel elemanlar bu moleküllerdir. En iyi bilinen ve hemen akla geliveren örneklerin bazıları proteinler, selüloz, keratin gibi doğal makromoleküllerdir. Her gün gelişen yeni polimer sentez yöntemleri sayesinde elde edilmiş binlerce polimere her gün yenileri ilave edilmektedir. Günlük hayatın hemen her alanında rastlanan polimerik malzemeler, hayatın vazgeçilmez parçaları olmuşlardır. Polimerik malzemelerin bu kadar geniş kullanım alanlarına sahip olmalarının nedeni, yapısal özelliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilir olmasından ve ekonomik olarak elde edilebilmelerinden kaynaklanmaktadır.

Organik kimyacılar 19. yüzyılın ortalarında bazı denemelerinde rastlantısal olarak yüksek molekül ağırlıklı maddeler sentezlediler. Bu yüzyılın ikinci yarısından itibaren polimer konusundaki araştırmalar gelişmiş ve yeni polimer türleri geliştirilmiştir.

Bu alanın öncüsü olan Alman kimyager Herman Stauding ilk defa polimerizasyon koşullarının polimer oluşumu üzerine etkisini tanımlamıştır. Stauding, kimyanın bu alanında yaptığı çalışmalarla 1953 yılında Nobel ödülünü almıştır. Bu alanda ilk kez çalışan araştırmacılar doğal polimerleri taklit ederek işe başlamışlar ve 1930 yılında Wallace Carothers Naylonu sentezlemeyi başarmıştır. II. Dünya Savaşı'ndan bu yana birçok polimer laboratuvarlarda üretilmiş ve ayrıca birçok polimer endüstriyel ölçekte üretilmeye başlamıştır. Bunların sonucu olarak günümüzde sayısız polimer türü geniş bir uygulama alanında çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.

İsveçli kimyacı Baron Jons Jacob Berzelius çok parçalı anlamına gelen “polimer” sözcüğünü 1830 yılında ortaya koymuştur. Polimerler (makromoleküller), küçük ve basit tekrarlayan birimlerden oluşmuş büyük bir moleküldür. Polimerler çok sayıda molekülün kovalent bağlarla birbirine bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Bu yapı insanların el ele tutuşmasıyla oluşan zincire de benzetilebilir.

Polimer molekülü içerisinde tekrarlayan basit kimyasal birime “tekrarlayan birim”, polimeri elde etmek için başlangıçta kullanılan küçük moleküllü organik maddelere de “monomer” adı verilir. Monomer sayısının çok küçük olması halindeki polimere “oligomer”, çok büyük olması halindeki polimer sistemine ise “makromolekül” adı verilir. Aynı monomerden oluşan oligomerler ve makromoleküllerin fiziksel özellikleri farklılıklar gösterebilmektedir ve monomer sayısı büyük önem taşımaktadır.

Monomerlerin kimyasal olarak bağlanarak polimer moleküllerini oluşturdukları reaksiyonlara “polimerizasyon reaksiyonları” adı verilir. Polimer içinde tekrarlayan birim sayısına “polimerizasyon derecesi (P_n)” denir ve tekrarlayan her birim polimeri oluşturan monomere eşit ya da hemen hemen eşittir. Makromolekül denilen bir polimer molekülünde bu yapı birimlerinin yüzlerce, binlerce, bazen daha fazlası birbirine bağlanır. Ancak, gerek laboratuarda gerekse pratik uygulamalar için hazırlanan polimerlerin çoğu genellikle, 5.000 – 250.000 molekül ağırlığı bölgesinde bulunur [16].

Yüksek molekül ağırlığına sahip oluşlarından ileri gelen yüksek viskozite, elastik ve şekil verilebilme gibi özelliklerinin yanı sıra elektriksel, optik, termal ve biyokimyasal özellikleri, polimerlerin aynı zamanda malzeme olarak kullanılabilmelerine de imkan sağlar. Burada çok sayıda molekülün, kovalent bağlarla birbirine bağlanması polimer maddenin malzeme olarak kullanılmasının ilk sebebidir.

Polimerlerin kullanım özelliğini belirleyen en önemli özellik camsı geçiş sıcaklığı (T_g) dir. Polimerlerin molekül ağırlıkları büyük olduğundan ve farklı molekül ağırlığına sahip zincirlerden oluştuklarından dolayı genellikle kesin bir erime noktasından bahsedilemez. Bu nedenle camsı geçiş sıcaklığı sayesinde polimerlerin kullanım özellikleri hakkında önemli ölçüde bilgi sahibi olunmaktadır. Polimerler camsı geçiş sıcaklığının altında sert ve kırılğan, üstünde ise kauçuksu ve yumuşak bir haldedir.

2.1.1. Polimer Çeşitleri

2.1.1.1. Sentez Yöntemine Göre Polimerler

Genel olarak polimerler, sentez yöntemine bağlı olarak kondenzasyon ve katılma polimerleri olarak sınıflandırılırlar. Kondenzasyon polimerleri, hidroksil, karboksilli asit ve türevleri, amin vb. en az iki reaktif grup içeren monomerlerin zincir reaksiyonuyla meydana gelirler. Reaksiyona giren maddelerden biri tükeninceye kadar reaksiyon

devam eder ve polimerlerin molekül ağırlığı zamanla artar. Katılma polimerleri, katalizör yardımıyla bir aktif merkez oluşturup bu aktif merkez üzerinden yürüyen zincir reaksiyonu ile elde edilirler. Katılma polimerizasyonu reaksiyonlarında monomerler doğrudan birbirine katılarak makromolekül zincirini oluştururlar. Oluşan aktif merkezin cinsine göre de; serbest radikal, anyonik, katyonik ve koordinasyon polimerizasyonu olarak sınıflandırılırlar [17,18]. Serbest radikal polimerizasyon yönteminde başlıca azo ve peroksit başlatıcıların yanında, kontrollü yaşayan polimerizasyon yöntemleri de öne çıkmaktadır [19,20].

2.1.1.2. Zincir Yapılarına Göre Polimerler

Polimerler zincir yapılarına göre; doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı yapılar olarak sınıflandırılırlar. Doğrusal polimerlerde ana zincirler üzerindeki atomlarda yalnız yan gruplar bulunur. Bu polimerlerin ana zincirleri kovalent bağlarla başka zincirlere bağlı değildir. Doğrusal polimerler uygun çözücülerde çözünürler ve defalarca eritilip yeniden şekillendirilebilirler. Dallanmış polimerler; ana zincirleri kendi kimyasal yapısına özdeş başka zincir yapılarına kovalent bağlarla bağlanmış dal görünümünde yapılarıdır. Yan dalların boyları birbirinden farklı olabileceği gibi üzerinde başka dallarda bulunabilir. Dallanmış polimerlerin özellikleri genel olarak doğrusal polimerlere yakındır. Dallanmış polimerler, doğrusal polimerleri çözen çözücülerde çözünürler.

2.1.1.3. Kimyasal Yapılarına (Monomer Çeşitlerine) Göre Polimerler

Polimerler monomer çeşitlerine göre, homopolimer ve kopolimerler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Homopolimerler tek cins monomerin polimerleşmesiyle elde edilir. Kopolimerler iki ya da daha fazla monomer biriminden oluşmuş polimerlerdir. Kopolimerler zincir boyunca tekrarlayan birimlerin dağılımına göre; gelişigüzel, ardışık, blok ve graft kopolimerler olmak üzere dört kısma ayrılırlar. Polimer zincirleri üzerindeki monomerler zincir boyunca dağılmışlarsa bu tür polimerlere gelişigüzel polimerler denir. Polimer zincirinde eşdeğer miktardaki iki farklı monomer ardı ardına dizilmişlerse bu tür polimerlere ardışık polimerler denir. Blok kopolimerler, iki ya da daha fazla polimerin (monomer blokların) ucuca bağlanmasıyla oluşan yapılarıdır. Graft kopolimerler, aynı tür monomer içeren polimer zincirinin bir veya daha fazla yerinden dallanma yaparak polimerleşmesiyle oluşurlar [18,19,21].

A. Homopolimerler: Tek bir cins monomerden çıkılarak elde edilen polimerlerdir.



B. Kopolimerler: Polimer molekülü zincirinde kimyasal yapısı farklı birden fazla monomer birimi bulunan polimerlerdir.



Kopolimerlerin özelliğini, yapısını oluşturan monomerlerin oranı belirler. Ayrıca kopolimer üzerindeki monomerin diziliş şekli önemlidir. Kopolimerler zincir düzenleme şekline göre gelişigüzel, ardışık, blok ve grafit kopolimer olmak üzere dört kısma ayrılırlar.

i. Gelişigüzel Kopolimer: A ve B iki ayrı monomeri göstermek üzere, zincirde bulunan monomer birimlerinin zincir boyunca sıralanmasında belli bir düzen yoktur. Kopolimerin özelliği monomerlerden farklıdır.



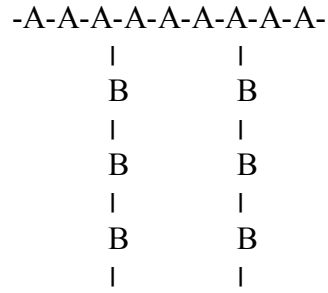
ii. Ardışık Kopolimer: Kopolimer zinciri üzerinde bulunan monomerler düzenli bir şekilde sıralanmışlardır.



iii. Blok Kopolimerler: İki ayrı cins monomer bloklarının değişik şekillerde düzenlendiği polimerlerdir. Monomer bloklarının dizilişlerine göre blok kopolimerler üç grupta incelenebilirler.

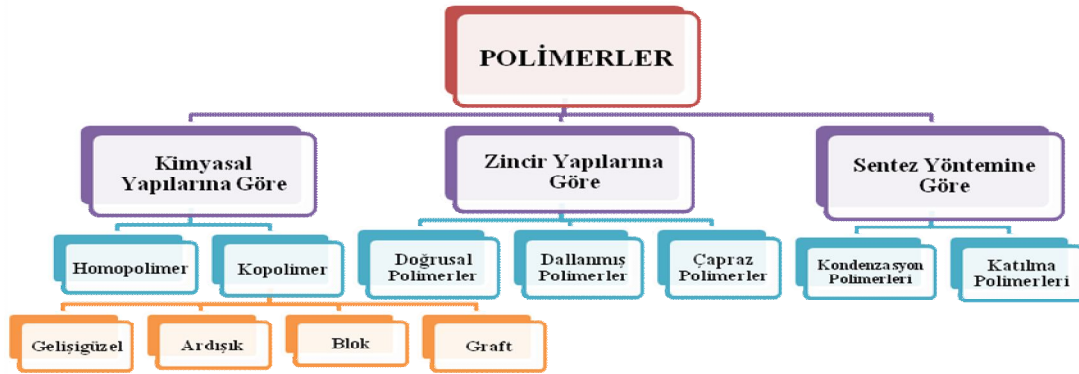


iv. *Graft Kopolimer*: Ana zincirden farklı monomerler içeren zincirlerin, ana zincire bir veya birkaç yerinden dallanmalar göstererek bağlanması ile oluşmuş kopolimerlerdir.



Polimerlerin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Polimerlerin çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması



2.1.2. Polimerlerin Molekül Ağırlığı

Polimerlerin birçok kimyasal, fiziksel ve mekaniksel özellikleri molekül ağırlığı ile yakından ilişkilidir. Polimerik maddelerin ilginç ve yararlı mekanik özellikleri, bu tür maddelerin yüksek molekül ağırlıklı olmalarına dayanır. Bu nedenle polimerlerin beklenen fiziksel özellikleri gösterebilmeleri için belirli bir molekül ağırlığına sahip olmaları gerekir [22]. Yüksek molekül ağırlıklı polimerlerin mekanik özelliklerinde gelişme olduğu halde, işlenebilirliği düşer. Hem yeterli mekanik özelliklere sahip, hem de işlenebilir ticari polimerik ürünlerin molekül ağırlığı yaklaşık $10^4 - 10^6$ g/mol aralığındadır.

Bu nedenle, bir polimerin karakterizasyonu yapılırken bulunması gereken ilk özelliklerinden birisi mol kütesinin sayısal değeri olmalıdır. Polimerler uçucu olmadıkları, her zaman iyi çözünmedikleri ve büyük moleküllü oldukları için basit bir işlemle molekül ağırlıkları hesaplanamaz. Ayrıca, hangi mol kütesi belirleme yöntemi seçilirse seçilsin yapılacak işlemlerde polimer çözeltileri kullanılır. Genellikle molekül ağırlığının artması ile yapıda moleküller arası çekim artmakta ve bu da polimerin mekanik ve ısı özellikleri başta olmak üzere tüm özelliklerini etkilemektedir [16]. Polimerlerin molekül ağırlıkları, jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), viskozimetrik ölçüm, ozmotik basınç, son grup analizi, ultrasantrifüj ve ışık saçılması gibi yöntemlerle belirlenebilir [19]. Polimerler farklı uzunluktaki zincirlerden oluşmuşlardır. Bu yüzden polimerlerin ölçülen molekül ağırlıkları ortalama bir değerdir.

2.1.3. Polimerizasyon Yöntemleri

Polimerler genel olarak polimerizasyon (sentez) yöntemlerine göre kondenzasyon ve katılma polimerleri olarak sınıflandırılırlar [18,22].

2.1.3.1. Kondenzasyon Polimerizasyonu

İki veya daha fazla fonksiyonel grup içeren moleküllerin kovalent bağlarla birbirine bağlanarak basit moleküllerin ayrılması sonucunda gerçekleşen polimerleşmeye kondenzasyon polimerizasyonu adı verilir. Bu fonksiyonel gruplar taşıyan moleküller arasında -OH, -NH₃, -COOH türleri gözlenir. Kondenzasyon tepkimeleri ile polimer elde edebilmek için en az iki noktadan kondenzasyona girebilecek monomerler gereklidir. Kondenzasyon tepkimelerinin bu noktalarda ard arda ilerlemesiyle (polikondenzasyon) polimer zincirleri oluşur.

Kondenzasyon polimerizasyonunda ilk adımda tüm monomer molekülleri harcanır. Polimerlerin molekül ağırlığı zamanla artar. Kondenzasyon polimerleri tekrarlanan birim içerisinde yer alan karakteristik bağların türüne göre poliesterler, poliamitler, poliüretanlar gibi bazı temel gruplara ayrılırlar.

2.1.3.2. Katılma Polimerizasyonu

Kondenzasyon polimerizasyonunda, polimerizasyon ortamında bulunan her molekül birbirleriyle tepkimeye girerek zinciri büyütebilirken katılma polimerizasyonunda büyüme tepkimeleri yalnız aktif zincirler ve monomer molekülleri arasındadır.

Katılma polimerizasyonunda çok sayıda doymamış küçük moleküllerin birleşmesi söz konusudur. Genellikle, bir başlatıcı veya katalizörün oluşturduğu bir aktif merkezle polimerizasyon başlar. Bu aktif merkezin özelliğine göre dört türlü katılma polimerizasyonu ortaya çıkar. Bunlar serbest radikalik, katyonik, anyonik ve koordinasyon polimerizasyonlarıdır.

i. Serbest Radikalik Polimerizasyon

Katılma polimerizasyonunu başlatma yöntemlerinden birisi serbest radikallerden yararlanmaktır. Bağımsız olarak bulunan çiftleşmemiş elektronlara serbest radikaller denir. Serbest radikal polimerizasyonu, ısı veya ışık yardımıyla parçalanarak radikal üreten başlatıcılar kullanılarak gerçekleştirilir.

Radikal veren başlatıcılarla yapılan polimerizasyonda monomerler organik peroksit veya azo bileşikleri ile polimerleştirilirler. Serbest radikal polimerizasyonları, bir serbest radikali bulunan aktif merkez uca monomerin eklenmesiyle büyür. Her yeni monomerin polimer molekülüne ilavesiyle aktif merkez yeni oluşan zincir ucuna transfer olur. Radikalik polimerizasyon başlama, ilerleme ve sonlanma adımları üzerinden ilerler. En bilinen serbest radikal polimerizasyonu başlatıcıları; peroksitler, hidroperoksitler ve bazı azo bileşikleridir [20].

ii. Katyonik Polimerizasyon

Katyonik polimerizasyon artı yüklü aktif merkezler üzerinden ilerleyen iyonik polimerizasyonlardır. Katyonik başlatıcılar kullanılarak başlatılır ve stiren, N-vinil karbazol, α -metil sitiren, bütadien, izobütilen gibi elektron verici gruplar taşıyan monomerler bu yöntemde polimerleşirler.

Katyonik polimerizasyon, kuvvetli protonik asitler ve lewis asitleriyle başlatılabilir. Lewis asitleri yaygın kullanılan başlatıcılardır. Lewis asitleri genelde tek başlarına katyonik polimerizasyonu başlatmada yetersizdirler, proton verme özelliğine sahip katalizörler ya da yardımcı katalizörler denilen bileşikler yanında etkilidirler.

iii. Anyonik Polimerizasyon

Anyonik polimerizasyonda büyümeyi sağlayan aktif uçlar anyonik karakterdedir ve polimerizasyon genelde karbanyonlar üzerinden ilerler. Akrilamit, metakrilat, etilakrilat,

vinildenklorür, vinil asetat gibi elektron çekici gruplar taşıyan monomerler anyonik yolla polimerleşirler.

Anyonik polimerizasyon, diğer zincir tepkimelerine benzer şekilde başlama, büyüme, zincir transferi ve sonlanma adımları üzerinden ilerler. Ancak, safsızlıklardan arındırılmış anyonik polimerizasyon sistemlerinde sonlanma tepkimeleri önemsizdir ve sonlanma olmadığı varsayılır. Ayrıca, anyonik polimerizasyon genelde düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için, dallanma ve zincir transfer tepkimelerinin de anlamı yoktur. Anyonik polimerizasyonu başlatmada değişik kimyasal maddelerden yararlanılır.

Anyonik polimerizasyon sisteminde normalde sonlanma tepkimeleri gözlenmez. Büyüme adımları ortamdaki monomer molekülleri tamamen harcanana kadar sürer. Sonlanmaya su, alkol, karbondioksit gibi dışarıdan ortama katılan maddeler ya da sistemde bulunabilecek safsızlıklar neden olur [1].

iv. Koordinasyon Polimerizasyonu

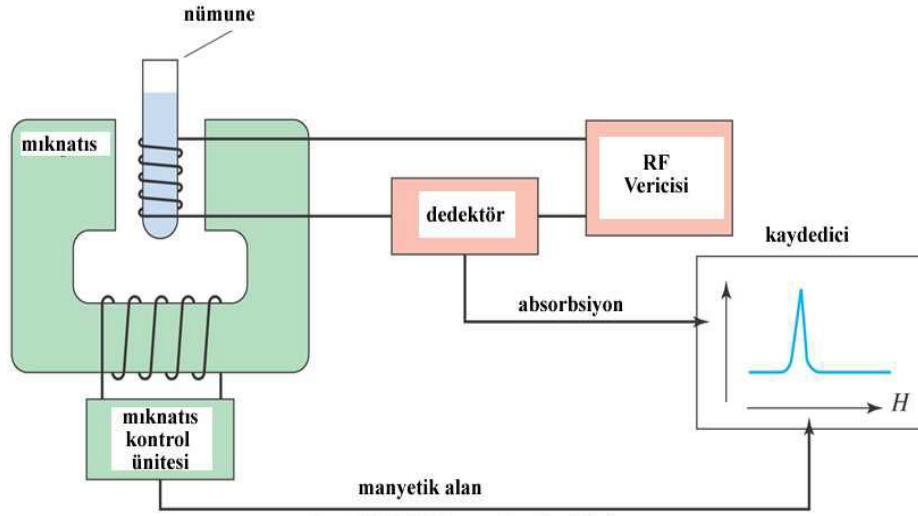
Koordinasyon bileşikleri metal-organik bağı olarakta adlandırılırlar. Koordinasyon polimerleri koordinasyon bağları ve zayıf kimyasal bağlardan meydana gelen metal iyonu ve organik ligandların oluşturduğu sistemlerdir. Koordinasyon polimerizasyonu 1950'lerde Ziegler ve Natta tarafından kendi adlarıyla anılan Ziegler-Natta katalizörlerinin (stereo spesifik katalizörler) polimer sentezinde kullanılmasıdır [1]. Bu polimerizasyonla radikal ve iyonik polimerizasyon yöntemleri ile kolay üretilmeyen yapılar çok daha ılımlı koşullarda elde edilebilmektedir. Koordinasyon polimerizasyonuna stereo spesifik polimerizasyon, bu yöntemle elde edilen polimerlere ise stereo spesifik polimer denir [1].

2.1.4. Polimerlerin Karakterizasyon Yöntemleri

2.1.4.1. Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR)

Nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (NMR) organik bileşiklerin yapılarının belirlenmesinde kullanılan en güçlü tekniktir. Çok çeşitli çekirdeklerin çalışılmasında kullanılabilir (^1H , ^{13}C , ^{15}N ...).

NMR; analiz edilen numunenin içindeki hidrojen atomunun çekirdeğindeki protonlar bir radyo frekansı kaynağından gelen belirli frekanstaki elektromanyetik bir enerjiye maruz kaldıklarında manyetik alanın gücüne bağlı olarak bu enerjiyi absorplaması olayıdır. Analiz edilen maddeye ait moleküllerin bu maddenin üzerine radyo frekans formunda gelen manyetik alandan etkilenmesi; bu moleküllerin içindeki atomların çekirdeklerinin pozisyonlarına göre olmakta ve dolayısı ile gelen enerjiyi absorplama frekansı da bu durumdan etkilenmektedir. Frekans farklılaşmasına bağlı olarak ortaya çıkan sinyal maddenin yapısına ait NMR spektrumunu vermektedir (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. NMR Spektrofotometresi

2.1.4.2. Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC)

Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), molekülleri tanecik boyutlarına göre ayırıştıran bir kromatografi yöntemidir. 1960'ların ortalarında geliştirilmiştir ve bir polimerin mol kütesinin tam anlamıyla belirlenmesinde oldukça kuvvetli bir yöntemdir. Bu teknikte çok az miktarda polimer örneğine ihtiyaç duyulması da en büyük avantajlarındanır. GPC'nin polimer moleküllerini ayırma mekanizması, basit olarak polimerlerin büyüklüklerine uygun jel gözeneklerine girmesi ve orada alıkonma sürelerinin değişmesi ilkelere dayanır.

2.1.4.3. Termal Gravimetrik Analiz (TGA)

Termal gravimetrik analiz (TGA), ağırlığın yani numunenin kütesinin, numunenin sıcaklığına ya da zamana göre ölçümüdür. Bu yöntemde programlı olarak arttırılan veya

azaltılan sıcaklık sonucunda analiz edilecek maddenin kütlesinde meydana gelecek olan azalmalar, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelenir. Sonuçta elde edilen sıcaklık kütle eğrilerine termogram veya termal bozunma eğrileri denir. Sıcaklık artışı sonucunda meydana gelen kütle kayıpları genel olarak su gibi uçucu bileşiklerin yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışmasıdır.

Termogravimetri cihazı hassas bir terazi, iyi bir fırın, kütle ve sıcaklık değişimini otomatik olarak kaydeden bir sistem, inert gazlı bir temizleyici ve analiz sırasında gaz kesebilen veya değiştirilebilen parçalardan oluşmuştur.

Bu yöntemin kullanım alanı diğer yöntemlere göre daha sınırlıdır. Sıcaklık artışı ile kütle kaybı tespit edilebilir. Bu nedenle sadece oksitlenme, buharlaşma, süblimleşme ve desorpsiyon gibi reaksiyonları inceleyebilir. Polimer maddeler için uygun bir yöntemdir. Polimerin parçalanma mekanizması hakkında bilgi verebilir.

2.1.4.4. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)

Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC), termal yöntemler içerisinde günümüzde en fazla kullanılan yöntemlerden birisidir. DSC, enerji farklarının ölçüldüğü kalorimetrik bir yöntemdir.

Bu yöntemde, numune ve referans maddesine aynı sıcaklık programı uygulanırken her iki maddenin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. Numunede bir değişiklik olursa, numuneye veya referans maddesine dışarıdan ısı eklenir.

2.1.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İnsan gözünün çok ince ayrıntıları görebilme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle görüntü iletimini sağlayan ışık yollarının mercekle değiştirilerek, daha küçük görülebilmesine olanak sağlayan optik cihazlar geliştirilmiştir. Ancak bu cihazlar, gerek büyütme miktarlarının sınırlı oluşu gerekse elde edilen görüntü üzerinden işlem yapma imkanının olmayışı nedeniyle araştırmacıları bu temel üzerinde yeni sistemler geliştirmeye itmiştir. İlk ticari Taramalı Elektron Mikroskobu 1965’de kullanılmaya başlanmış, bundan sonra teknik gelişmeler birbirini izlemiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), elektronların dalga özelliğine dayanır. Bir ışın mikroskobundan daha büyük ve üç boyutlu görüntüler verebilir. Gerek ayırım gücü,

gerek odak derinliği, gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği Taramalı Elektron Mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobunda incelenecek numunelerin vakum altında bozulmayan, katı halde ve iletken yüzeyli olması gerekmektedir. Yüzeyi iletken olmayan örnekler, mikroskoba yerleştirilmeden önce görüntüyü engellemeyen çok ince iletken bir tabaka ile kaplanarak incelenir.

Taramalı Elektron Mikroskobu yöntemiyle büyük moleköl ağırlıklı polimerik maddelerin yüzey morfolojilerini incelemek mümkündür.

2.2. YARIİLETKENLER

Yeryüzündeki bütün maddeler atomlardan oluşmuştur. Atom, merkezde pozitif yüklü (+) proton ve yüksüz nötronlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdek etrafındaki kararlı yörüngelerde dolaşan negatif yüklü (-) elektronlardan oluşmaktadır. Proton sayısı elektron sayısına eşit olan maddelere nötr, elektron sayısı fazla olan maddelere negatif (-) yüklü ve proton sayısı fazla olan maddelere ise pozitif (+) yüklü maddeler denir. Maddelerdeki yüklenme olayını (-) yüklü elektronlar sağlamaktadır, yani nötr maddeler elektron alış-verişiyle yüklü hale gelebilirler.

Katı maddeler de diğer bütün maddeler gibi atomlardan oluşmuştur. Elektriğin keşfinden sonra, katıların iletkenliği hakkında yapılan araştırmalarda bazı katıların elektriği iyi iletlediği, bazılarının kısmen ve bazılarının da hiç iletmediği gözlendi. Genel olarak atom ve molekülleri metalik veya kovalent bağlarla bağlanmış olan katıların iletkenlikleri daha iyidir. İyonik bağlı maddeler ise katı halde genellikle yalıtkandır. Katıların elektrik iletim kabiliyetlerine göre iletken, yalıtkan ve yarıiletken olmak üzere üç grupta incelenirler. Bu maddelerin elektrik iletkenliği katı içerisinde serbestçe

hareket edebilecek elektronlarının olup olmamasıyla ilgilidir. Örneğin, metaller elektron denizinde yüzen çekirdekler gibidir ve çok fazla miktarda serbest elektronları vardır. Bu serbest elektronlarından dolayı elektrik iletkenlikleri iyidir. Yalıtkanlar genellikle iyonik bağlı bileşiklerden meydana gelmiştir ve serbest hareket edebilecekleri elektronları olmadığından elektrik akımını iletmezler. Yarıiletkenler ise daha çok kovalent bağlarla oluşmuş kristal yapıdadırlar. Normal durumda elektrik akımını iletmezler, fakat küçük bir ısı, ışık veya gerilim gibi dış etkilerle iletme geçirilebilirler.

İletkenler, son yörüngelerinde 1, 2 veya 3 elektron (valans elektronları) bulunan atomlardan oluşmuştur. Bu elektronlar çekirdeğe zayıf bir kuvvetle bağlı olduğu için metalik bağdaki atomlardan ayrılarak katı içerisinde serbestçe hareket edebilirler. Elektronların bu hareketi elektrik akımının kolaylıkla iletilmesini sağlar.

Yalıtkan maddelerin son yörüngeleri ya tam doludur ya da 4'ten fazla elektrona sahiptir. Kararlı bir yapıya sahip olan yalıtkanların valans (değerlik) elektronları katı içerisinde serbest olmadıklarından elektriği iletmediği düşünülür. Oysa, yalıtkan içerisindeki elektronlar serbest hareket ederler, fakat bir yalıtıkanda birçok elektrona karşın bir o kadar da elektronlar tarafından doldurulacak enerji seviyesi vardır. Bir elektron başka bir elektronla yer değiştirirse elektronlar ayırt edilemediği için bir değişiklik meydana gelmez. Yalıtkanlarda elektronların serbestçe hareket edebileceği yüksek enerji seviyeleri de vardır, ama elektronların bu enerji seviyelerine çıkabilmeleri için yüksek gerilime ihtiyaç vardır. Yalıtkan maddeler çok küçükte olsa bir miktar akım geçirmekte olup, bu akım gerilimle orantılı olarak artmaktadır. Yalıtkan maddeleri iletken hale getirebilecek bir kırılma gerilimi vardır. Yalıtkan maddeye bir potansiyel fark uygulandığında kırılma gerilim değeri aşılsa, madde artık akım geçirmeye başlar.

Yarıiletkenler ise, elektrik iletkenliği bakımından iletkenlerle yalıtkanlar arasında yer alır. Son yörüngelerinde 4 elektronları vardır ve elektron alış-verişinden ziyade elektron ortaklaşması yaparlar. Böylece kovalent bağlı kristalleri oluştururlar. Yarıiletkenler, iletkenler kadar iyi olmasa bile, çeşitli katkı maddeleri veya ısı, ışık, manyetik etki gibi dış etkiler yardımıyla elektrik akımını iletirler.

Genel olarak iletkenlik, iletim ve valans bantlarındaki taşıyıcı (elektron ve deşik) yoğunluğu ile bu iki bant arasındaki yasak enerji bant aralığına göre tanımlanabilir. İletim ve valans bandı kısmen üst üste binmiş olan katılara iletken; taşıyıcı sayısı çok

az, yasak enerji bandı çok geniş olan katılara ise yalıtkan adı verilir. Taşıyıcı sayısı az yasak enerji bandı yalıtkan ile iletken arasında olan katılara da yarıiletken denir. Yarıiletkenlerde yasak bant aralığı 1 eV civarındadır. Yalıtkanlarda ise bu aralık 5 eV'un üzerindedir. Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı küçük olduğu için dış etkiyle iletim özelliği kazanabilirler. Metallerde sıcaklık arttıkça direnç artarken, yarıiletken maddenin direnci sıcaklıkla düşer. Bir yarıiletken maddenin en önemli ve ayırt edici özelliği, iletkenliğin sıcaklığa bağlı olmasıdır.

Yarıiletkenlerin iletkenliği, genellikle sıcaklığa, aydınlanma şiddetine, elektrik alana, manyetik alana ve safsızlık atomlarının yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Yarıiletkenlerin elektronikte kullanılması katıhal fiziğinin 20. Yüzyıl teknolojisine getirdiği belki de en büyük katkıdır [23].

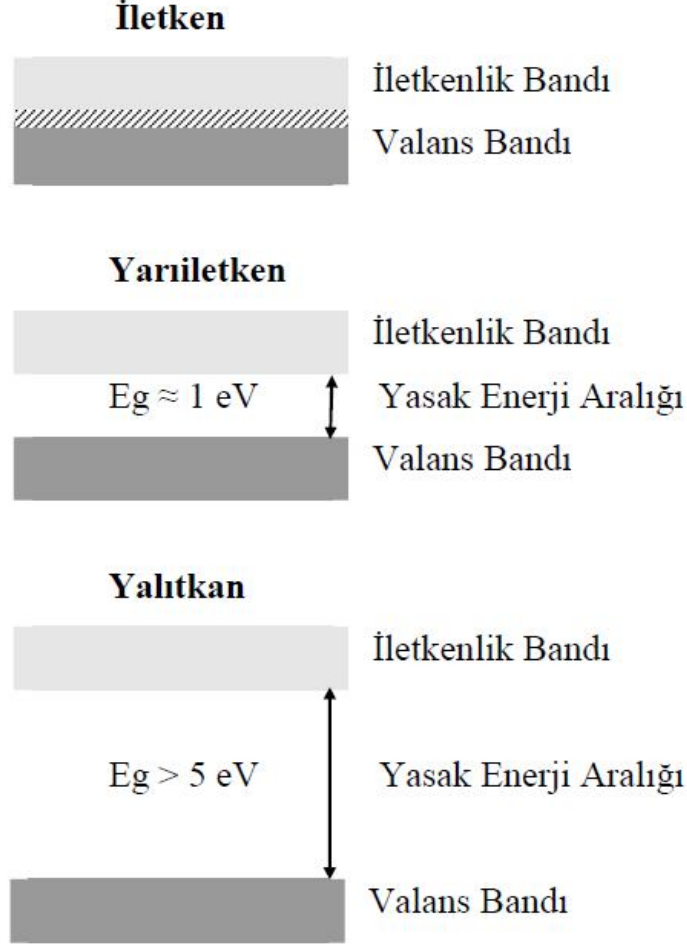
Yarıiletkenler günümüzde pek çok teknolojik alette kullanılmaktadır. Doğada bol miktarda bulunması ve yüzeyinde doğal yolla SiO_2 yalıtkan tabakanın elde edilmesi gibi sebeplerle yarıiletken olarak genellikle Silisyum tercih edilmektedir [24].

Metal, yarıiletken ve yalıtkan maddelerin iletkenlik özelliklerinin incelenmesi, bu malzemelere uygun kontakların yapılması ile mümkündür [25]. Kontak, genel anlamda iki maddenin en az dirençle (idealde sıfır) birbirine temas etmesi şeklinde düşünülür. Temas eden yüzeylerin temiz, pürüzsüz ve parlak olması ile ideal bir kontak elde edilir [14,26].

2.2.1. Katıların Bant Yapısı

Bir katının iletken, yalıtkan veya yarıiletken gruptan hangisinde olduğunu bu katının bant yapısı belirler. Katıların enerji bant yapıları, enerjinin (E) dalga vektörü (k) ile değişimiyle (E(k)) tanımlanır. Katılardaki elektronlar, atomların dalga özelliğinden dolayı bazı enerji seviyelerinde bulunamazlar. Elektronların bulunabildiği izinli enerji seviyeleri vardır.

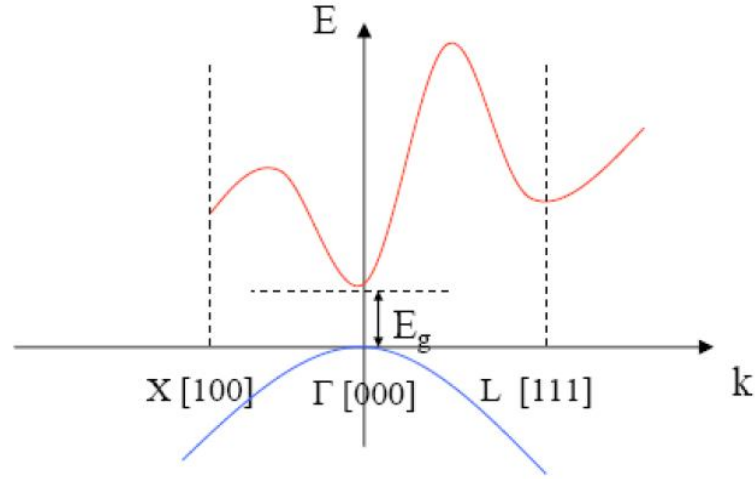
En önemli iki bant, valans ve iletkenlik bandıdır. Metallerde; mutlak sıcaklıkta elektronlarca işgal edilmiş en yüksek seviyeye valans bandı veya değerlik bandı denir. Valans bandındaki elektronların iletme katkıları yoktur. Valans bandı üstündeki ilk boş seviye ise iletkenlik bandı olarak adlandırılır. Şekil 2.2'de katıların bant diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Katıların bant diyagramı

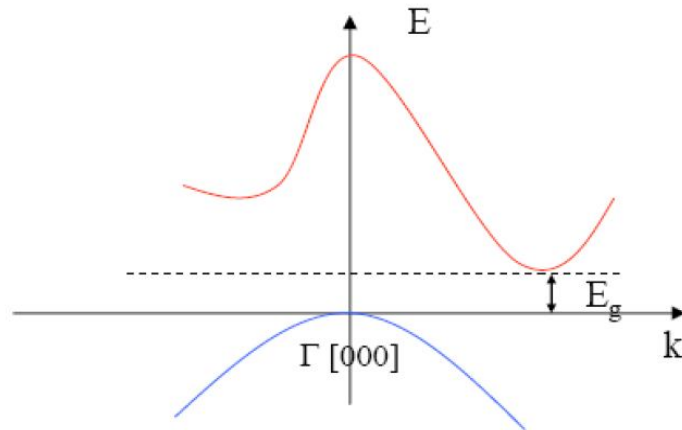
2.2.2. Yarıiletkenlerin Bant Yapısı

Bant yapılarının en belirleyici özelliği valans ve iletkenlik bantlarının konumudur. Bu iki bandın aynı doğrultuda olup olmayışına göre yarıiletkenler direkt ve indirekt bant aralıklı yarıiletkenler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Teknolojik olarak önemli birçok yarıiletkenin valans bant maksimumu gama noktası olarak bilinen $k=0$ da oluşur. İletkenlik bant minimumu $k=0$ da oluşan yarıiletkenlere direkt bant aralıklı yarıiletkenler denir. Başka bir deyişle, valans bant maksimumu ile iletkenlik bant minimumu aynı doğrultuda oluşan yarıiletkenler direkt bant aralıklıdır. GaAs, ZnS, CdS, CdSe ve InSb gibi yarıiletken malzemeler direkt bant yapısına sahiptirler.



Şekil 2.3. Direkt bant aralığı

Buna karşılık, valans bant maksimumu ile iletkenlik bant minimumu aynı doğrultuda oluşmayan yarıiletkenler ise indirekt bant aralıklı yarıiletkenler olarak adlandırılırlar. Si ve Ge indirekt bant aralıklı yarıiletkenlerdir. Silisyumun yasak enerji değeri (1,12 eV) onun optoelektronik uygulamaları için limit değerdir. Bir yarıiletkenin direkt veya indirekt bant aralığına sahip olması optik özelliklerini belirler ve bu optoelektronik uygulamalar için kullanılıp kullanılmayacağına dair en önemli kriterlerden biridir.

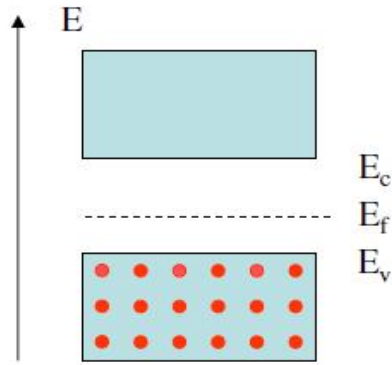


Şekil 2.4. İndirekt bant aralığı

2.2.3. Yarıiletken Tipleri

2.2.3.1. Doğal (Hakiki) Yarıiletken

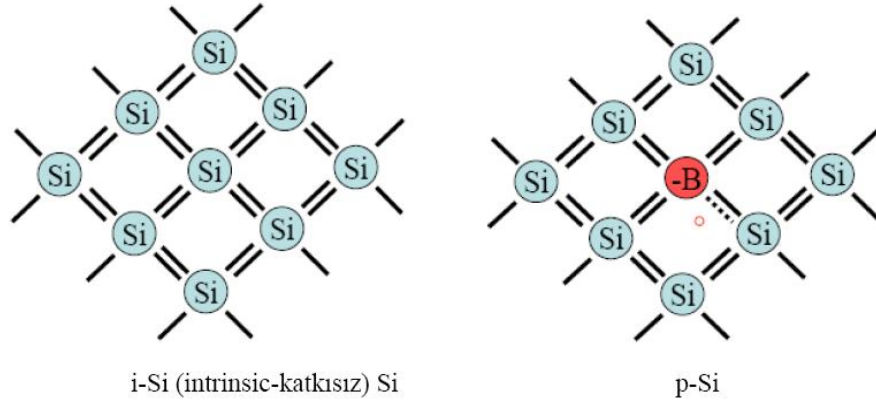
Doğal (hakiki) yarıiletkenler aslında saf yarıiletkenlerdir. Hiçbir safsızlık veya örgü kusuru içermeyen bir yarıiletken, saf yarıiletken olarak adlandırılır. Saf yarıiletkenlerde mutlak sıfır sıcaklığında kovalent bağlarda hiçbir elektron eksikliği söz konusu değildir ve serbest yük taşıyıcıları bulunmamaktadır. Ancak termal uyarılma sonucu yarıiletkenin değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına geçer ve arkalarında deşikler (holler) oluştururlar. Bu tip bir iletme katkısız iletkenlik denir. Hakiki bir yarıiletkende eşit sayıda elektron ve deşik vardır.



Şekil 2.5. Doğal (hakiki) yarıiletken

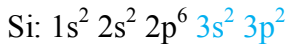
2.2.3.2. Katkılı Yarıiletken

Saf yarıiletken kristale safsızlık atomları katkılanmasıyla p-tipi veya n-tipi olarak elde edilen yarıiletkenlerdir. IV. grup elemente III. grup elementin katkılanmasıyla **p-tipi yarıiletken** elde edilir.

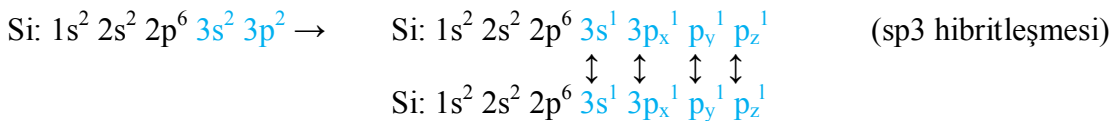


Şekil 2.6. p-tipi yarıiletkenin oluşumu

Katkılama işlemini açıklamak için silisyum örneği kullanılırsa; saf silisyum atomu 14 proton ve 14 elektrona sahiptir. Silisyum atomunun en dış yörüngesinde bulunan ve değerlik elektronu (valans elektronu) adı verilen 4 elektron komşu atomlarla olan ilişkileri belirler.

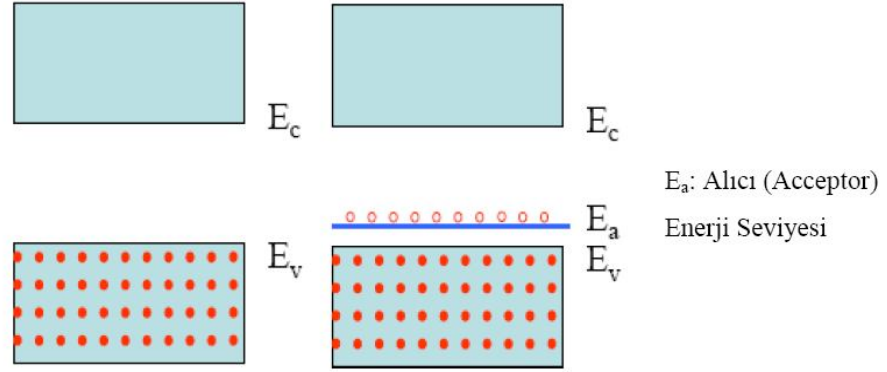


Si atomları bağ yapacağı zaman s ve p yörüngesindeki elektronlar hibritleşerek (sp^3 hibritleşmesi) dört bağ yaparak aralarında 120° olacak şekilde bağ oluşturur.



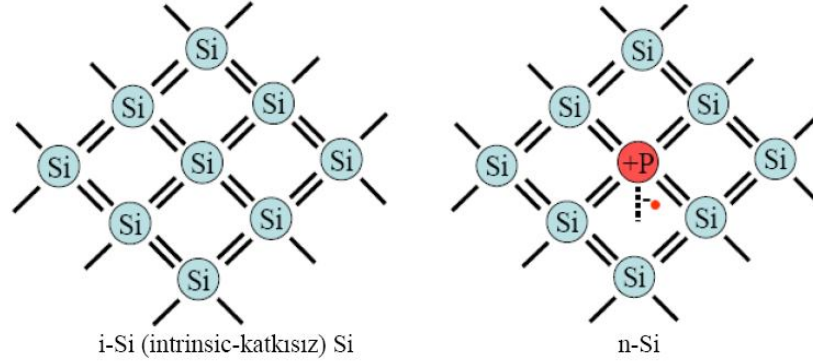
Bu hibritleşmenin sonucu olarak kovalent bağ (elektron paylaşımı) oluşarak elmas yapı (diamond) olarak bilinen kristal yapı oluşur. Saf silisyum kristali B, Al, Ga gibi valans bandında 3 elektrona sahip elementlerle katkıldığında, kristali oluşturan 4 değerlik elektronuna sahip Si atomları ile kovalent bağ yapmak için kristalden 1 elektron alır ve

4'lü bağların birinde bir elektron boşluğu oluşur. Bu boşluk bir deşik (hole) olup, tüm sıcaklıklarda iletme katkıda bulunur. Kristalden elektron aldığı için bu türden atomlara alıcı (acceptor) atomlar denir. Her alıcı atom kristalden 1 elektron aldığı için kristalde (+) yüklü deşiklerin yoğunluğu artmış olur. P-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk taşıyıcıları artı yükler gibi düşünülen boşluklardır.



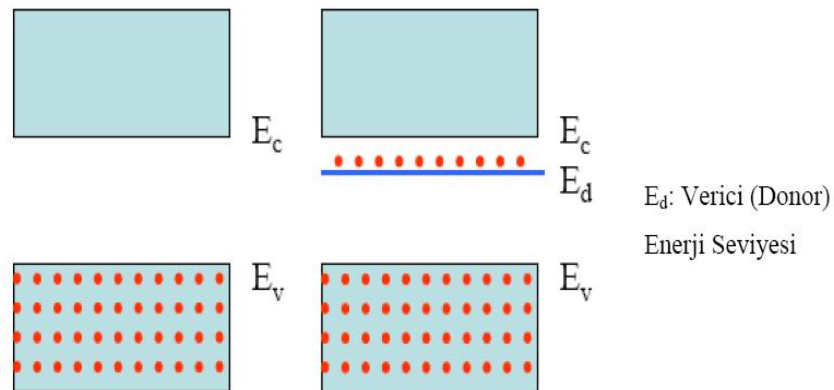
Şekil 2.7. p-tipi yarıiletkenin enerji seviyeleri

IV. grup elemente V. grup elementin katkılanmasıyla **n-tipi yarıiletkenler** elde edilir.



Şekil 2.8. n-tipi yarıiletkenin oluşumu

Saf silisyum kristali içerisine değerlik elektron sayısı 5 olan P (fosfor) gibi bir atom katkıldığında, P (fosfor) atomu kristali oluşturan 4 değerlik elektronuna sahip Si atomları ile kovalent bağ yaparak fazla olan 1 elektronunu kristale verir. Kristale elektron verdiği için bu türden atomlara verici (donör) atomlar denir. Her verici atom kristale 1 fazlalık elektron kattığı için kristalde (-) yüklü taşıyıcı yoğunluğu artmış olur. Bu tür katkılanmış yarıiletkenlere n-tipi katkılı yarıiletkenler denir ve bu yarıiletkenlerde iletim elektronlar ile olur.



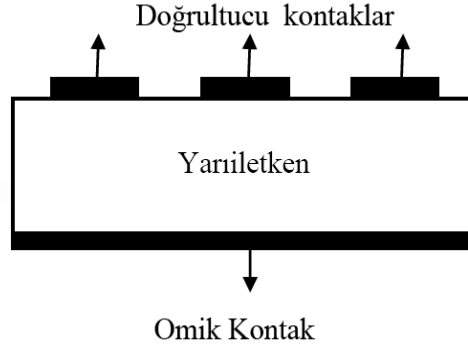
Şekil 2.9. n-tipi yarıiletkenin enerji seviyeleri

2.3. METAL-YARIİLETKEN (MS) KONTAKLAR

Schottky diyotların karakteristik özelliklerinin anlaşılabilmesi için yalıtkan ve yarıiletken malzemelerin iletkenlik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Yalıtkan ve yarıiletken malzemelerin iletkenlik özelliklerinin araştırılabilmesi ise uygun kontakların oluşturulmasıyla mümkündür. Kontak, genel anlamıyla iki maddenin birbiriyle temas etmesidir. Oluşturulan kantağın ideal olabilmesi için, kontak olarak kullanılan malzemelerin yeteri kadar pürüzsüz ve temiz olması gerekir. Metal ile yarıiletken malzeme kontak yapıldığında, her iki maddenin Fermi enerji seviyeleri eşit oluncaya kadar, hem metalden yarıiletkene hem de yarıiletkenden metale doğru yük geçişi olur. Dolayısıyla, metal-yarıiletken ara yüzeyinde yüklerin ayrışmasıyla bir potansiyel engel yüksekliği (Φ_b) oluşur. Oluşan bu bölgeye, hareketli yükler olmadığından, yüksek dirençli bir yalıtkan tabaka veya bu konuda ilk çalışan bilim adamına atfen Schottky tabakası denir. Schottky-Mott modeline göre potansiyel engel, iki maddenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

Metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ve yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) olmak üzere, bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan minimum enerji olarak tanımlanır. Fermi seviyesi, katkılanan alıcı veya verici atomların miktarına göre değiştiği için değişken yapıya sahip bir niceliktir.

Metal-yarıiletken kontaklar, doğrultucu kontak ve omik kontak olmak üzere ikiye ayrılırlar. Akım taşıyıcılarını (elektron ve deşik) bir yönden diğerine göre daha kolay geçiren kontaklara doğrultucu kontak denir. Doğrultucu kontak Schottky kontak diye de adlandırılır. Kantağın omik veya doğrultucu olması, metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır.



Şekil 2.10. Bir Schottky kontağın şematik görünümü

Metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için, $\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda doğrultucu kontak, $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise omik kontak oluşur. Metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda omik kontak, $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise doğrultucu kontak oluşur.

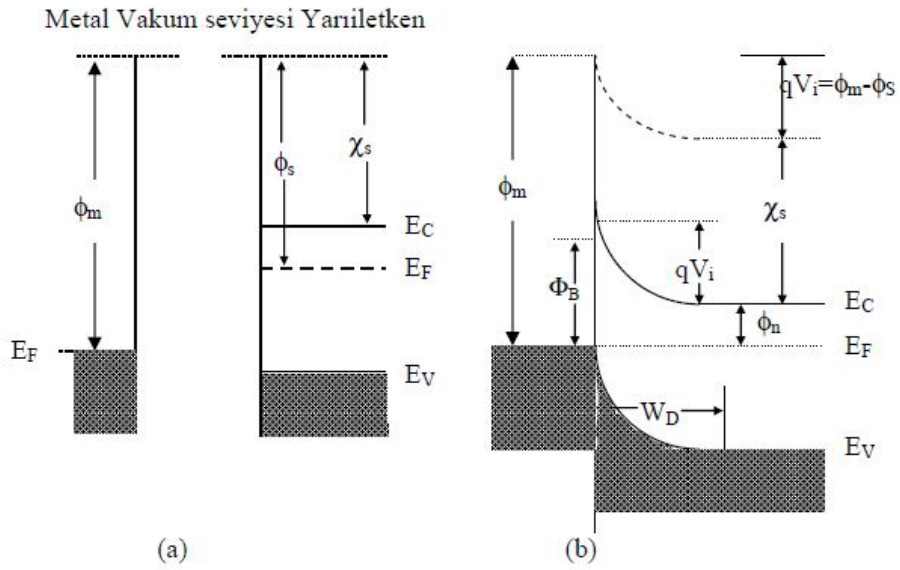
Çizelge 2.2. MS kontakların iş fonksiyonuna göre omik ve Schottky kontaklar

	Doğrultucu kontak	Omik kontak
n-tipi	$\Phi_m > \Phi_s$	$\Phi_m < \Phi_s$
p-tipi	$\Phi_m < \Phi_s$	$\Phi_m > \Phi_s$

2.3.1. Metal / n-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metal-yarıiletken diyotlarda akım taşıyıcılarını bir yönden diğerine göre daha kolay geçiren kontaklara doğrultucu kontak denir. Metalin ve n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m > \Phi_s$ ise metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı oluşur. Bir metal, bir yarıiletken ile kontak haline getirildiğinde yarıiletkenin iletkenlik bandındaki taşıyıcı elektronları metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip oldukları için metale doğru hareket ederler. Bu durum metal ile yarıiletkenin Fermi enerji seviyeleri eşitleninceye kadar devam eder. Buna bağlı olarak, yarıiletkenden metale akan elektronlar arkalarında holler bırakarak yarıiletkendeki elektron

konsantrasyonunun azalmasına neden olurlar. Metal ile yarıiletken arasındaki bu yük geçişleri nedeniyle, metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel farkı yani bir doğal elektrik alan oluşur. Özellikle, bu potansiyel engel, yarıiletkendeki katkı atomlarının konsantrasyonu ve numunenin sıcaklığı akım-iletim mekanizmalarını kontrol eder [27]. Yük geçişleri sonucunda metal ile yarıiletken arasında serbest elektronlardan arınmış bir bölge (tüketim bölgesi) oluşur ki bu bölgeye Schottky bölgesi veya uzay yükü bölgesi denir.



Şekil 2.11. Metal/n-tipi doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı

(a) Kontakdan önce

(b) Kontakdan sonra termal dengede

Metal ile yarıiletken kontak edilmeden önce, yarıiletken yüzey durumları içermediğinden yüzeyin bant yapısı yarıiletken gövde bant yapısı ile aynıdır, yani bantlarda bir bükülme yoktur. Metal yarıiletkenle kontak haline getirildiğinde, elektronlar yarıiletkenden metale doğru akarlar. Bu geçiş sonucunda, yarıiletken sınırında serbest elektron konsantrasyonu azaldığından dolayı yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi ile iletkenlik bandı arasındaki yarıılma artacaktır ($E_c - E_F$). Termal dengede E_F tamamen sabit kaldığı ve yasak enerji aralığı değişmediği için iletkenlik ve valans bant kenarları yukarı doğru bükülürler. Yarıiletkenin vakum seviyesi ve yarıiletkenin elektron yakınlığı χ_s kontak ile değişmediğinden aynı şekilde yukarı doğru bükülürler. Yarıiletkenden metale geçen yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar arkalarında pozitif yüklü donör iyonları bırakırlar. Böylece yarıiletkenin metale bakan ön yüzeyinde ince bir pozitif yük ve metalin yarıiletkene bakan yüzeyinde ise ince bir negatif yük tabakası oluşur ve bu tabakalara sırasıyla pozitif ve negatif uzay yükü bölgesi denilir. Bu iki yük tabakası arasındaki genişlik ise tüketim bölgesi olarak adlandırılır.

Termal denge durumunda kontak potansiyeli olarak adlandırılan qV_i , metal ile yarıiletken malzemelerin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir ($qV_i = \Phi_m - \Phi_s$). Yani yarıiletkenden metale geçecek olan yüklerin gördüğü potansiyel engel yüksekliği qV_i kadardır. Metalden yarıiletkene geçecek olan yüklerin gördüğü potansiyel engel yüksekliği ise;

$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.1)$$

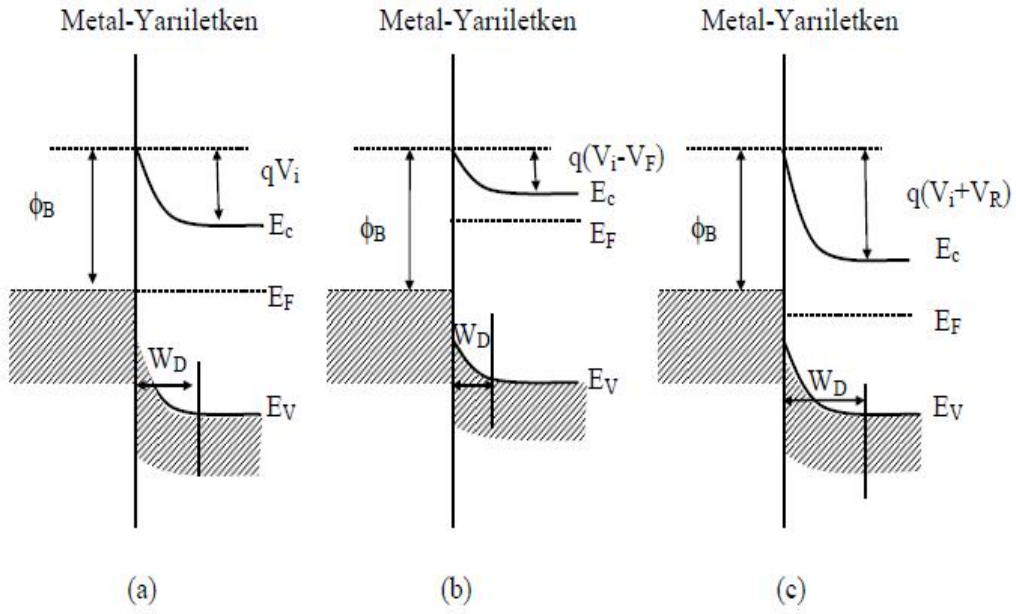
ile verilir.

$\Phi_s = \chi_s + \Phi_n$ ve $\Phi_m = qV_i + \Phi_s$ oldukları dikkate alınırsa Denk. 2.1 ifadesi,

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.2)$$

olarak yazılabilir.

Denk. 2.1 hem Schottky hem de Mott tarafından birbirlerinden bağımsız olarak verilmiştir. Devrede sürekli bir yük akışını sağlamak için, metal yarıiletken kontağı doğru veya ters olarak ön-gerilimlemek gerekir. Bu sebeple, metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda metal pozitif ve yarıiletken negatif olacak şekilde ön-gerilimlenirse buna doğru ön-gerilim denir. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda metal negatif ve yarıiletken pozitif olacak şekilde ön-gerilimlenmesi durumuna ise ters ön-gerilim denir.



Şekil 2.12. Metal/n-tipi doğrultucu kontak için enerji-bant diyagramı

- (a) Termal denge durumu
- (b) Doğru beslem
- (c) Ters beslem

Bir diyota uygulanacak olan doğru ya da ters bir 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 uygulandığında oluşan yeni potansiyel engel yüksekliği (qV_i) bu V_F kadar azalacak ($q(V_i - V_F)$) ve ters ön-gerilim durumunda ise V_{\square} kadar artacaktır ($q(V_i + V_{\square})$). Dolayısıyla, diyot doğru ön-gerilimlendiğinde azalan engel yüksekliği sebebiyle tam olarak iletme geçerken, ters ön-gerilimlendiğinde ise hemen hemen hiç akım geçirmeyecektir. Diyotların bu şekilde bir yönde akım geçirme davranışına ise “doğrultma oranı” adı verilir.

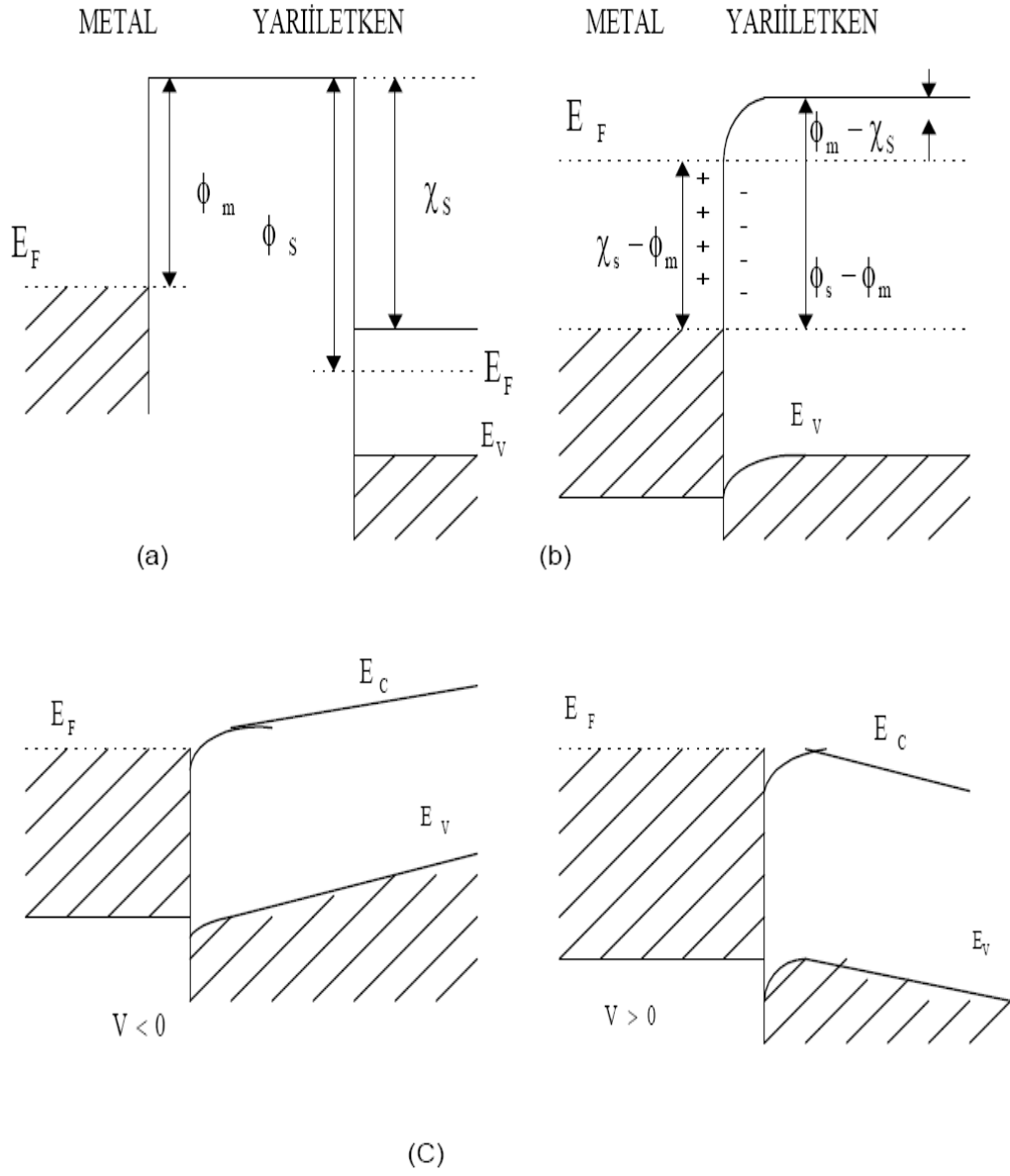
2.3.2. Metal / n-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Omik kontak, elektronların her iki yönde de kolayca hareket edebildiği kontak türüdür. Bu tür kontaklarda, yarıiletken metale ve metalden yarıiletkene doğru yük akışı olur. Omik kontak oluşabilmesi için yarıiletkenin iş fonksiyonunun metalin iş fonksiyonundan büyük olması gerekir ($\Phi_s > \Phi_m$). Kontak edilmeden önce yarıiletkenin Fermi seviyesi metalden Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontak oluştuğunda elektronlar metalden yarıiletkene doğru akarlar. Termal denge sağlanıncaya kadar devam eden elektron akışı sonunda kontak metal tarafında pozitif yüzey yükleri birikirken, yarıiletken tarafında negatif uzay yükleri birikir. Böylece kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelir.

Metal/n-tipi yarıiletken omik kontaklarda metal tarafına $+V$ gerilim uygulanırsa, yarıiletken metale akan elektronlar için bir engel olmadığından kolayca hareket edebilirler. Eğer yarıiletken tarafına bir $+V$ gerilimi uygulanırsa, elektronların karşılaşacakları engel yüksekliği yine çok küçük olduğu için elektronlar metalden yarıiletkene doğru kolayca hareket edebilirler.

Yarıiletken kısmına pozitif ve metal kısmına negatif bir voltaj uygulandığında, metaldeki elektronlar yarıiletken tarafına rahat bir şekilde geçerler, bu yüzden omik kontaklara enjeksiyon kontakları da denir [28].

Omik kontak oluşturabilmek için, n-tipi yarıiletkenin yüzeyine metal buharlaştırılır ve yarıiletkenle alaşım haline gelmesi için belirli bir sıcaklıkta tavlınır. Böylece yarıiletkenin yüzeyinde bir n^+ tabakası oluşur. Bu n^+ tabakası yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından daha zengindir.



Şekil 2.13. Metal/n-tipi omik kontak için enerji-bant diyagramı

- (a) Kontaktan önce
- (b) Kontaktan sonra termal denge durumu
- (c) $V < 0$ ve $V > 0$ olması durumu

2.3.3. Metal / p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metalin ve p-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda metal/p-tipi doğrultucu kontak oluşur. Metal ile yarıiletken kontak edilmeden önce, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontak oluştuktan sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı seviyeye ulaşınca kadar metalden yarıiletkene doğru elektron akışı olur. Bunun sonucu olarak yarıiletkenin ön yüzeyi negatif olarak yüklenir. Metalden yarıiletkene geçen elektronlar arkasında deşikler bırakarak metalin ön yüzeyinin de yüklenmesine sebep olur. Bu negatif yük tabakası iyonize olmuş alıcılar (acceptor) tarafından oluşturulurlar ve d kalınlığındaki bir uzay yük tabakası içinde dağılırlar.

Kontak oluştuktan sonra, yarıiletkenin enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiği için, yarıiletken tarafındaki deşikler (holler) için görülen engel yüksekliği;

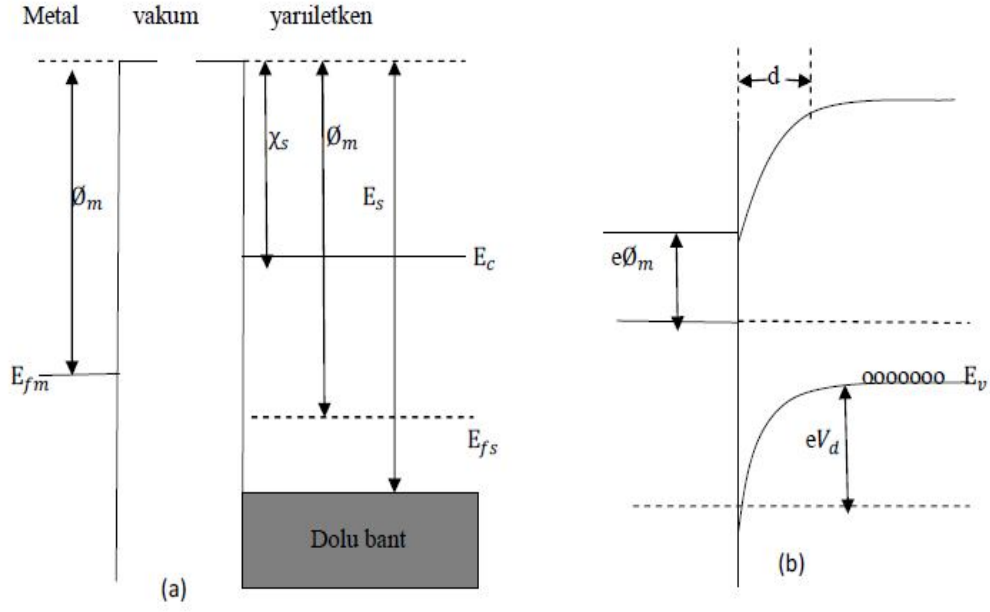
$$eV_d = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.3)$$

olur. Burada V_d kontak potansiyel farkıdır ve metalin yüzeyine göre alınır.

Kontağın metal tarafındaki deşikler için görülen engel yüksekliği ise;

$$e\Phi_{bn} = E_s - \Phi_m \quad (2.4)$$

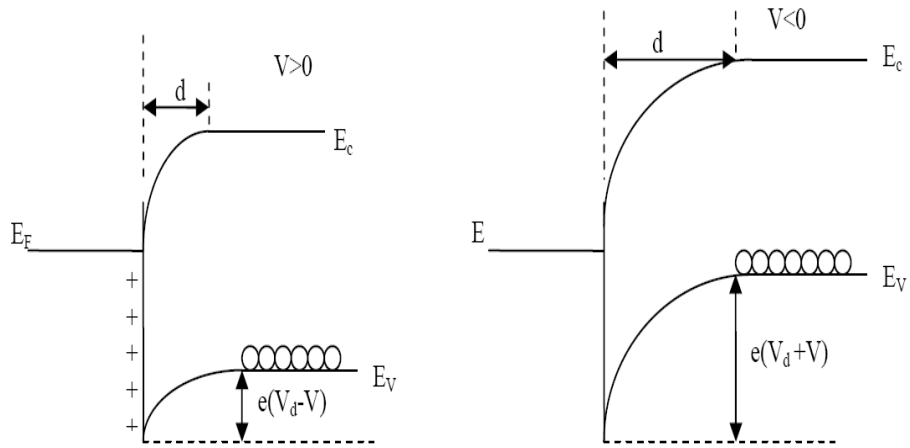
olur.



Şekil 2.14. Metal/p-tipi doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı

(a) Kontakten önce

(b) Kontakten sonra termal denge durumu



Şekil 2.15. Metal/p-tipi doğrultucu kontağın $V \neq 0$ olması durumunda enerji-bant diyagramı

Termal uyarılmadan dolayı, metal ve yarıiletken tarafındaki bazı holler potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanıp metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale geçebilirler. Bunun sonucunda engeli geçen eşit ve zıt yönlü iki I_{\square} akımı oluşur. Dengeyi bozmak için yarıiletkene bir V gerilimi uygulanırsa metalden yarıiletkene olan hol akımı değişmez, ancak yarıiletkenden metale akan hol akımında $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar bir değişim olur. Bu değişim sonucunda yarıiletkendeki bütün enerji seviyeleri eV kadar düşer ve yarıiletkenden metale doğru akan holler için engel yüksekliği eV kadar azalır.

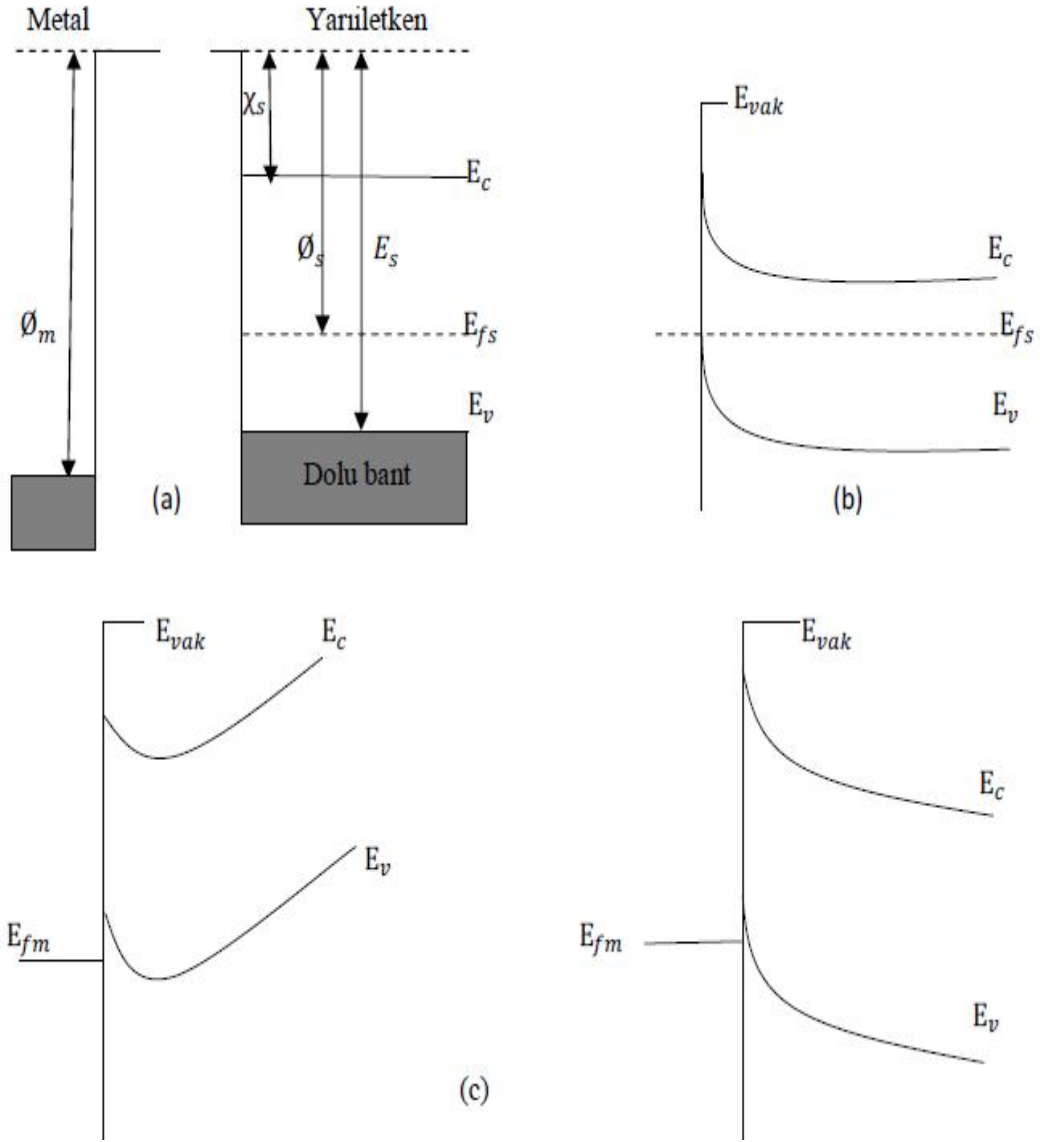
Sonuç olarak yarıiletkenden metale doğru geçen boşlukların oluşturduğu akım pozitif alınırsa, karakteristik akım;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

olur ve bu kontak doğrultucu bir kontakır.

2.3.4. Metal / p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontak edildikten sonra, yarıiletkendeki elektronlar arkalarında pozitif yükler bırakarak metal tarafına geçerler ve dolayısıyla metalin ön yüzeyinde negatif yükler oluşur. Ohm kanununa uyan ve her iki doğrultuda akım geçirebilen kontaklar omik kontak olarak isimlendirilir ve kontak direnci mümkün olduğu kadar düşüktür. Yarıiletken tarafında azalan elektron konsantrasyonundan dolayı yarıiletkenin Fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar düşer. Yarıiletkendeki hol (deşik) yoğunluğunun artmasından dolayı da yarıiletken ön yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Metaldeki elektronlar, yarıiletkenin içindeki izinli durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketi hollerin yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen holler (yüksek elektron yoğunluğundan dolayı) nötr duruma gelirler. Ters beslem durumunda, hem metalden yarıiletkene hem de yarıiletkenden metale doğru yük akışı kolaylıkla olacağından bu tür kontaklar omik kontak olarak bilinir.

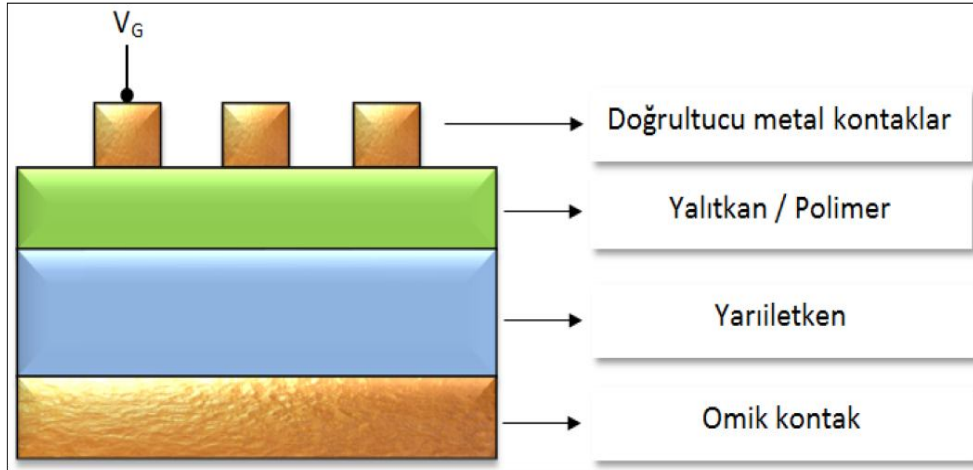


Şekil 2.16. Metal/p-tipi omik kantağın enerji-bant diyagramı

- (a) KONTAKTAN ÖNCE
- (b) KONTAKTAN SONRA TERMAL DENGE DURUMU
- (c) $V < 0$ VE $V > 0$ OLMASI DURUMU

2.4. METAL-POLİMER-YARIİLETKEN (MPS) KONTAKLAR

Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan ya da polimer bir arayüzey tabakası kaplanırsa, metal/yarıiletken (MS) yapı metal-yalıtkan/polimer-yarıiletken (MIS veya MPS) yapıya dönüşür. Kaplanan bu arayüzey tabaka, hem metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder hem de metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. Kullanılan yalıtkan veya polimer arayüzey tabakanın varlığı aygıt performansı, güvenilirliği ve kararlılığı açısından önem taşımaktadır. Metal/yarıiletken (MS) yapılarda kullanılan polimer bir arayüzey tabaka daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları gerçekleştirmesi, sızıntı akımını azaltması ve daha iyi elektriksel iletkenlik sağlaması gibi sebepler nedeniyle özellikle tercih edilmektedir [27]. Metal/yarıiletken Schottky diyotlar, hem arayüzey tabakaya hem de bir seri dirence sahip ise diyot üzerine uygulanan voltaj (V_{\square}); arayüzey tabaka, yapının seri direnci ve diyot tarafından ($V_{\square} = V_{\square} + V_{R_s} + V_i$) bölüşülecektir. Bu yüzden MIS veya MPS yapıların akım-iletimi MS yapılardan oldukça farklı olacaktır. Bir MIS veya MPS yapının şematik diyagramı Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

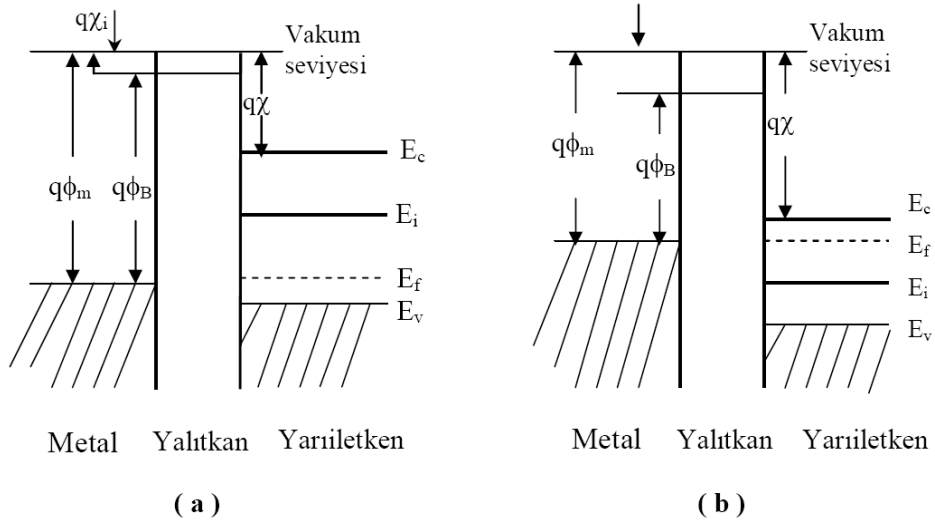


Şekil 2.17. Bir MPS (MIS) yapının şematik gösterimi

Safsızlıklardan veya doymamış başlardan kaynaklanan MS arayüzeyindeki durumlar ve kullanılan yöntemle başlı olarak ortaya çıkan hareketli iyonlar ve arayüzey yüklerinin bulunması MIS yapısının özelliklerini değiştirmekte ve MIS yapısının ideal özelliklerinden sapmasına neden olmaktadır.

2.4.1. İdeal MIS Yapı

İdeal MIS yapının, $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. $V=0$ 'da ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramı

(a) p-tipi yarıiletken

(b) n-tipi yarıiletken

İdeal bir MIS yapıdaki özellikler aşağıdaki gibi tanımlanabilir [29-31].

- ✓ Denge durumunda metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki fark sıfırdır.

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \quad (\text{n-tipi}) \quad (2.6)$$

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_B \right) = 0 \quad (\text{p-tipi}) \quad (2.7)$$

Burada χ yarıiletken elektron yakınlığı, E_g yarıiletkenin yasak enerji aralığı, ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.

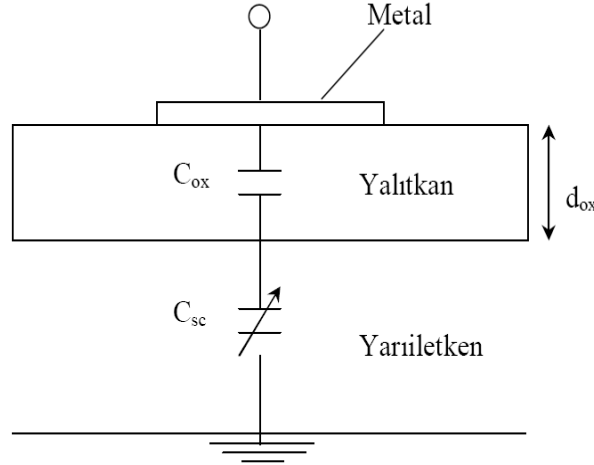
- ✓ d.c gerilim altında yalıtkan doğru taşıyıcı geçişi yoktur, yani yalıtkanın özdirenci sonsuzdur.
- ✓ Herhangi bir beslem altında, yapıdaki yükler yalıtkan ile bitişik, metal yüzeyindekiler ile yarıiletkenlerdeki eşit miktarda ama zıt yönlüdür.

İdeal bir MIS yapıda, metal elektroda bir gerilim uygulandığında yarıiletkende yük kaymaları oluşur. Yarıiletkendeki serbest hareketli yük yoğunluğu metaldekine göre daha az ve uygulanan gerilime bağlıdır. Yarıiletken arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine neden olan Q_{sc} uzay yükü oluşur. Termal denge durumunda arayüzey bölgesindeki uzay yükü potansiyelin büyüklüğü ile belirlenir. Yarıiletkendeki yükler katkılama türüne göre çoğunluk ve azınlık taşıyıcılar olup, yarıiletkende metallere göre serbest olmayan yükler bulunduğu için uygulanan gerilime bağlı olarak yük, ya uzay yükü bölgesini ya da arayüzey bölgesindeki yığılmaları oluşturur [32,33]. Uygulanan gerilim;

$$V_G = V_{ox} + \psi_s \quad (2.8)$$

eşitliği ile yazılabilir. Burada, V_{ox} yalıtkan üzerine düşen gerilim, ψ_s ise arayüzeydeki bant gerilimidir [31].

Metal ve yarıiletken tabaka arasındaki yalıtkan/polimer tabakadan dolayı metal ile yarıiletken arasında bir kapasitans (C) oluşur. Bu kapasitans MIS kapasitansı olarak adlandırılır. Uygulanan gerilimde küçük diferansiyel değişimler varsa MIS yapının kapasitansı; yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} veya C_i ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} 'den oluşur [34].



Şekil 2.19. Bir MIS kapasitansının eşdeğer devresi

Şekil 2.19'daki eşdeğer devrenin çözümünde MIS kapasitansı denk.2.9 ile verilir.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_{ox}} \quad (2.9)$$

Bu ifadeye göre MIS yapının eşdeğer kapasitansı, C_{sc} ve C_{ox} kapasitanslarının seri bağlanmasına eşdeğerdir. Yalıtkan veya polimer tabakanın kapasitansı C_{ox} ise;

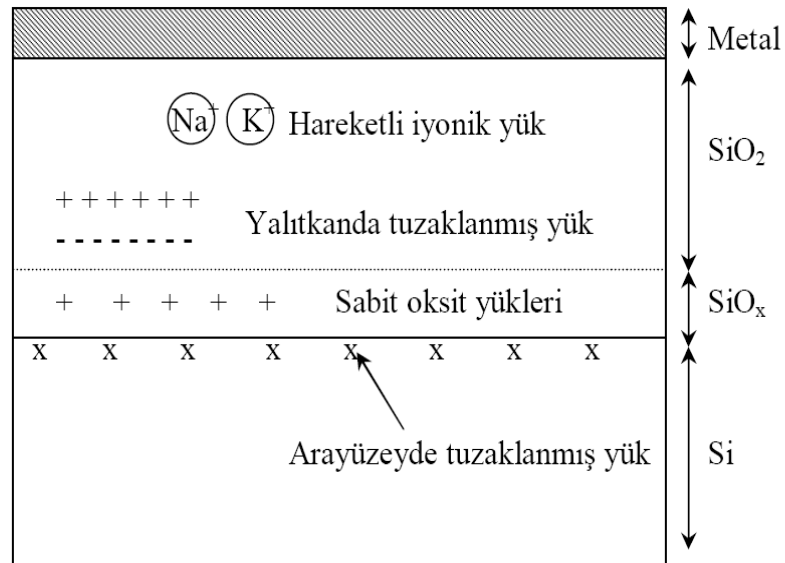
$$C_{ox} = \left(\frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} \right) A \quad (2.10)$$

ile verilir. Burada ϵ_{ox} yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti, A doğrultucu kontağın alanı, d_{ox} ise arayüzey tabakanın kalınlığıdır. MIS yapının kapasitansındaki değişimi sadece C_{sc} uzay yükü kapasitansı belirler.

2.4.2. Gerçek MIS Yapı

MIS yapıdaki ideal bir yalıtkanın içerisinde ve yarıiletken ile birleşim yüzeyi arasında hiçbir hareketli yük yoktur. Fakat gerçek yapılarda yalıtkan ve yarıiletken arayüzeyi hiçbir zaman elektriksel olarak nötr değildir. Doymamış bağlardan veya safsızlıklardan kaynaklanan yalıtkan-yarıiletken arayüzeyindeki arayüzey durumları olarak isimlendirilen tuzaklanmış birçok yük ve oksidasyon esnasında yonteme bağlı olarak ortaya çıkan hareketli iyonlar, tuzaklar, sabit oksit ve arayüzey yüklerinin bulunması MIS yapının elektriksel özelliklerini değiştirerek, MIS yapının ideal özelliklerinden sapmasına neden olmaktadır [32,33,35,36].

Gerçek bir MIS yapıda birçok arayüzey durumu ve yükler mevcuttur. Bunlar, yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içinde enerji seviyeleri gibi tanımlanan arayüzey durumları, yarıiletken yüzeyinde veya yakınında yerleşmiş olan ve uygulanan elektrik alan altında hareketsiz olan sabit yüzey yükleri ve yalıtkan içindeki hareketli iyonlar şeklinde olan durumlardır ve Şekil 2.20’de gösterilmiştir [31].



Şekil 2.20. İdeal olmayan MIS yapıda arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması

2.4.3. MIS Yapılarda Arayüzey Durum Yoğunluğu Teorisi

Bir MIS/MPS yapıda arayüzey tuzaklar ve oksit yüklerinin varlığı MIS yapının ideal durumdan sapmasına neden olacaktır. Bir yarıiletkenin kristal yapısında bulunan yabancı bir atom yada bir bozunmadan dolayı metal ile yarıiletken arayüzeyi yakınında yasak enerji bölgesinde enerji seviyeleri oluşur ve bunlar diyotun performansını olumsuz yönde etkiler. Yani bir MIS yapılışı esnasında, yarıiletkenin yüzeyi ne kadar temizlense de giderilemeyen ve yarıiletken örgünün son bulduğu kristal yüzeyindeki düzensizlikler sonucunda da yasak enerji bölgesinde birim alan başına çok sayıda enerji seviyesi meydana gelir. Ortaya çıkan bu enerji seviyelerinin yoğunluğunun teorik olarak $10^{15} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ civarında olması gerekirken deneysel sonuçlar bunların yaklaşık $10^{12} - 10^{13} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ mertebesinde olduğunu göstermektedir [35]. Yüzey durumları yavaş ve hızlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Yavaş yüzey durumları arayüzey tabakanın metal tarafındaki yüzeyinde bulunur. Bunlar yalıtkan yapısındaki hareketsiz yükler içeren bozukluklar ile yeterli sıcaklıklarda ve özellikle yüksek elektrik alan altında oksit içerisinde göç etmeye yatkın, hareketli iyonlar tarafından meydana getirilir. Yavaş yüzey durumları termal oksidasyon ile giderilebilir ve MIS kapasitesini etkilemez.

Hızlı yüzey durumları, arayüzey tabaka ile yarıiletken arayüzeyi yakınında yer alır ve yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjilere sahiptir. Dolayısıyla bant bükülmesi ile yani yüzey potansiyelinin değişmesi ile yüzey durumları da bükülmeyen Fermi seviyesine göre aşağı yukarı hareket edeceğinden iletkenlik bandı ile ani yük alışverişi yapar. Arayüzeyde bulunan ve yasak enerji bölgesi dışındaki enerjilere sahip yüzey durumlarına sabit yüzey durumları ve taşıdıkları yüke de sabit yüzey yükü veya oksit yükü denir.

Tuzaklanmış arayüzey yükleri, yarıiletken-yalıtkan arayüzeyinde, yarıiletkenin yasak enerji bant aralığındaki enerji durumlarına sahip ve kısa bir sürede silisyumdaki iletkenlik veya valans bandı ile ani yük alışverişi yapabildiklerinden dolayı bu yüzey durumlarına yüzey rekombinasyon (yeniden birleştirme) merkezleri de denir.

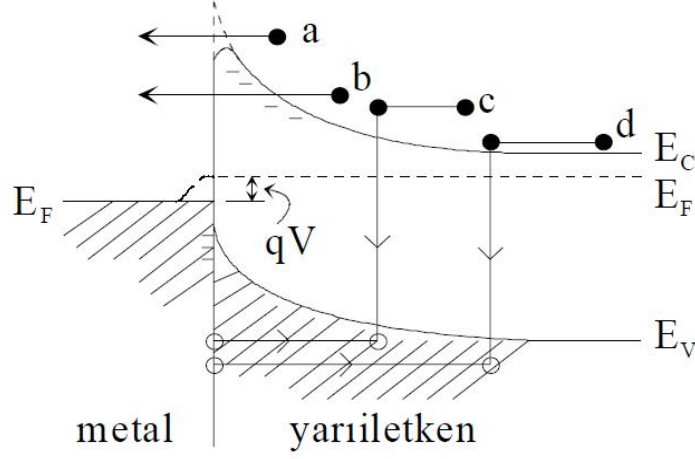
Bir beslem altında arayüzey tuzak seviyeleri iletkenlik veya valans bantları ile Fermi seviyesi sabitleşene kadar aşağı veya yukarı hareket eder. Bu değişim MIS kapasitesinde ve ideal eğrisinde değişmeye neden olur.

2.5. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLARDA AKIM-İLETİM MEKANİZMALARI

Metal-yarıiletken kontaklarda bir dış elektrik alan altındaki akım iletimi; arayüzey durumları, seri direnç, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan veya polimer tabaka, gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi gibi faktörlerden etkilenir. Bu sebeple MS kontakların elektriksel karakteristiklerinin anlaşılmasında, hangi akım-iletim mekanizmalarının etkili olduğunu belirlemek çok önemlidir. MS ve MIS/MPS yapılı kontaklarda başlıca akım-iletim mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [27, 37-39].

- ✓ Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
- ✓ Difüzyon Teorisi
- ✓ Termiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
- ✓ Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termiyonik Alan Emisyonu (TAE), Alan Emisyonu (AE) ve Çok Katlı Tünelleme)
- ✓ Uzay Yük Bölgesinde Rekombinasyon
- ✓ Deşik Enjeksiyonu
- ✓ T_0 Etkili Akım İletimi

Şekil 2.21’de doğru beslem altındaki metal/n-tipi yarıiletkende akım-iletim mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Metal/n-tipi yarıiletkende doğru beslem altında temel akım-iletim mekanizmaları

- (a) Potansiyel engelin tepesi üzerinden, metalin içine doğru elektronların iletimi (termiyonik emisyon)
- (b) Elektronların engel içinden doğrudan kuantum-mekaniksel tünellemeleri (engel içinde tünelleme)
- (c) Uzay yük bölgesinde yeniden birleşme
- (d) Metalden yarıiletkene deşik enjeksiyonu

2.5.1. Termiyonik Emisyon (TE) Teorisi

Termiyonik emisyon, sıcak bir yüzeyden elektron veya boşluk salınması anlamına gelir. Metal-yarıiletken kontaklarda termiyonik emisyon teorisi, yeterli ısısal enerji kazanan taşıyıcıların potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Schottky diyotlarda akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise boşluklar akımı sağlar. TE teorisi Bethe tarafından ileri sürülmüştür. Bu teorinin temel varsayımları aşağıdaki gibidir [35, 39-42].

- ✓ Potansiyel engelinin yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- ✓ Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır. Yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin kalınlığından daha büyüktür.
- ✓ Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte, engelin biçimi önemsiz olup akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

Bu varsayımlar kullanılarak, yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu I_{sm} , potansiyel engelini geçmeye yetecek kadar enerjiye sahip elektronların konsantrasyonu ve bunların hızı ile ifade edilir.

$$I_{sm} = \int_{E_F+q\phi_B}^{\infty} qv_x dn \quad (2.11)$$

Burada $(E_F+q\phi_B)$ metalden TE için gerekli minimum enerji, V_x iletim yönündeki taşıyıcı hızı, d_n ise küçük bir enerji aralığındaki enerji yoğunluğudur. Böylece metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu,

$$I_{sm} = \left[\left(\frac{4\pi m^* k^2}{h^3} \right) \right] T^2 \exp \left[\left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right) \right] \exp \left[\frac{qV}{kT} \right] \quad (2.12)$$

şeklinde verilir. Burada m^* taşıyıcının etkin kütlesi, k ve h ise sırasıyla Boltzmann ve Planck sabitleridir. Buradan,

$$I_{sm} = A^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right) \exp \left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.13)$$

ifadesi yazılır. Burada A^* , termiyonik emisyon için Richardson sabitidir. Metalden yarıiletkene doğru hareket eden elektronlar için engel yüksekliği aynı kalır ve metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğu uygulanan voltajdan etkilenmez. Bu akım yoğunluğu dengede ($V=0$), yarıiletkenden metale geçen akım yoğunluğuna eşittir. Buna göre metalden yarıiletkene doğru olan akım,

$$I_{ms} = -A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \quad (2.14)$$

şeklinde verilir. Toplam akım yoğunluğu ise denk. 2.13 ve denk. 2.14 eşitliklerinin toplamı olup,

$$I_n = \left[A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.15)$$

ile verilir. Burada, $A^* T^2 \exp(-q\phi_B / kT)$ ifadesi sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğudur.

2.5.2. Difüzyon Teorisi

Aralarında yoğunluk farkı bulunan bölgeler arasında, yoğunluğun çok olduğu bölgeden az olduğu bölgeye doğru olan yük geçişlerine difüzyon denir. Schottky tarafından ortaya atılan bu teori aşağıdaki varsayımlara dayanır [38-40, 43,44].

- ✓ Potansiyel engel yüksekliği, kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- ✓ Tüketim bölgesindeki elektronların çarpışma ihtimalleri dahil edilmiştir.
- ✓ $X=0$ ve $X=W$ 'deki taşıyıcı konsantrasyonu ısısal denge değerine sahip olup akımdan etkilenmez.
- ✓ Yarıiletkendeki safsızlık konsantrasyonu dejenere değildir yani katkı atomlarının yoğunluğu değişmez.
- ✓ Akım difüzyon ve sürüklenme ile sınırlanmıştır.

Bu varsayımlar doğrultusunda tüketim bölgesindeki akım, bölgesel alan ve yoğunluk farkına bağlı olduğu için akım yoğunluğu denklemi kullanılır. Bu denklemler metal/n-tipi yarıiletken Schottky kontaklar için,

$$I_x = I_n = q \left[n(x) \mu E(x) + D_n \left(\frac{\partial n}{\partial x} \right) \right] \quad (2.16)$$

$$I_n = qD_n \left[\left(\frac{-qn(x)}{kT} \right) \left(\frac{\partial V(x)}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial n}{\partial x} \right) \right] \quad (2.17)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $n(x)$, μ , D_n , $E(x)$ sırasıyla elektron yoğunluğu, elektronun mobilitesi, elektron difüzyon sabiti ve tüketim bölgesindeki elektrik alanıdır. Buradan difüzyon teorisine göre akım yoğunluğu,

$$I = I_{SD} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.18)$$

şeklinde dir. Burada I_{SD} doyum akım yoğunluğu olup,

$$I_{SD} = \left(\frac{q^2 N_c D_n}{kT} \right) \left[\frac{q(V_d - V) 2N_D}{\epsilon_s} \right]^{\frac{1}{2}} \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right) \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilir. Burada N_c , V_d , N_D ve ϵ_s sırasıyla iletkenlik bandındaki, etkin taşıyıcı yoğunluğu, difüzyon gerilimi, verici yoğunluğu ve yarıiletkenin dielektrik geçirgenliğidir.

Difüzyon ve termiyonik emisyon teorisinden elde edilen ifadeler birbirine oldukça benzerdir. Ancak difüzyon teorisi modelinde doyum akım yoğunluğu, I_{SD} , voltaja bağlıdır fakat sıcaklığa bağlılığı termiyonik emisyon teorisindeki doyum akım yoğunluğuna göre daha az duyarlıdır.

2.5.3. Termiyonik Emisyon-Difüzyon (TED) Teorisi

Crowell ve Sze, termiyonik emisyon ve difüzyon teorilerini birleştirerek termiyonik emisyon-difüzyon teorisi modelini geliştirdiler [29]. Bu teori metal-yarıiletken arayüzeyi kenarında tanımlanmış olan V_r rekombinasyon (yeniden birleşme) hızı üzerine kurulmuş bir teoredir. Metal ile yarıiletken gövde arasına uygulanan bir gerilim, metale doğru bir elektron akışına neden olur. Taşıyıcıların bir kısmı optik fonon geri saçılmalarına bir kısmı da kuantum mekanik yansımalara uğradığından akımın değeri azalır. Sze bunun nedenini, rekombinasyon hızındaki azalmaya bağlamıştır. Termiyonik emisyon-difüzyon teorisine göre elektronların MS arayüzeyinde optik fononlarla etkileşmeksizin potansiyel engel üzerinden salınma olasılığı ve ortalama iletim katsayısı değerleri gözönüne alınarak A^* Richardson sabiti A^{**} olarak değişir.

Bu durumda en genel akım-voltaj ifadesi,

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.20)$$

$$I_o = A^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{Bo}}{kT}\right) \quad (2.21)$$

şeklinde yazılır.

A^{**} , düzenlenmiş etkin Richardson sabitidir. β engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişim katsayısı olmak üzere,

$$A^{**} = A^* \exp\left(\frac{\beta}{kT}\right) \quad (2.22)$$

ile verilir. Şayet MS yapı değil de MIS yada MPS yapı varsa Richardson sabiti A_{etkin} olarak alınır.

$$A_{etk} = A^{**} \exp\left(\frac{-4\pi\delta}{h(2m^* \chi)^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

Burada δ , MIS yapıdaki tabaka kalınlığı, $m^* = m_o$ etkin kütle, h Planck sabiti, χ yarıiletken elektron yakınlığıdır. Termiyonik emisyon-difüzyon teorisine göre ideal bir Schottky diyotta n idealite faktörü 1'den uzaklaştıkça, engel yüksekliğinin voltaja bağlılığı artmaktadır. Bu durumda akım yoğunluğu,

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.24)$$

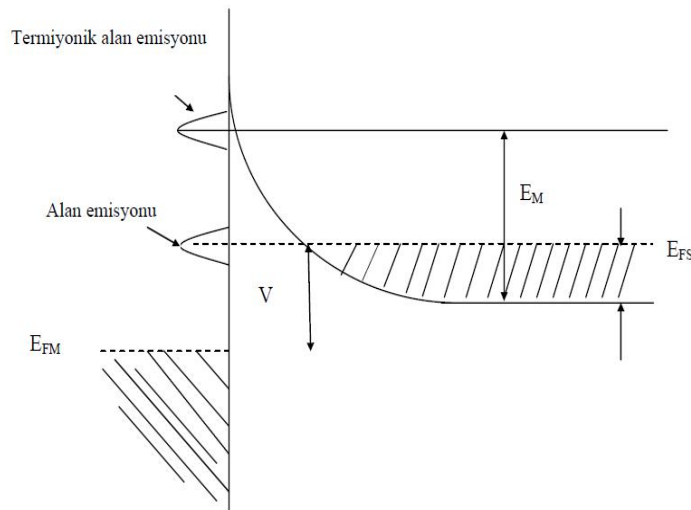
olur. n idealite faktörü, yarıiletken ile dengede arayüzey durumları (N_{ss}) ve metal-yarıiletken arasındaki yalıtkan oksit tabakasının kalınlığı (δ) cinsinden,

$$n = 1 + \frac{\delta}{\varepsilon_i} \left[\left(\frac{\varepsilon}{w}\right) + (qN_{ss}) \right] \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir.

2.5.4. Engel Boyunca Tünelleme

MS Schottky diyotlarda elektronlar termiyonik emisyon mekanizması yanında kuantum mekaniksel tünelleme ile engeli geçebilirler. Engel içinden tünelleme, çok düşük sıcaklıklarda yada yüksek katkılı yarıiletkenlerde etkili bir akım-iletim mekanizmasıdır. Çok düşük sıcaklıklarda veya yüksek katkılı yarıiletkenlerde engel genişliği küçülür ve engelden daha düşük enerjili elektronların engel içerisinden tünelleme ihtimali artar. Tünelleme olayı alan emisyonu (AE) ve termiyonik alan emisyonu (TAE) olmak üzere ikiye ayrılır. Aşırı katkılanmış dejenere ($N_d > 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) yarıiletken durumunda tünelleme doğru beslemde, düşük katkılı yarıiletkenlerde ise tünelleme ters beslemde ortaya çıkar [45]. Aşırı katkılanmış yarıiletken ve düşük sıcaklık durumunda doğru beslem yönündeki akım, yarıiletkendeki Fermi enerjisine yakın olan elektronların tünellenmesiyle artar. Bu olaya alan emisyonu (AE) adı verilir. Sıcaklık artırılırsa elektronlar daha yüksek enerjilere uyarılmış olurlar ve engel içinden tünelleme ihtimalleri artar. Böylece doğru beslem yönündeki akımda artmış olur. Bu olaya termiyonik alan emisyonu (TAE) adı verilir. Bu mekanizmalar Şekil 2.22'de gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Doğru beslemde termiyonik alan emisyonu ve alan emisyonu bant diyagramı

Schottky engeli boyunca tünelleme, Padavoni ve Stratton (1966), Crowell ve Rideout (1969) tarafından incelenmiştir. Bu incelemelere göre doğru belsemdeki alan emisyonu çok küçük doğru belsem voltajları dışında sadece dejenere yarıiletkenlerde meydana gelir.

Tünelleme akımı,

$$I = I_s \exp\left(\frac{qV}{E_o}\right) \quad (2.26)$$

şeklinde verilir. Burada E_o ,

$$E_o = E_{oo} \coth\left(\frac{E_{oo}}{kT}\right) \quad (2.27)$$

ve E_{oo} ,

$$E_{oo} = \left(\frac{qh}{4\pi}\right) \left(\frac{N_d}{m^* \epsilon_s}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.28)$$

şeklinde verilirler. Burada m^* elektronun etkin kütlesi, h Planck sabiti ve N_d ise birim hacimdeki donör (verici) katkı atomlarının sayısıdır.

Denk. 2.26'daki I_s , engel yüksekliği, yarıiletken parametreleri ve sıcaklığa bağlı olan karmaşık bir fonksiyondur ve voltaja zayıf bir şekilde bağlıdır. E_{oo} enerjisi, tünellemenin önemli bir parametresidir ve kT / E_{oo} terimi TE ve tünellemenin bağlı ölçüsüdür. Düşük sıcaklıklar için E_{oo} , kT ile kıyaslanabilir duruma gelir, $E_o \approx E_{oo}$ olur ve LnI-V eğrisinin eğimi sıcaklıktan bağımsız bir sabittir. Bu durum alan emisyonu (AE) için geçerlidir. Yüksek sıcaklıklarda ($E_{oo} \ll kT$) $E_o = kT$ olur ve LnI-V eğrisinin eğimi olan q/kT 'ye eşittir. Bu durumda termiyonik emisyon için geçerlidir. Sıcaklığın ara değerleri için eğim q/nkT olarak yazılabilir ve n ,

$$n = \frac{E_{oo}}{kT} \coth\left(\frac{E_{oo}}{kT}\right) \quad (2.29)$$

şeklinde verilir [38].

Tünelleme akımı, TAE'nin katkısı $E_{oo} \cong kT$ olduğu durum için geçerlidir ve enerji değeri E_m ,

$$E_m = \left[\frac{qV_d}{\cosh^2(E_{oo}/kT)} \right] \quad (2.30)$$

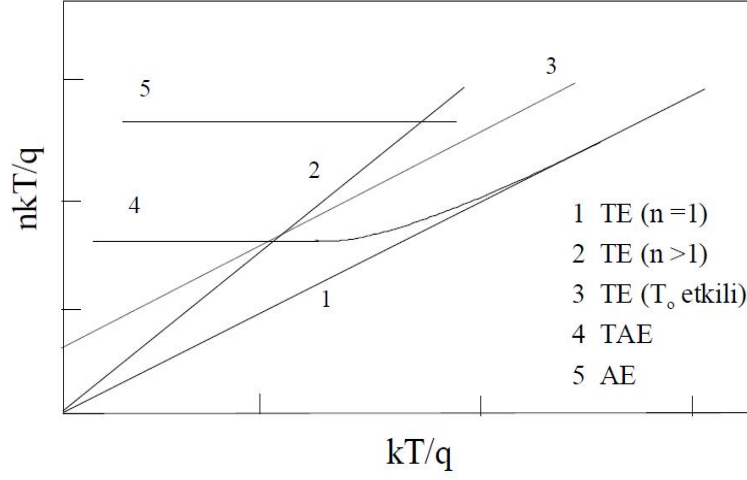
ile verilir. Burada V_d toplam bant bükülmesine karşılık gelen voltajdır ve E_m tüketim bölgesindeki iletim bandının kenarından ölçülür.

2.5.5. T_o Etkili Akım İletimi

İdealite faktörünün 1'den büyük olması arayüzey durumlarından kaynaklanıyorsa idealite faktörü n sıcaklıktan bağımsız olmalıdır. Fakat $n > 1$ olması eğer termiyonik alan emisyonundan ya da tüketim bölgesindeki rekombinasyon akımlarından kaynaklanıyorsa, idealite faktörü n sıcaklığa bağlıdır. Schottky diyotlarda n , genellikle sıcaklığa bağlıdır. T_o etkili I-V karakteristiği,

$$I = A^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{k(T+T_o)}\right) \exp\left(\frac{qV}{k(T+T_o)} - 1\right) \quad (2.31)$$

şeklinde ifade edilir [47,48]. Burada T_o , geniş bir sıcaklık aralığında sıcaklık ve voltajdan bağımsız olan sabit bir parametredir. Voltajın fonksiyonu olarak değişik akım-iletim mekanizmaları Şekil 2.23'te görüldüğü gibi olabilir. I, II, III eğrileri, termiyonik emisyon teorisinin baskın olduğu mekanizmaları belirtir ve $n = 1$, $n > 1$ ve T_o etkili durumlarına karşılık gelir. I-V eğrisi TAE ve V eğrisi ise AE iletim mekanizmalarının etkin olduğu durumları gösterir [49,50].



Şekil 2.23. Farklı akım-iletim mekanizmalarını gösteren nkT/q - kT/q grafiği

2.6. METAL YARIİLETKEN KONTAKLARDA (SCHOTTKY DİYOTLARDA) DOĞRU BESLEM I-V KARAKTERİSTİKLERİ

Schottky diyotlarda doğru beslem gerilimi çok yüksek olmadığı müddetçe akım iletimi termiyonik emisyon (TE) teorisine göre olur ve akım-gerilim ilişkisi [38,51],

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.32)$$

ile verilir. Burada V_D engel tabakası boyunca gerilim düşmesidir. Uygulamada Schottky diyotların, doğru beslem I-V karakteristikleri ideal durumdan sapmalar gösterebilir. Yani saf termiyonik emisyon teorisinde boyutsuz olan idealite faktörü 1'den büyük olabilir [52]. Bu yüzden denk. 2.32'deki akım yoğunluğu ifadesi,

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.33)$$

şeklini alır. Burada $\exp(qV/nkT) \gg 1$ durumu göz önüne alınır ve diyota uygulanan V geriliminin bir kısmı diyota bağlı seri direnç üzerine düşeceğinden (IR_s) ilavesiyle,

$$I = AA_n^{**} T^2 \exp\left(\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \quad (2.34)$$

Halinde yeniden düzenlenebilir. Burada $V_D = V - IR_s$ 'dir, V ise uygulanan dış gerilimdir.

Schottky diyotların performansını etkileyen önemli parametrelerin başında seri direnç ve kısa devre direnci gelmektedir. Schottky diyotun voltaja bağlı direnci (R_i), tüm voltaj bölgesi için denk. 2.35'deki Ohm yasası kullanılarak elde edilir.

$$R_i = \frac{dV}{dI} \quad (2.35)$$

MS ve MPS/MIS kontaklarda elektriksel parametrelerin idealden sapma sebeplerinden biri de seri direnç etkisidir. Son dönemlerde yüksek seri direnç ve idealite faktörüne sahip Schottky kontaklarda; seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği ($q\Phi_{Bn}$) gibi temel diyot parametrelerini belirlemek amacıyla yeni yöntemler geliştirilmiştir [12, 53, 54]. Bunlardan ilki Norde tarafından $n=1$ durumu için seri direnç ve engel yüksekliğinin, tanımlanan bir $F(V)$ fonksiyonu yardımıyla elde edilmesidir [54]. Bu yöntem, seri direnç ve engel yüksekliğinin, sıcaklıkla değişmediği durumlara uygulandığı için sadece bir sıcaklıkta I-V eğrisine ihtiyaç vardır. Daha sonra Sato ve Yasamura, Norde tarafından sunulan yöntemi geliştirerek, idealite faktörünün 1'den büyük olduğu ($1 < n < 2$) durumda n , R_s ve Φ_B değerlerinin hesaplanabileceğini gösterdiler [54]. Bu yöntem n , R_s ve Φ_B 'nin sıcaklık ile değiştiği durumlarda uygulanabileceğinden en az iki farklı sıcaklıktaki I-V eğrisine ihtiyaç vardır. Cheung; $F(V)$ fonksiyonunun minimumunu tanımlamada karşılaşılan dezavantajlar sebebiyle $F(V)$ 'nin minimum noktasının tanımlama işlevini katmayarak akım-voltaj karakteristiklerinden türetilen iki fonksiyonla $[dV / d\ln(I)-I, H(I)-I]$ diyotun temel parametrelerinin (n , R_s , Φ_B) hesaplanabileceğini gösterdi [12, 55-58].

Denk.2.34'ün logaritması alınıp gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$V = IR_s + n\phi_{Bn} + \left(\frac{n}{\beta}\right) \ln\left(\frac{I}{AA_n^{**} T_2}\right) \quad (2.36)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\beta = q/kT$, A diyotun etkin alanıdır. Denk.2.36'nın $\ln I$ 'ya göre diferansiyeli alınırsa,

$$\frac{dV}{dLnI} = IR_s + \left(\frac{nkT}{q} \right) \quad (2.37)$$

elde edilir. $dV / dLnI$ 'nin I 'ya göre grafiği bir doğrudur. Doğrunun eğiminden seri direnç (R_s), doğrunun $dV / dLnI$ ekseninin kestiği noktadan ise idealite faktörü (n) bulunabilir. Denk.2.36'daki ($IR_s + n\phi_{Bn}$) ifadesine $H(I)$ denirse,

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left(\frac{I}{AA_n^{**} T^2} \right) \quad (2.38)$$

şeklinde yazılabilir.

Denk.2.37 ve denk.2.38 birlikte düşünülürse,

$$H(I) = IR_s + n\phi_{Bn} \quad (2.39)$$

ifadesi elde edilir.

$H(I)$ 'nin I 'ya göre grafiği bir doğru olur. Bu doğrunun eğiminden R_s ve doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği noktadan ise $q\Phi_{Bn}$ engel yüksekliği bulunur [55,56, 59-63].

Arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) dağılım profili, doğru ön-gerilim I-V ölçümlerinden enerjinin ($E_c - E_{ss}$) bir fonksiyonu olarak Φ_e 'nin gerilime bağlı değeri dikkate alınarak elde edilebilir. Voltaja bağlı arayüzey durumlarının yoğunluğu denk. 2.40 ile verilir.

$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n-1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right] \quad (2.40)$$

Arayüzey durumlarının enerjisi n-tipi yarıiletkenler için E_{ss} ve yarıiletken yüzeyinin iletkenlik bandının alt kenarı arasındaki enerji farkı,

$$E_c - E_{ss} = q(\phi_e - V) \quad (2.41)$$

şeklinde verilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

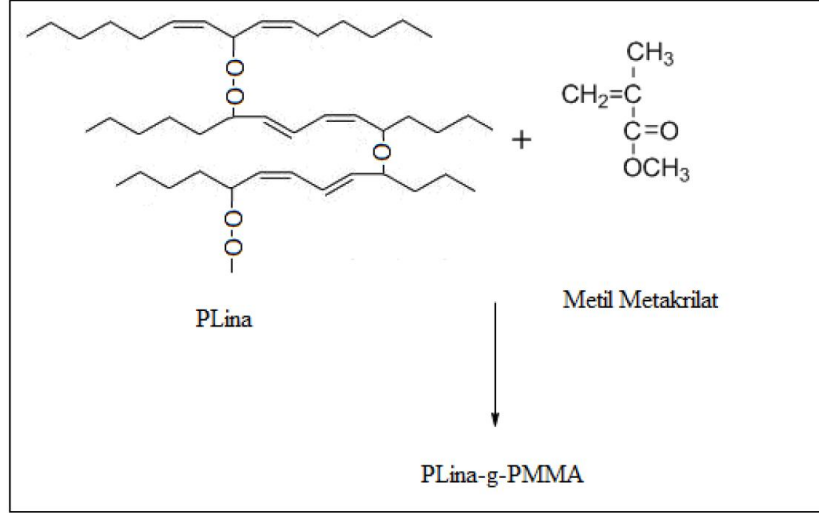
3.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

3.1.1. PLİMMA Polimerinin Temel Özellikleri

Bu çalışmada Poli (linoleik asit)-g-poli (metil metakrilat) (PLİMMA) graft kopolimeri, polimerik linoleik asit ile metil metakrilat'ın serbest radikal polimerizasyonu ile sentezlenmiştir. Bu polimerizasyon sisteminde çevreye zararlı olabilecek herhangi bir metal katalizör veya çözücü madde gerekli değildir. Bu sebeple, bu polimerleştirme sistemi son zamanlarda üzerinde yoğunlaşılacak yeşil (çevreci) kimya (green chemistry) için uygun olarak kabul edilir [55].

Çalışmamızda kullandığımız linoleik asit Fluka (Steinheim, Germany)'dan satın alındı ve alındığı gibi kullanıldı. PLina, linoleik asidin otooksidasyonu yoluyla elde edildi. Metil metakrilat, Aldrich'ten satın alındı ve kullanımdan önce nötr bir alüminyum oksit kolunu üzerinde artıldı. Bu yöntemde, polimerik linoleik yağ asidi (PLina) örneği ile belirli bir miktarda metil metakrilat (MMA) monomeri bir tüp içerisinde miknatıs yardımıyla karıştırıldı. Polimerizasyon ortamındaki havayı uzaklaştırmak için 2-3 dk argon gazı geçirildi. Tüp polimerizasyon süresince karıştırılmak suretiyle 80 °C yağ banyosuna daldırılarak, 5 saat boyunca bekletildi. Elde edilen graft kopolimerler belirli bir hacimdeki kloroformda çözüldü ve metanol bu çözeltiye damla damla ve karıştırılarak polimer çökene kadar eklendi, saflaştırıldı. Saflaştırılan kopolimer, 40 °C sıcaklıktaki vakum altında kurutuldu.

Polimer yapısındaki yağ/yağ asidi zincirlerinin varlığı esneklik, yapışma, su ve kimyasal maddelere karşı direnç açısından polimerin bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Literatürde uygulaması bulunmayan ve optoelektronik özellikleri incelenmemiş olan PLİMMA hem kimyasal hem de fiziksel olarak karakterize edilmiş ve elektriksel özellikleri incelenmiştir.



Şekil 3.1. Polimerik linoleik asit ile metil metakrilatın serbest radikal polimerizasyonu ile Poli (linoleik asit)-g-poli (metil metakrilat) (PLİMMA) graft kopolimerlerin sentezlenmesi için reaksiyon düzeni

3.1.2. Silisyum Kristalinin Temel Özellikleri

Silisyumun (Si) ilk keşfi 1824 yılında Berzelius tarafından gerçekleştirilmiştir. Yeryüzünde oksijenden sonra bileşikleri halinde en fazla bulunan elementtir. Yarıiletken özelliğe sahip oluşu ve doğal yaşamda çok bulunması, transistör, diyot ve hafızalarda kullanılabilmesinin pratik hızlı oluşu, entegre devrelerin ve bilgisayarların silisyum teknolojisi üzerine inşa edilmesini sağlamıştır. Silisyum (Si) doğada bol miktarda mevcut olan silikat ve silisyum dioksit (kum) bileşikleri halinde bulunur. Silisyumun iki tane allotropu vardır. Bunlardan ilki saf kristal silisyumdur. Saydam olmayan koyu gri renkli, parlak, sert ve kırılkan olup örgü yapısı elmas yapıdadır. Diğeri ise amorf silisyumdur. Koyu kahve renkli olup tane büyüklüğü nedeniyle kristal silisyumdan ayırt edilebilir ve kolay reaksiyon verir. Saf bir silisyum kristalinin oda sıcaklığında (300 K) bazı temel fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Silisyumun oda sıcaklığındaki bazı temel özellikleri

Özellikler	Si
Atom yoğunluğu (Atom/cm ³)	5,0 x 10 ²²
Atom ağırlığı	28,09
Kırılma alanı (V/cm)	3x10 ⁵
Kristal yapısı	Elmas
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,328
Dielektrik sabiti	11,9
İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu N _c (cm ⁻³)	2,8 x 10 ¹⁹
Valans bandındaki durumların yoğunluğu N _v (cm ⁻³)	1,04 x 10 ¹⁹
Saf taşıyıcı yoğunluğu n _i (cm ⁻³)	1,45 x 10 ¹⁰
Saf özdirenci (Ω.cm)	2,3x10 ⁵
Örgü sabiti(Å)	5,43095
Elektronların etkin kütlesi, m [*] /m _o	m _l [*] =0,98, m _t [*] =0,19
Deşiklerin etkin kütlesi, m [*] /m _o	m _{lh} [*] =0,16, m _{hh} [*] =0,49
Elektron yakınlığı, χ (eV)	4,05
Yasak enerji aralığı (eV)	1,12
Mobilitesi elektron – hole (cm ² /V.s)	1,450-500
Erime sıcaklığı (°C)	1414
Termal iletkenliği (W/cm.K)	1,56
Kaynama noktası (°C)	2900
Molar hacmi (ml/ mol)	12,06
Mineral Sertliği	6,5

Silisyumun diğer yarıiletkenlere göre önemli avantajlarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir [64].

- ✓ Yüzey passivasyonu kolaydır. Böylece yüzey rekombinasyon hızını azaltan kararlı bir oksit tabaka oluşur.
- ✓ Sertliğinden ötürü geniş waferlar şeklinde hazırlanabilir.
- ✓ Termal olarak çok kararlıdır. Bu özellik difüzyon, oksidasyon ve tavlama gibi işlemlerde yüksek sıcaklıklarda çalışmaya olanak sağlar.
- ✓ Doğada bol miktarda bulunduğu için maliyeti düşüktür.
- ✓ Silisyum indirekt bant aralıklı bir yarıiletkendir ve yasak enerji değeri (1,12 eV) onun optoelektronik uygulamaları için limit değeridir.

3.2. Au/PLİMMA/n-Si YAPININ HAZIRLANMASI

3.2.1. Kristal Temizleme

İdeale yakın bir MPS yapı oluşturabilmek için seçilen yarıiletken kristalin yüzeyi çok temiz olmalıdır. İyi temizlenmiş bir yarıiletken kristal çok sayıda yüzey kusurunu ortadan kaldırabilir. Kullanılan kristaller fabrikasyon olarak parlatılmış olduğundan mekanik temizleme yapılmadı. Ancak kristal yüzeyleri üzerindeki organik ve diğer ağır metal kirlerini temizlemek ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için yarıiletken kristal kimyasal olarak ultrasonik banyoda farklı aşamalardan geçirilerek temizlenmiştir.

Bu çalışmada, MPS yapıları oluşturmak için, (100) yüzey yönelimli, 500 µm kalınlığında, 1-10 Ωcm özdirençli, 2×2 (=5,08 cm) çapında fosfor katkılı (n-tipi) silisyum kristali kullanılmıştır. Bu çalışmada yarıiletken kristaller aşağıda verilen kimyasal temizleme işlemine tabi tutulmuştur.

Temizleme sırasında 18 µΩ dirençli de-iyonize su kullanılmıştır. Tüm kimyasal temizleme işlemleri ultrasonik banyo içinde gerçekleştirilmiştir. Kristalleri tutmak için kullanılan cımbız, beher vb. araç ve kaplar asetonla yıkanıp de-iyonize su ile durulandıktan sonra etüvde yaklaşık 100 °C ısıtılarak sterilize edilmiştir.

Yarıiletken kristal önce de-iyonize su içerisinde ultrasonik olarak yeterince uzun süre (10 dk) yıkanmış ve sonra aşağıdaki basamaklardan geçirilmiştir.

1. Yarıiletken kristal, triklor-etilen + aseton + CH₃OH içinde üç dakika süreyle ultrasonik olarak temizlenmiş ve de-iyonize suda 5 dakika yıkanmıştır.
2. Sülfürik asit (H₂SO₄) ve hidrojen peroksit (H₂O₂)'in 1:1 hacim oranındaki karışımı içerisinde 5 dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır.
3. De-iyonize suda 10 dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır.
4. %38'lik hidroflorik asit (HF) ve de-iyonize suyun 1:5 hacim oranındaki karışımı içerisinde 3 dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır.
5. De-iyonize suda 10 dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır.
6. 3:1:5 hacim oranında nitrik asit (HNO₃), hidroflorik asit (HF) ve de-iyonize su karışımında 5 dakika ultrasonik olarak yıkanıp de-iyonize su ile durulanmıştır.
7. 4:3 hacim oranında %38'lik hidroflorik asit (HF) ve de-iyonize su karışımında 3 dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır.
8. Son olarak Si yapraklar, de-iyonize suda ultrasonik olarak 10 dakika durulanmıştır.

Kimyasal olarak temizlenmiş n-tipi yarıiletken silisyum kristallerin yüzeyinin oksitlenmemesi için yarıiletken kristaller kuru azot (N₂) ile iyice kurutulduktan sonra hemen vakum ortamına yerleştirilmiştir [32,55,65].

3.2.2. Omik Kontağın Oluşturulması

MPS yapı hazırlanırken omik ve doğrultucu kontağın oluşturulması için NVBJ-300TH model yüksek vakumlu metal buharlaştırma sistemi kullanıldı. MPS yapıyı hazırlamak için kullanılan cihaz Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan metal buharlaştırma cihazı

Bu cihazdaki parçalar ile ince bir bakır levhadan hazırlanan maskeler kimyasal olarak ultrasonik banyoda iyice temizlenmiştir. Temizleme işlemi, karbontetraklorür, trikloretilen ve aseton içerisinde 5 dakikalık süreler ile yapılmış ve daha sonra de-iyonize su ile yıkanmıştır. Omik kontağı oluşturmak için kimyasal olarak temizlenen yarıiletkenin mat yüzeyi aşağı gelecek şekilde maske üzerine yerleştirilmiş ve vakumlama işlemine geçilmiştir (10^{-6} Torr).

Vakum $\approx 10^{-6}$ Torr’a ulaştığında, Flamanların biri üzerinden akım geçirilerek ($\approx 2500\text{Å}$) %99,99’luk saflığa sahip kimyasal olarak temizlenmiş Ag metal parçacıkları buharlaştırılmıştır. Buharlaşmanın başlamasından bir süre sonra kesici kapak (metal perde) yan tarafa çekilerek, silisyumun mat yüzeyine gümüş (Ag) kaplanmıştır. Kapağın başlangıçta kristalin önünde durmasının nedeni, buharlaşabilecek yabancı maddelerin kristal üzerine yapışmasını önlemektir.

Omik kontak oluşturabilmek için yarıiletkenin mat yüzeyine buharlaştırılan gümüş, vakum ortamında 350 °C'de 30 dakika boyunca tavlansak silisyum içerisine çöktürülmüştür.

3.2.3. PLİMMA Tabakasının Oluşturulması

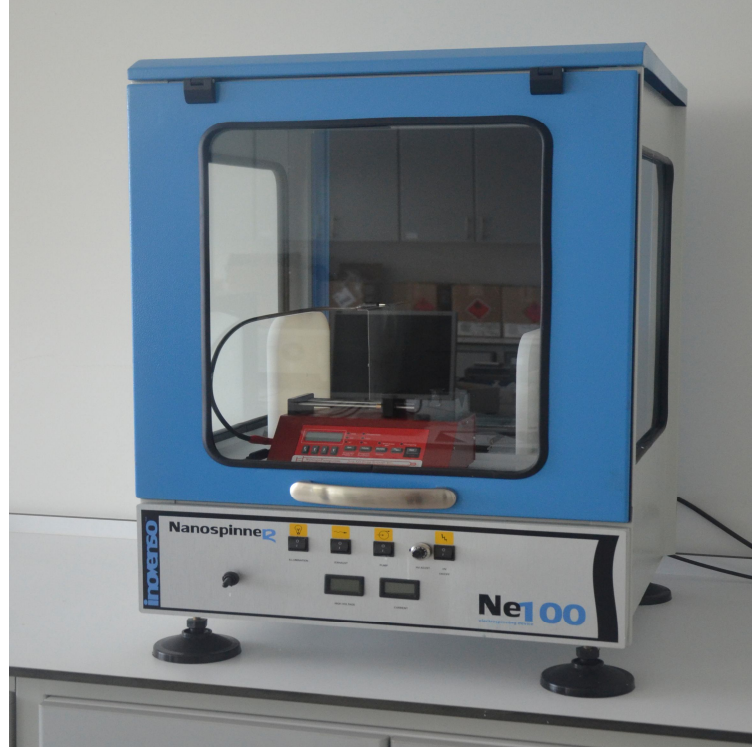
Nanofiber polimer ince filmlerin elektriksel özellikleri ve bu özelliklerin ölçülmesine duyulan ihtiyaç giderek önem kazanmaktadır. Polimer bileşik ince filmlerin uygulama alanlarından biri Schottky engel diyotlardır. Metal-yarıiletken alttaş üzerindeki Schottky engel diyotlar; parametrik yükselteç, frekans çoğaltıcı, karıştırıcı diyot ve jeneratör olarak kullanılırlar [66].

Polimer bileşik nanofiber ince filmleri birçok yöntemle hazırlanabilir. Polimer ince filmlerin üretimi için en etkin yöntemlerden biri elektrospinning yöntemidir. Elektrospinning, polimer kimyası, temel fizik, elektrik fiziği, akışkanlar dinamiği, makine ve tekstil mühendisliği gibi disiplinleri barındıran multi disiplinler bir yöntemdir. Bu çalışmada PLİMMA ince filmleri elektrospinning yöntemi kullanılarak oluşturuldu. Elektrospinning yönteminde (Şekil 3.3) polimer ince film üretmek için yüksek elektrik alandan faydalanılır.

Elektrospinning kurulumu 3 temel parçadan meydana gelir.

- 1- Yüksek gerilim güç kaynağı
- 2- Şırınga pompası
- 3- Elektrikli iletken toplayıcı

Şırınga pompası, polimerik çözeltinin bir sabit ve ayarlanabilir besleme oranını elde etmek için önemli parçalardan biridir [67,68].



Şekil 3.3. Elektrospinning cihazı

Bu yöntemde, polimer uygun bir çözücüde çözülür veya ısı ile eritilir, şırınganın içine yerleştirilir. Daha sonra polimer çözeltisi/eriyiği ve şırınganın yakınındaki bir toplayıcı levha arasına 50 kV'a kadar gerilim uygulanır. Toplayıcı levhada oluşan ağımsı yüzeyde çapları 30 nm'den 1 mikronun üzerindeki değerlere kadar değişen lifler bulunmasına rağmen, bu işlem çapı 50 nanometre boyutunda olan nanoliflerin üretimine imkan verir [27,69].

Elektrospinning yöntemi, yüksek elektrostatik alana maruz bırakılan polimer çözeltisinin benzer yükler ile yüklenecek ayrışma ve incelme gösterip, çok ince fibril yapılar oluşturması şeklinde özetlenebilir. Bu yöntemde, polimerin molekül ağırlığı, yapısı, çözeltinin viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi gibi özellikleri, elektrik potansiyeli, akış hızı, şırınga ile toplayıcı ekran arasındaki uzaklıkve çevresel faktörler (sıcaklık, nem) fiberlerin çapını değiştirebilmektedir [20].

Elektrospinning yöntemini en basit şekliyle anlatacak olursak;

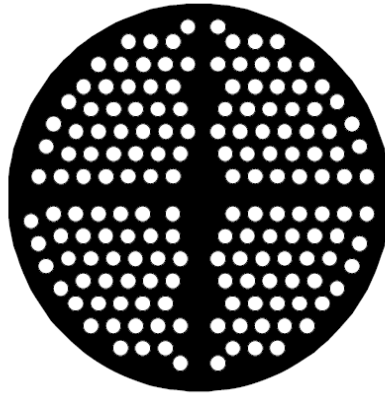
- ✓ Bir polimer çözeltisi şırınga içine konur ve bu şırıngadan belirli bir mesafe uzağa da toplayıcı-metal plaka yerleştirilir.

- ✓ Yüksek gerilim sağlayacak güç kaynağının artı ucu şiringanın metal ucuna bağlanırken, toplayıcı plaka da topraklanır.
- ✓ Böylece şiringa ve toplayıcı plaka arasında yüksek bir elektrik alan elde edilmiş olur.
- ✓ Güç kaynağı tarafından sağlanan gerilim arttırıldıkça, yeterince yüksek bir değere ulaşan elektrik alan kuvvetleri çözelti üzerindeki visko-elastik ve yüzey gerilimi kuvvetlerini yener ve polimer molekülleri şiringadan toplayıcıya doğru taşınır.
- ✓ Sonuç olarak toplayıcı plaka üzerinde nano boyutta çaplara sahip lifler oluşur.

Kaplamadan önce n-tipi Si alttaş, üzerindeki silisyum oksiti temizlemek için %20 hidroflorik asit (HF) ile yıkandı. Peristaltik şiringa pompası kullanılarak, dimetil formamid (DMF) içerisinde çözülen PLİMMA çözeltisi sabit akış hızı 0,8 ml/s'de 0,8 mm iç çaplı 5 ml'lik metal iğne (kapiler boru) içerisine yerleştirildi. Kapiler boru ile toplayıcı ekran arası uzaklık 15 cm'ye ayarlandı. 28 kV yüksek voltaj uygulayarak akışkan jet uçtan dışarı atıldı. Böylece yüklü poimerik fiberler Si yüzeyi üzerine kaplandı.

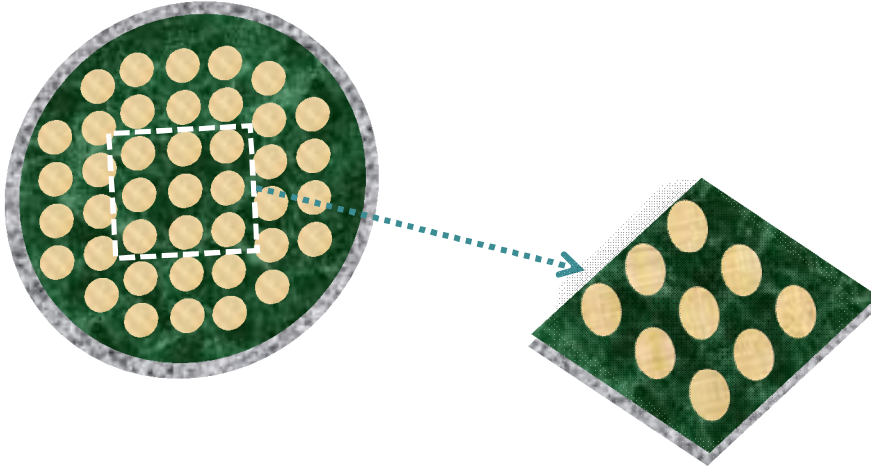
3.2.4. Doğrultucu Kontakın Oluşturulması

Omik kontak oluşturulduktan sonra Si yaprağın ön yüzüne elektrospinning yöntemi kullanılarak PLİMMA arayüzey tabakası oluşturuldu.



Şekil 3.4. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske

Üzeri PLİMMA ile kaplanmış olan yüzey, üzeri çok sayıda 2 mm çaplı delikler açılmış olan Şekil 3.4'tekine benzer bakır maske üzerine parlak yüzey aşağı gelecek şekilde yerleştirildi. Flaman üzerine konulan kimyasal olarak temizlenen altın (Au) metal parçası $\approx 10^{-6}$ Torr vakumda buharlaştırılarak ≈ 2500 Å kalınlığında altın kaplanması sağlandı [55,56,65,70]. Böylece doğrultucu kontağın da oluşturulmasıyla Au/PLİMMA/n-Si şeklindeki MPS yapı elde edilmiş oldu. MPS yapının şematik gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Au/PLİMMA/n-Si (MPS) yapının şematik gösterimi

3.3. KULLANILAN ÖLÇÜM DÜZENEKLERİ

Bu çalışmada kullanılan maddelerin kimyasal ve elektriksel karakterizasyonları, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü nmr/nqr Lab., Düzce Üniversitesi Fizik ve Kimya Laboratuvarları, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) ve Bülent Ecevit Üniversitesi Kimya Laboratuvarlarında bulunan cihazlarla yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı bu cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

3.3.1. Nükleer Manyetik Rezonans (^1H NMR)

Elde edilen graft kopolimerin ^1H NMR spektrumları Bruker AVANCE 400 MHz cihazı ile elde edilmiştir, ölçümlerde çözücü olarak CDCl_3 kullanılmıştır.

3.3.2. Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC)

Bu çalışmada Bülent Ecevit Üniversitesi Kimya Bölümü Polimer Araştırma Laboratuvarında bulunan GPC cihazı ile numunenin molekül ağırlığı ölçümü yapılmıştır.

3.3.3. Termal Gravimetrik Analiz (TGA)

TGA ölçümlerinde Shimadzu marka DTG 60H model TGA cihazı kullanılmıştır. Numunelerin termal bozunmaları ve kütle kayıpları 20 – 600 °C sıcaklık aralığında incelenmiştir.

3.3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

DSC ölçümlerinde Shimadzu marka DSC60 model DSC cihazı kullanılmıştır. Numunelerin termal bozunmaları 50-150 °C sıcaklık aralığında incelenmiştir.

3.3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM ölçümlerinde FEI marka Quanta FEG 250 model SEM cihazı kullanılmıştır.

3.3.6. Keithley 2400 Akım-Gerilim Kaynağı

Laboratuvar ortamında imal ettiğimiz Au/PLİMMA/n-Si diyotunun I-V ölçümleri Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında alınmıştır.

3.3.7. Omron ZUV-C20H Mor Ötesi (UV-365 nm) Işık Kaynağı

Aydınlatma kaynağı ve güç kaynağı kullanılarak, hazırlanan Au/PLİMMA/n-Si diyotunun aydınlatma şiddetine bağlı I-V ölçümleri gerçekleştirildi.

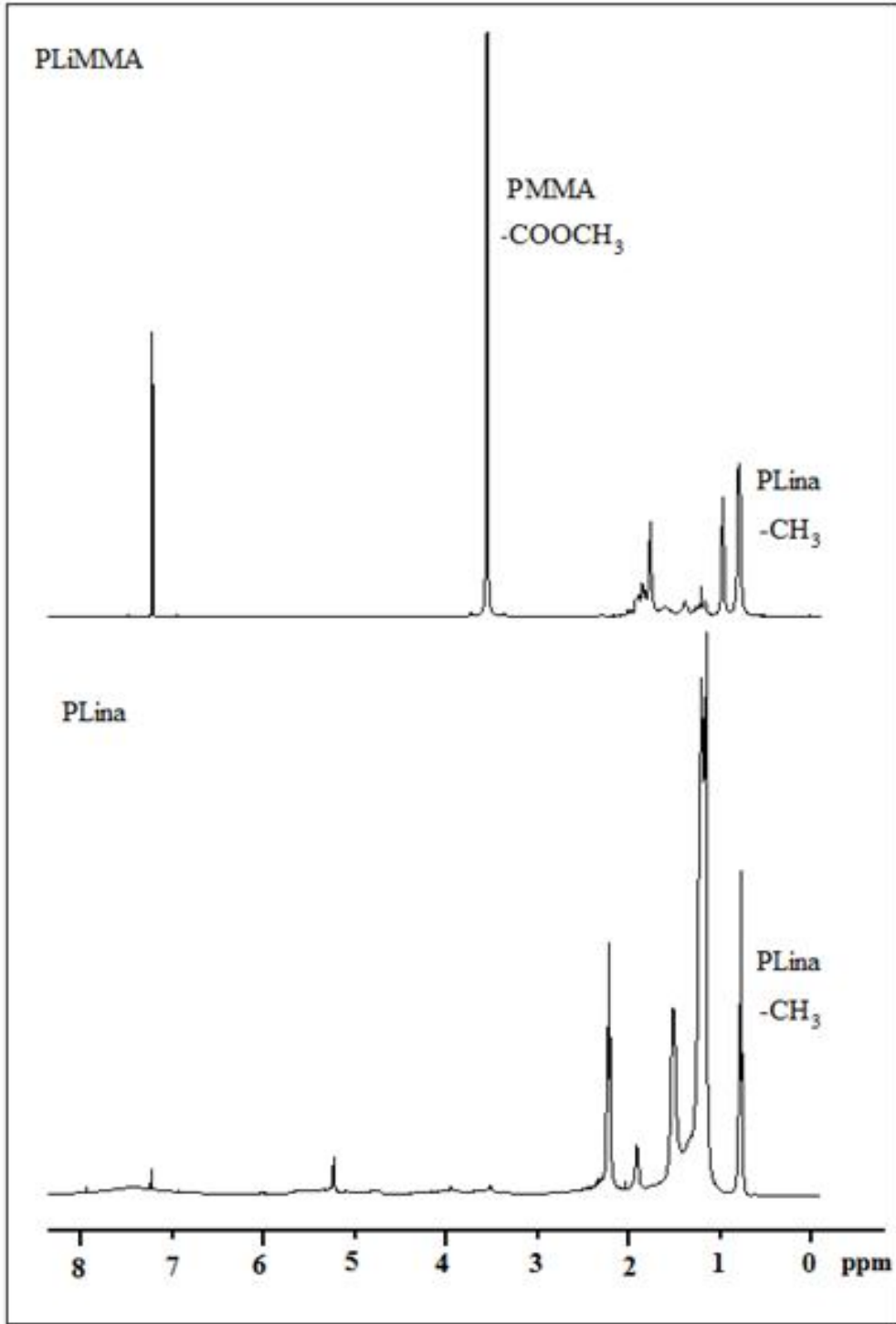
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. PLİMMA GRAFT KOPOLİMERİNİN SENTEZ VE KARAKTERİZASYONU

Dünya kimya sektörü ve biliminde yeni bir akım olan yeşil kimya (green chemistry), kimyasal ürünler ve işlemlerdeki çevre ve insan sağlığına zararlı maddelerin oluşumunu engelleyici ve önleyici yöntemlerin bulunması, planlanması ve geliştirilmesini hedefleyen önemli bir yaklaşımdır. Yeşil kimyanın uygulaması boyunca atom ekonomisi, e-faktör (environmental factor), yaşam döngüsü belirlenmesi (life cycle assessment), temiz teknolojiler havuzu (the clean technology pool) ve çevre-yenilik pusulası (eco-innovation compass) gibi parametrelerden yararlanılmaktadır. Bu anlamda insanların yenilikçi teknolojileri tercih etmeleri ve elimizdeki bir materyali daha “yeşil” yapma yolunda çevreyle dost seçimler yapmak önemlidir.

Bu çalışmada saf linoleik asit güneş ışığı ve hava oksijeni altında polimerleştirilerek polimerik linoleik asit peroksitlere (PLina) dönüştürüldü. PLina, metil metakrilat ile polimerleştirilerek yüksek verimle PLina-g-PMMA graft kopolimeri elde edildi. Polimerizasyon sisteminin herhangi bir çözücü ve katalizöre ihtiyaç duymadan gerçekleşmesi yeşil kimya (green chemistry) için çok önemlidir [55].

Şekil 4.1’de PLİMMA graft kopolimerine ait ¹H NMR spektrumları görülmektedir.



Şekil 4.1. PLiA, PLiA-g-PMMA (PLiMA) ^1H NMR spektrumları

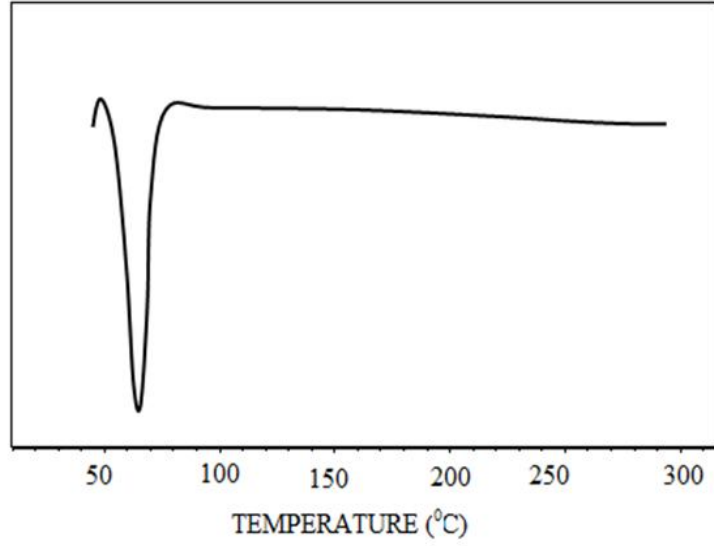
¹H NMR spektrumlarında PLina, PLina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerlerine ait karakteristik pikler (δ , ppm) görülmektedir. PLina'ya ait vinil protonları 5,6 – 6,3 ppm'de; (-CH₃) grubuna ait protonlar 0,9 ppm'de; PMMA'ya ait -COOCH₃ gruplarına ait pikler ise 3,7 ppm'de görülmektedir.

Serbest radikal polimerizasyon yöntemi ile %41 verimle elde edilen PLİMMA blok kopolimer içerisinde %40 oranında PLina olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar literatüre göre gayet olumlu değerlerdir [20]. Çizelge 4.1 polimerik linoleik asit ile metil metakrilatın serbest radikal polimerizasyon sonuçlarını göstermektedir. ¹H NMR verilerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. PLina ile metil metakrilatın 5 saat boyunca 80 °C deki serbest radikal polimerizasyon sonuçları

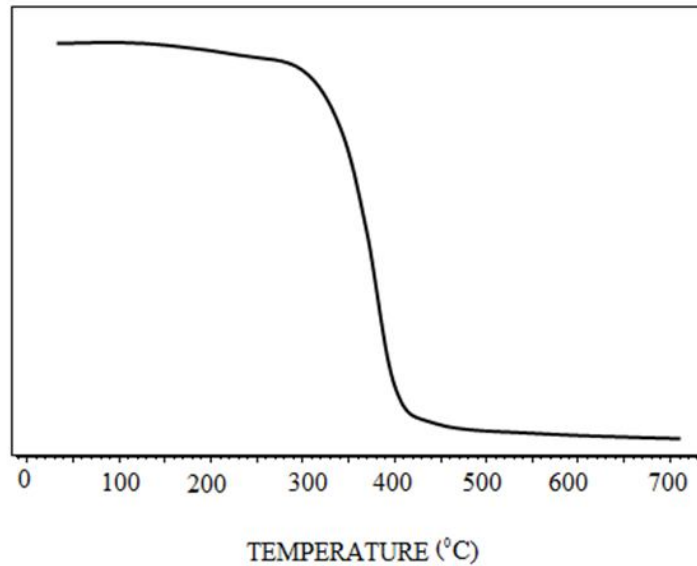
Numune	PLina (g)	MMA (g)	Ürün (g)	Verim (%)	Kopolimerdeki Blok Yüzdeleri (%)	
					PLina	PMMA
PLİMMA	1,00	1,00	0,82	41	40	60

Şekil 4.2’de PLİMMA graft kopolimerlerin DSC diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.2. PLİna-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerin DSC diyagramı

Homo poli metil metakrilat (PMMA) 110 °C’de Tg göstermektedir. PLİna-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimeri 65 °C’de Tm göstermiştir. Yağ asidi makro peroksitlerin plastikleştirici etkisi açıkça görülmektedir. Şekil 4.3’te PLİMMA kopolimerinin TGA diyagramı verilmiştir.



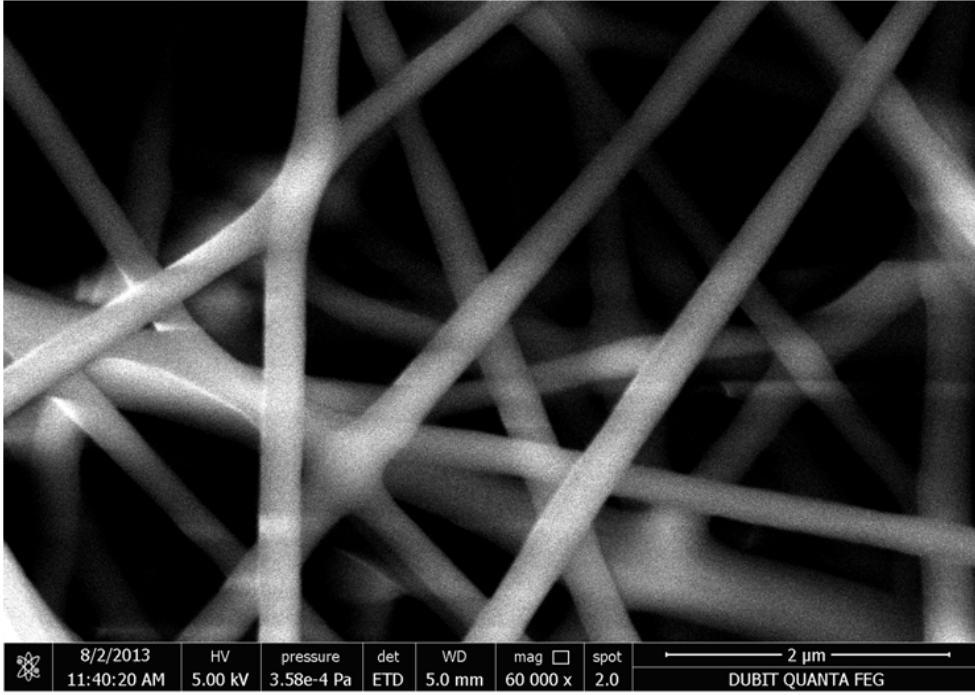
Şekil 4.3. PLİna-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerin TGA diyagramı

Camsı geçiş (T_g) ve erime geçiş (T_m) sıcaklıkları izelge 4.2’de belirtilmiştir. Poli (linoleik asit)-g-poli(metil metakrilat) (PLİMMA) graft kopolimeri için iki bozunma sıcaklığı (T_d) görülmektedir. $T_{d1}=274$ °C ve $T_{d3}=375$ °C’dir.

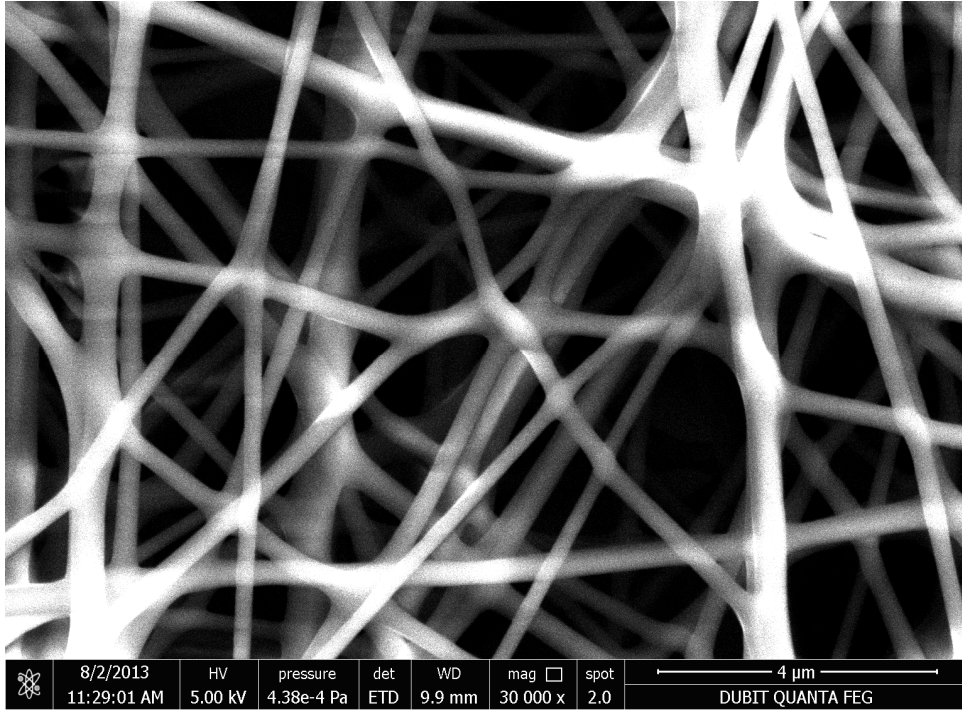
Çizelge 4.2. PLİna, PMMA, PLİna-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerlerin termal zellikleri

Numune	DSC (°C)		TGA (°C)		
	T_g	T_m	T_{d1}	T_{d2}	T_{d3}
PLİna	-	29	170	353	463
PMMA	110	-	-	-	373
PLİMMA	-	65	274	-	375

İnce film yüzey morfolojisi genellikle cihazın performansını etkileyen elektriksel ve optiksel özelliklerinin belirlenmesi için önemlidir. Polimer zeltisinin viskozite ve elektriksel iletkenlik gibi fiziksel ve kimyasal parametreleri ve polimer konsantrasyonu, elektrospinning yöntemiyle elde edilmiş olan fiberlerin oluşumunu ve morfolojisini doğrudan etkiler [71]. SEM lmleri PLİMMA’nın yüzey yapısı hakkında mikroskopik lde bilgiler verir. PLİMMA fiberlerin oluşumu ve morfolojisi SEM kullanılarak incelendi ve Şekil 4.4’te verildi. PLİMMA nanofiber yapının hemen hemen homojen ve ≈ 200 nm kalınlığında olduğu görüldü.



(a)



(b)

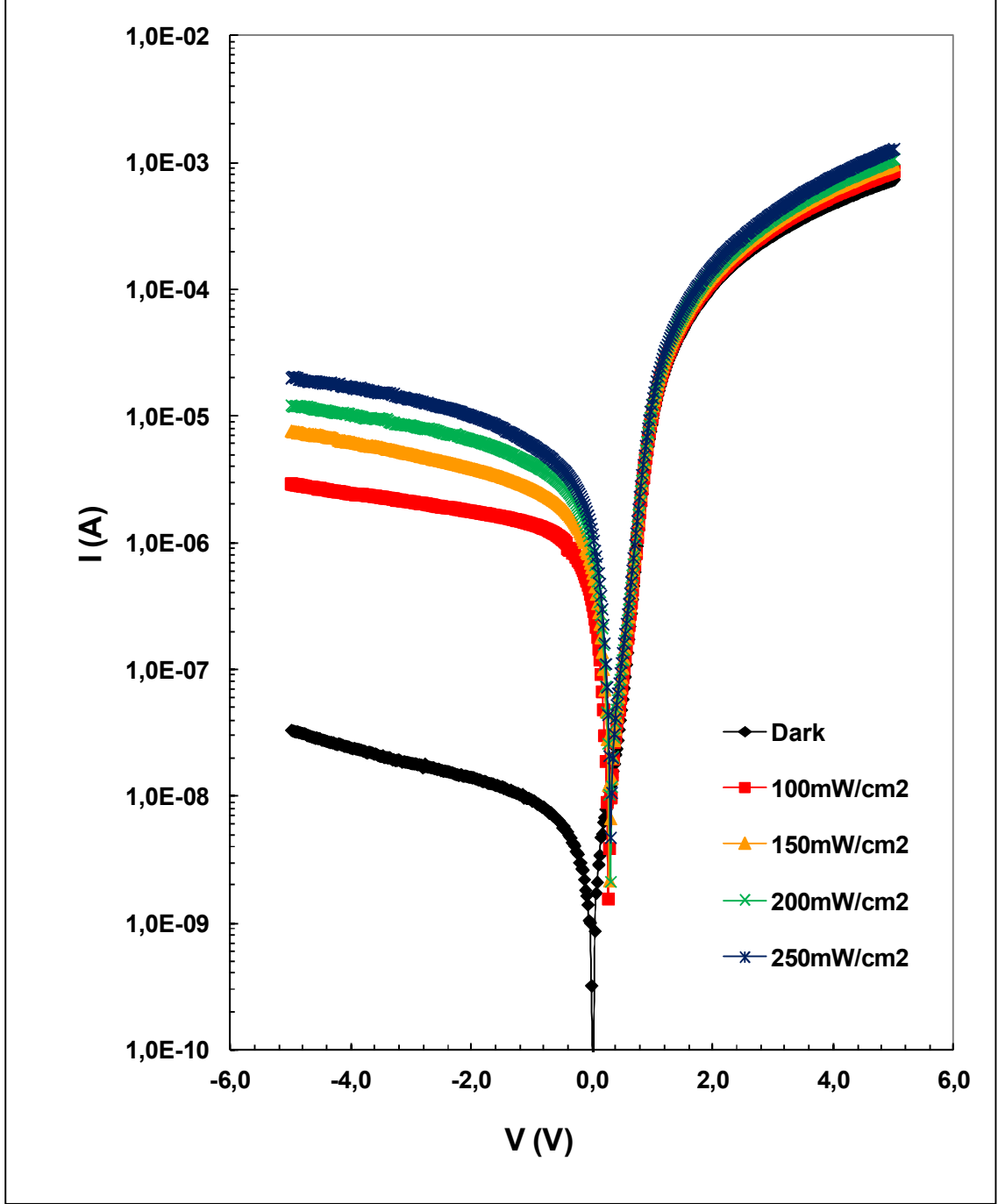
Şekil 4.4. PLİMMA nanofiber yapının SEM resimleri

(a) 60 000x (b) 30 000x (5 kV da)

4.2. Au/PLİMMA/n-Si YAPININ UV IŞIK ALTINDA AKIM-VOLTAJ (I-V) KARAKTERİSTİKLERİ

MS (metal-yarıiletken) kontaklar metal ile yarıiletkenin kontak edilmesiyle oluşturulurlar. Metal ile yarıiletken arasında doğal yada yapay olarak oluşturulmuş yalıtkan veya polimer arayüzey tabaka MS yapıyı MIS (metal-yalıtkan-yarıiletken) veya MPS (metal-polimer-yarıiletken) yapıya dönüştürebilir. Arayüzey tabakanın kalınlığı arttıkça arayüzey durumları yarıiletkenle dengede olacağından bu yapıların I-V karakteristiğine ilişkin yapısal parametreler ve arayüzey durumları büyük ölçüde etkilenir [24].

Bu çalışmada hazırlanan, Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotun doğru ve ters beslem I-V (akım-gerilim) ölçümleri hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetleri (100-250 mW/cm²) için, ± 5 V aralığında oda sıcaklığında elde edilerek Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde akım-gerilim grafiği

Termiyonik emisyon için akım-gerilim denklemi,

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

şeklinde ifade edilir. Bu durum ideal Schottky diyotları için geçerlidir. Arayüzey tabakalı yapıda uygulanan gerilimin tümü deplasyon bölgesi boyunca düşmeyeceğinden, burada bir “n” idealite faktörü tanımlamalıyız. Bu faktör diyotun ideal oluşunun bir ölçüsüdür [72]. Böylece karakteristik akım,

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.2)$$

haline dönüşür. Akım iletimi termiyonik emisyon modeline uygunsuz LnI-V grafiğinin bir doğru olması beklenir. Grafik doğrusal değilse, n idealite faktörü büyüktür ve diyot ideallikten uzaktır. n faktörü, bir diyotun termiyonik emisyon teorisine göre uyumunun bir ölçüsüdür ve ideal bir diyot için n=1 olmalıdır. Fakat, nötral bölge seri direncinin dışında, metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan veya polimer arayüzey tabakanın varlığı, yarıiletken yüzey yük yoğunluğunun veya arayüzey durumlarının uygulanan potansiyelle değişimi gibi çeşitli sebeplerden ötürü idealite faktörü uygulamada 1'den büyük olur [24,73].

Akım-gerilim karakteristiğinin yüksek değerlerinde bükülmeye sebep olan bir etken vardır. Bu etken R_s seri direncidir. İdealite faktörünün 1'den büyük ve seri direncin (R_s) hesaba katıldığı durumlarda MS veya MIS/MPS tipi yapılarda akım-voltaj ilişkisi, $V \geq 3kT/q$ için,

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.3)$$

şeklinde verilir. Burada V diyot üzerine uygulanan gerilim, n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık ve IR_s ise diyotun seri direnci üzerine düşen voltajdır. Ancak düşük ve orta gerilim bölgelerinde IR_s terimi diyota uygulanan voltaj yanında ihmal edilecek kadar küçüktür.

I_o ise ters beslem doyum akımı veya sızıntı akımı olup,

$$I_o = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{Bo}}{kT}\right) \quad (4.4)$$

eşitliği ile verilir. Burada Φ_{Bo} sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği, A doğrultucu kontak alanı ve A^* etkin Richardson sabiti olup değeri n-tipi Si için $120 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ 'dir [35, 55,56, 65, 74-76].

Buna göre denk. 4.4, denk. 4.3'te yerine yazılır ve R_s etkisi ihmal edilirse,

$$I = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{Bo}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.5)$$

şeklinde yazılır. Burada $V_D = (V - IR_s)$ diyot üzerine düşen voltajdır.

Denk. 4.2 ifadesinde her iki tarafın ln'i alınır,

$$\ln(I) = \ln(I_o) + \left(\frac{q}{nkT}\right)V_D \quad (4.6)$$

şeklinde bir doğru denklemi elde edilir. Dolayısıyla $\ln(I)$ - V grafiğinden diyota ait temel elektronik parametreler hesaplanabilir. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotu için oda sıcaklığında ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki doğru ve ters beslem yarı-logaritmik $\ln(I)$ - V eğrileri geniş bir voltaj aralığında lineer bir davranış sergilemektedir. Doğrunun $\ln(I)$ eksenini kestiği noktadan I_o ve lineer bölgenin eğiminden ($\tan\theta = q/nkT$) diyotun idealite faktörü değerleri hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetleri için denk. 4.7 kullanılarak hesaplandı.

$$n = \frac{q}{kT \tan\theta} \quad (4.7)$$

Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{Bo}) değerleri ise denk.4.4'ten elde edilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı.

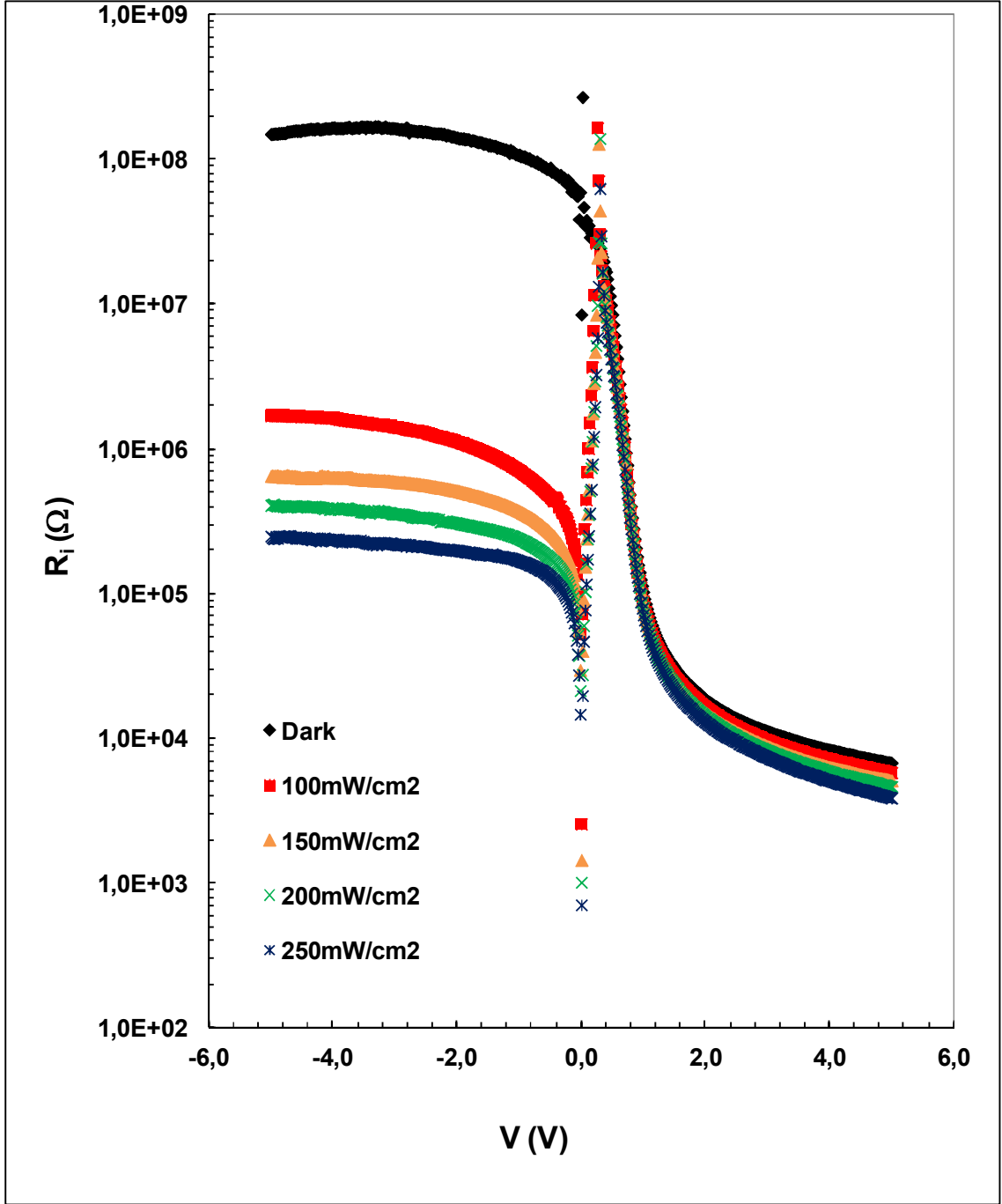
$$\phi_{Bo} = \left[\frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_o}\right) \right] \quad (4.8)$$

Çizelge 4.3. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotu için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde I-V eğrilerinden elde edilen I_0 , n ve Φ_{B_0} değerleri

Aydınlatma Şiddeti (W)	I_0 (A)	Φ_{B_0} (eV)	n
Dark	$1,83 \times 10^{-10}$	0,87	3,3
100mW/cm ²	$3,29 \times 10^{-10}$	0,86	3,5
150mW/cm ²	$4,50 \times 10^{-10}$	0,85	3,6
200mW/cm ²	$6,33 \times 10^{-10}$	0,84	3,7
250mW/cm ²	$9,44 \times 10^{-10}$	0,83	3,9

Farklı aydınlatma şiddetleri için hesaplanan n ve Φ_{B_0} değerleri Çizelge 4.3'te verildi. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi n değerleri artan aydınlatma şiddeti ile artarken Φ_{B_0} değerleri azalmaktadır. I_0 , n ve Φ_{B_0} parametreleri için elde edilen değerler, literatürdeki benzer yapılarla karşılaştırıldığında kabul edilebilir ve uygulanabilir değerlerdir [27, 40].

Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotunun direncinin (R_i) aydınlatma şiddetine bağlı olarak voltaj ile nasıl değiştiğini göstermek amacıyla R_i değerleri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında -5 V ile +5 V aralığında Ohm yasasından hesaplandı. Farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen direnç-voltaj (R_i -V) eğrileri Şekil 4.6'da verildi.



Şekil 4.6. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde R_i -V eğrileri

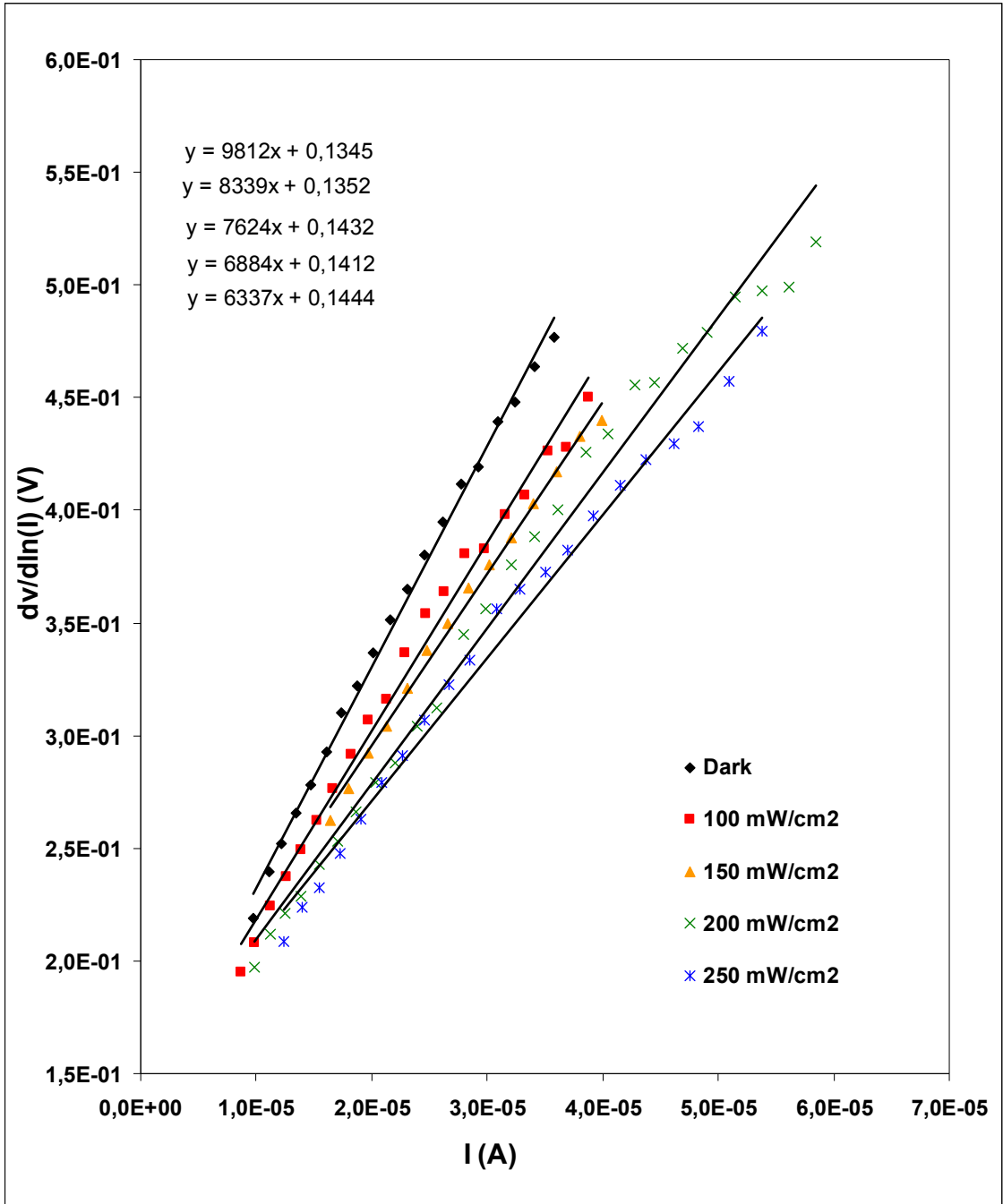
Şekilden de görüldüğü gibi R_i değerleri aydınlatma şiddetine bağlı olarak oldukça değişmektedir. Şekil 4.6'da yüksek pozitif ön-gerilimler için elde edilen R_i değerleri diyotun seri direncine (R_s) karşılık gelirken, yüksek negatif ön-gerilimler için elde edilen R_i değerleri ise diyotun kısa devre direncine yani Shunt direncine (R_{sh}) karşılık gelmektedir. R_s ve R_{sh} değerleri artan aydınlatma şiddeti ile azalmaktadır.

Diyotun I-V grafiğinin karakteristik lineer bölgesinde termiyonik emisyon teorisi kullanılır. Bu bölge $kT/q \ll V \ll IR_s$ şeklinde yüksek seri direnç ile sınırlıdır, dolayısıyla I_0 ve Φ_B değerlerini hesaplamak için çok dardır. Düşük gerilim bölgesinde rekombinasyon (yeniden birleşme) süreçlerinin katkısı, yüksek gerilim bölgesinde ise seri direncin büyük olması durumunda, diyotun üzerine düşmesi gereken gerilimin çoğunluğu seri direnç üzerine düşeceğinden lineerlik bozulur ve termiyonik emisyon modelinin tek başına kullanılması yetersiz kalır. Bu nedenle Cheung&Cheung fonksiyonlarının, özellikle $\ln(I)$ -V eğrilerinin dar bir bölgede lineer veya lineer bölge seçiminin zor olduğu durumlar için temel diyot parametrelerinin hesaplanmasında uygun olduğu gözlemlendi. Cheung'un ortaya attığı yöntem için, yalnızca bir I-V ölçümü yeterlidir ve I-V grafiklerinde lineerlikten anlaşılan sapma nedeniyle seri dirençli diyotun değerini kontrol etmek mümkündür. Yöntem ayrıca Norde fonksiyonunda minimumu tanımlama işlevini yok eder [12,55,56]. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotunun parametreleri karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak denk. 4.9 ve denk. 4.10 yardımı ile hesaplandı.

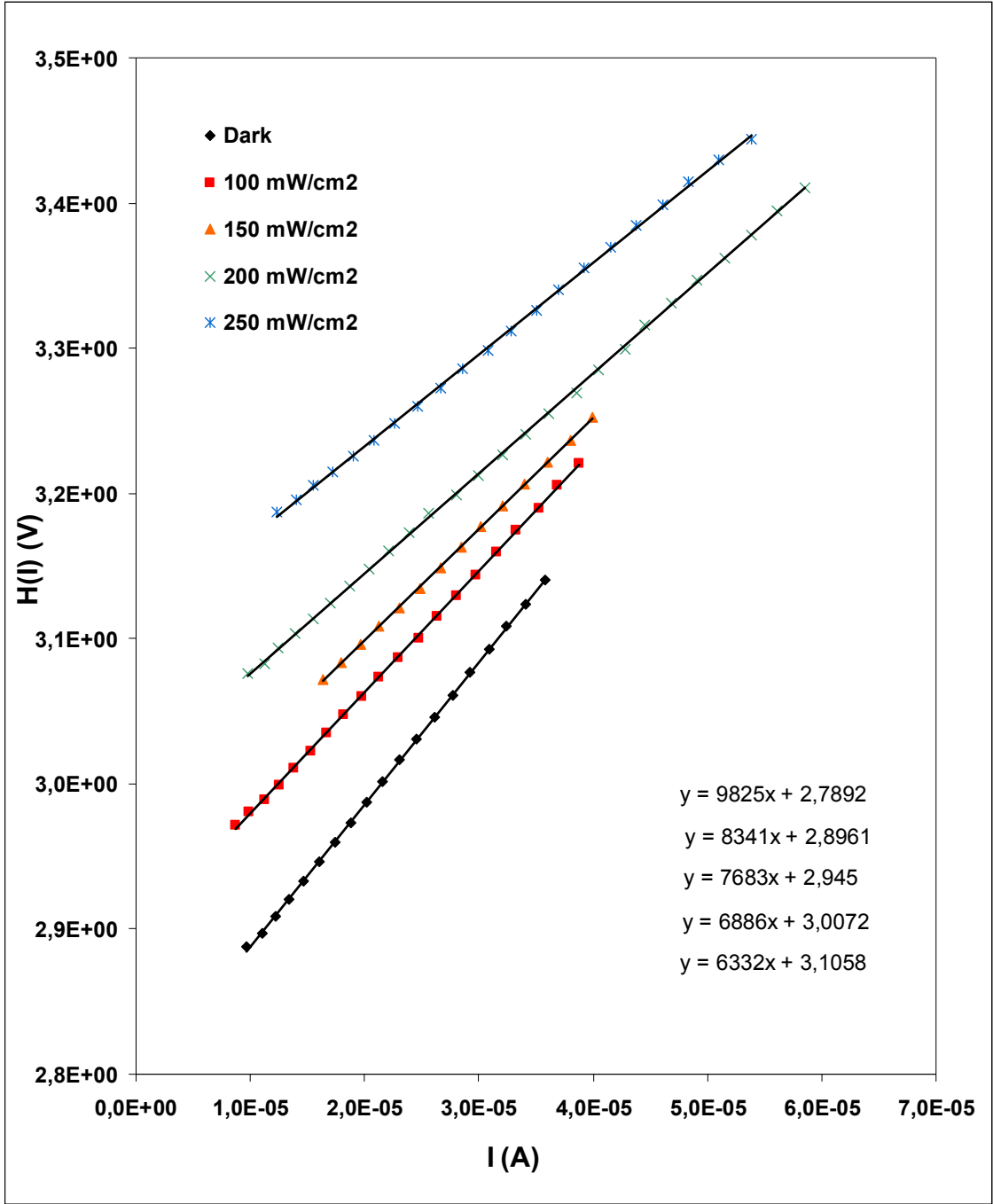
$$\frac{dV}{d\ln(I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (4.9)$$

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) = IR_s + n\phi_{B0} \quad (4.10)$$

Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotunun karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki $dV/d\ln(I) - I$ ve $H(I) - I$ eğrileri sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verildi. $dV/d\ln(I) - I$ grafiğinde ki lineer bölgenin eğiminden seri direnci (R_s), yine aynı grafiğin koordinat eksenini kestiği noktadan ise n idealite faktörü bulundu. $H(I) - I$ grafiğinde ise, elde edilen eğrilerin eğimi seri direnci (R_s), eğrinin koordinat eksenini kestiği nokta ise Φ_{B0} engel yüksekliği değerini verdi.



Şekil 4.7. Au/PLIMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $dV/d\ln(I) - I$ eğrileri



Şekil 4.8. Au/PLIMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $H(I) - I$ eğrileri

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi hem $dV/d\ln(I)-I$ hem de $H(I)-I$ eğrileri tüm aydınlatma şiddetleri için lineer bir doğru vermektedir. Cheung&Cheung fonksiyonlarından elde edilen R_s değerleri artan aydınlatma şiddeti ile birlikte birbirleriyle uyumlu olarak ve literatüre de uygun bir şekilde lineer olarak azalmaktadır [27,34,76,78,79]. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için I-V karakteristikleri, Cheung&Cheung fonksiyonları ile hesaplanan idealite faktörü (n), seri direnç (R_s) ve engel yüksekliği (Φ_{B0}) değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotu için farklı metotlarla elde edilen diyot parametreleri

	(I-V)			Cheung&Cheung			
	I_0 (A)	Φ_{B0} (eV)	n	$R_s[dV/d\ln(I)]$ (Ω)	$R_s[H(I)]$ (Ω)	$n[dV/d\ln(I)]$	$\Phi_B[H(I)]$ (eV)
Dark	$1,83 \times 10^{-10}$	0,87	3,3	9812	9825	5,2	0,83
100mW/cm²	$3,29 \times 10^{-10}$	0,86	3,5	8339	8341	5,2	0,82
150mW/cm²	$4,50 \times 10^{-10}$	0,85	3,6	7624	7683	5,5	0,81
200mW/cm²	$6,33 \times 10^{-10}$	0,84	3,7	6884	6886	5,5	0,81
250mW/cm²	$9,44 \times 10^{-10}$	0,83	3,9	6337	6332	5,6	0,80

Çizelge 4.4'te görüldüğü gibi, farklı aydınlatma şiddetleri için Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan idealite faktörünün (n), lnI-V grafiğinden elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görüldü. Bu sonuç seri dirence, arayüzey durumlarına ve ara yüzey tabaka boyunca gerilim düşmesine bağlanabilir. I-V ölçümleri yardımıyla elde edilen engel yüksekliklerinin (Φ_{B0}) değerleri ile Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak elde edilen engel yükseklikleri değerleri arasında uyum olduğu görülmekte olup engel yüksekliği değerleri aydınlatma şiddetine bağlı olarak azalmaktadır. Yine Cheung&Cheung fonksiyonları yardımıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Her iki durumda elde edilen seri direnç (R_s) değerleri yöntemin doğruluğunu kontrol amaçlı kullanılır [78,79].

İdealite faktörü ve engel yüksekliği voltaj ile değiştiği için etkin engel yüksekliği Φ_e denk. 4.11 ile verilir [12,27].

$$\phi_e = \phi_{Bo} + \beta(V - IR_s) = \phi_{Bo} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right)(V - IR_s) \quad (4.11)$$

Engel yüksekliğinin uygulanan gerilime bağıllığı dikkate alınarak, burada β , engel yüksekliğinin voltaj ile değişim katsayısıdır. Arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) dağılım profili, doğru ön-gerilim I-V ölçümlerinden enerjinin ($E_c - E_{ss}$) bir fonksiyonu olarak Φ_e 'nin gerilime bağlı değeri dikkate alınarak elde edilebilir. İdealite faktörünün birden büyük olması yalıtkan arayüzey tabakasının bir sonucudur. Yarıiletken ile dengede olan arayüzey durumları için n 'nin voltaja bağımlı ifadesi,

$$n(V) = 1 + \frac{\delta}{\epsilon_i} \left[\frac{\epsilon_s}{W_D} + qN_{ss}(V) \right] \quad (4.12)$$

ile verilir.

Chard ve Rhoderick tarafından elde edilen arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) ifadesi denk 4.13 ile verilir [55,65].

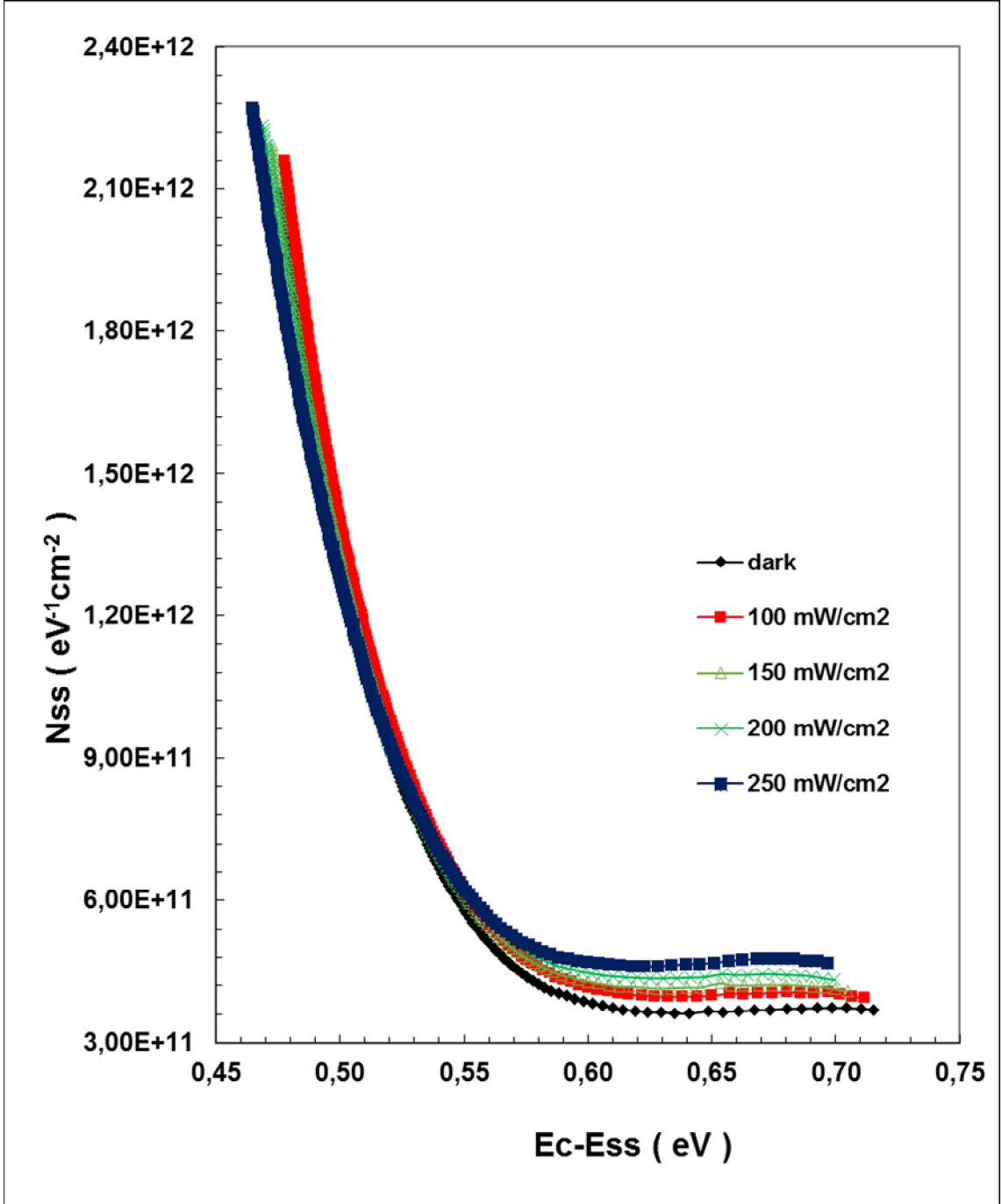
$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n-1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right] \quad (4.13)$$

Arayüzey durumlarının enerjisi n-tipi yarıiletkenler için E_{ss} ve yarıiletken yüzeyinin iletkenlik bandının alt kenarı arasındaki enerji farkı [12,27,55,69,70,77]

$$E_c - E_{ss} = q(\phi_e - V) \quad (4.14)$$

şeklinde verilir.

Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotun arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) dağılım profili doğru ön-gerilim I-V ölçümlerinden enerjinin ($E_c - E_{ss}$) bir fonksiyonu olarak, engel yüksekliğinin (Φ_e) potansiyele bağlı olduğu dikkate alınarak hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilerek Şekil 4.9'da verildi. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetleri için N_{ss} değerleri iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru azalmaktadır. Bu davranış arayüzey durumlarının genelde verici (donor) tipi olduğunu ve iletim bandı kenarına yakın olduğunu göstermektedir. Yasak enerji aralığının ortalarına doğru ise alıcı (acceptor) tipi arayüzey durumlarının etkisi hızlıca azalmaktadır.



Şekil 4.9. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerinde $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ eğrileri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın ilk kısmında, linoleik asit (Lina) otooksidasyonu polimerik linoleik asit peroksit (PLina) elde edildi. Linoleik asit (Lina) otooksidasyonu oda sıcaklığında atmosfer koşullarında hava oksijeniyle gerçekleştirildi. PLina, metil metakrilat ile serbest radikal polimerizasyon yöntemiyle polimerleştirilerek yüksek verimle (%41) iki bloklu PLina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimeri elde edildi. Bu yöntem, PLina yapısında bulunan peroksit gruplarının bir vinil monomerini polimerleştirilmesiyle gerçekleşmektedir. Ayrıca polimerizasyon yönteminin herhangi bir çözücü ve katalizöre ihtiyaç duymadan gerçekleşmesi green chemistry (yeşil kimya) için çok önemlidir.

Sentezlenen PLİMMA graft kopolimerler nükleer manyetik rezonans (^1H NMR), jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yöntemleriyle karakterize edildi. ^1H NMR spektrumlarında PLina, PLina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerlerine ait karakteristik pikler görüldü. Serbest radikal polimerizasyon yöntemi ile %41 verimle elde edilen PLİMMA blok kopolimer içerisinde %40 oranında PLina olduğu görüldü. Graft kopolimerlerin yapısında bulunan blokların % oranları ^1H NMR'dan hesaplandı. Bu sonuçlar literatüre göre gayet olumlu değerlerdir [20]. PLİMMA graft kopolimerinin termal analizi DSC ve TGA yöntemleriyle gerçekleştirildi. Poli metil metakrilat (PMMA) için $T_g=110$ °C'dir. PLina 29 °C'de, PLİMMA graft kopolimeri ise 65 °C'de T_m gösterdi. Yapı içindeki PLina, iki bloklu PLina-g-PMMA (PLİMMA) graft kopolimerinin T_m 'sini arttırmıştır. PLİMMA graft kopolimerlerin TGA diyagramlarına göre, PLİMMA $T_{d1}=274$ °C, $T_{d3}=375$ °C olmak üzere iki farklı bozunma sıcaklığı gösterdi. Bu sonuçlar yağ asidi makro peroksitlerin plastikleştirici etkisini açıkça gösterdi.

Sentezlenen ve karakterizasyonu yapılan PLİMMA graft kopolimerin elektronik uygulamalarda malzeme olarak kullanımına uygun mekanik ve termal özelliklere sahip olduğu görüldü. Böylece bu graft kopolimer, Au/PLİMMA/n-Si yapısı içinde arayüzey aktif tabaka olarak kullanılarak diyot yapımına uygunluğu araştırıldı.

Çalışmanın ikinci kısmında, Au/PLİMMA/n-Si Schottky engel diyotların elektriksel parametreleri hem karanlık hem de farklı aydınlatma şiddetlerinde akım-voltaj (I-V) karakteristikleri kullanılarak incelendi. I-V ölçümleri, oda sıcaklığında ± 5 V aralığında gerçekleştirildi. Bu çalışmada özellikle aydınlatma şiddeti, yapının seri direnci ve arayüzey durumları gibi temel diyot parametreleri üzerine etkisi araştırıldı. Doğru ve ters ön-gerilim I-V ölçümlerinden diyotun doyum akımı (I_0), metal-yarıiletken arasında oluşan sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği (Φ_{B0}), idealite faktörü (n), seri ve kısa devre dirençleri (R_s ve R_{sh}) aydınlatma şiddetine bağlı olarak elde edildi.

Deneysel I-V ölçümlerinden elde edilen I_0 , n ve Φ_{B0} gibi temel diyot parametrelerinin aydınlatma şiddetine oldukça bağlı olduğu gözlemlendi. Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyotun doğru ve ters ön-gerilim altındaki I-V eğrileri hem karanlık hem de tüm aydınlatma şiddetlerinde iyi bir doğrultma özelliğine sahiptir. Düşük ve orta gerilim bölgesinde I-V eğrileri lineer olup seri direncin etkisi yok denecek kadar azdır. Yüksek gerilim bölgesinde ise I-V eğrileri seri direnç etkisinden dolayı lineerlikten sapmaktadır. I-V eğrilerinin bu davranışı, seri direnç etkisinin düşük ve orta gerilim bölgelerinde ihmal edilebileceğini ancak yüksek gerilim bölgesinde seri direnç etkisinin mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Diyot performansını etkileyen önemli parametrelerin başında seri direnç ve kısa devre direnci gelmektedir. Bu sebeple, Schottky diyotun voltaja bağlı direnci (R_i), tüm voltaj bölgesi için Ohm yasası kullanılarak elde edildi. Yeterli büyüklükteki pozitif voltaja (5 V) karşılık gelen direnç diyotun seri direncine (R_s) ve yeterli büyüklükteki negatif voltaja (-5 V) karşılık gelen direnç ise diyotun kısa devre direncine (R_{sh}) karşılık gelmektedir. Seri direnç değerleri ileri pozitif ön-gerilimler için Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak da hesaplandı ve sonuçların uyum içinde olduğu gözlemlendi. Elde edilen seri direnç değerleri artan aydınlatma şiddeti ile literatüre uygun olarak azalmaktadır [27, 34, 76, 78, 79]. Artan aydınlatma şiddeti ile yarıiletkenin valans bandındaki yüklerin büyük ölçüde iletim bandına uyarılması ve dolayısıyla iletkenliğin artmasına yol açması sebebiyle bu beklenen bir davranıştır.

Artan aydınlatma şiddeti ile n değerlerinin artması, metal ile yarıiletken arasındaki Schottky potansiyel engelin homojensizliğine ve tüketim tabakasının (W_D) azalmasına atfedildi [30, 35, 37, 47]. Yani, metal-yarıiletken arayüzeyde akım iletimi, aydınlatma şiddeti etkisiyle daha fazla enerji kazanan elektronların, metal-yarıiletken arasında

oluşan daha düşük potansiyel engellerinden kolayca geçerek akımın artmasına ve idealite faktörünün de artmasına sebep olmaktadır. Farklı aydınlatma şiddetleri için I-V eğrilerinden elde edilen deneysel verilere göre, artan aydınlatma şiddeti ile Φ_{Bo} değerleri azalırken n değerleri artmaktadır.

I-V ölçümleri ile diyot parametresi hesaplamasında Cheung&Cheung fonksiyonları yardımıyla Schottky diyotun $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ grafikleri çizildi. $dV/d\ln(I)-I$ grafiğinden yararlanarak idealite faktörü ve seri direnç değerleri hesaplandı. Burada hesaplanan n değerinin termiyonik emisyon teorisine göre hesaplanan n değerinden büyük olduğu göze çarpmaktadır (Çizelge 4.4). Bunun sebebi Cheung fonksiyonlarının, değer aralığının, doğru besleme grafiğinin lineer olmayan, seri direncin etkin olduğu bölgeden seçilmesi ve Cheung fonksiyonları ile hesaplanan denklemlerde n denkleminin, uygulanan besleme gerilimine bağlılığıdır. Cheung fonksiyonlarının diğer adımında, $H(I)-I$ grafiği çizilmiş ve uyum doğrusu bulunmuştur. Cheung fonksiyonlarının birinci adımında bulunan n faktörünün kullanılmasıyla engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hesaplandı. Cheung fonksiyonları sonucu elde edilen engel yüksekliği değeri termiyonik emisyon yöntemiyle elde edilen engel yüksekliğinden küçük çıkmıştır. Ayrıca $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ grafiklerinden elde edilen seri direnç değerlerinin birbiriyle uyum içinde olduğu ve artan aydınlatma şiddetlerine göre azaldığı görüldü.

Arayüzey durumlarının (N_{ss}) dağılım profili doğru ön-gerilim I-V ölçümlerinden enerjinin (E_c-E_{ss}) bir fonksiyonu olarak, potansiyel engel yüksekliğinin gerilime bağlı olduğu dikkate alınarak hem karanlık hem de tüm aydınlatma şiddetleri için elde edildi. Arayüzey durumlarının yoğunluğu hem karanlık hem de tüm aydınlatma şiddetlerinde iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru azalmakta ve daha sonra sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu davranış arayüzey durumlarının donör tipi özelliğine bağlanabilir.

Elde edilen deneysel sonuçlar, sentezlenen PLİMMA graft kopolimerinin, bir arayüz katmanı olarak Au/PLİMMA/n-Si Schottky diyot için oldukça olumlu sonuçlar verdiğini, elektronik uygulamalarda malzeme olarak kullanımına uygun mekanik ve termal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. PLİMMA polimer arayüzey tabakasının, diyotların doğrultma oranını ve kısa devre direncini önemli ölçüde artırdığı, arayüzey durumlarını ise önemli ölçüde azalttığı görüldü.

Sonuç olarak, Au/PLİMMA/n-Si Schottky engel diyotlarının temel elektriksel parametrelerinin aydınlatma şiddetine oldukça bağlı olduğu ve metal-yarıiletken arasındaki polimer arayüzey tabaka, seri direnç ve arayüzey durumlarının önemli ölçüde etkilendiği gözlemlendi. Bu sebeple, tüm hesaplamalarda özellikle seri direnç, arayüzey tabakanın kalınlığı ve arayüzey durumlarının etkisi dikkate alınmalıdır. Buradaki sonuçlara dayanarak, hazırlanacak polimer arayüzey tabakalı Schottky diyotların temiz laboratuvar ortamlarında hazırlanması ve polimer tabakanın uygun bir katkı ile katkılanmasının diyotun elektriksel özelliklerini daha da iyileştireceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Saçak M., *Polimer Kimyası*, Gazi Kitabevi, (2002).
- [2] Bados P.G.G.J., çev.Hazaryan A., *Kırılğan nesnelər*, 2.Baskı, Tübitak Popüler Bilim Kitapları, (1999).
- [3] Pişkin E., *Polimer Teknolojisine Giriş*.
- [4] Oral D.D., Silisyum tabanlı organik-inorganik diyotların elektriksel karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, (2012).
- [5] Boy F., Organik arayüzeyli GaAs schottky diyotların elektriksel karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, (2013).
- [6] Yasuhiko S., Organic materials for electronic and optoelectronic devices, *Journal of Materials Chemistry*, (2000) 10,1.
- [7] Schottky W., Halbleitertheorie der sperrschicht, *Naturwissenschaften*, (1938) 26: 843.
- [8] Crowell C.R., Sze S.M., Current transport in metal-semiconductor barriers, *Solid State Electronics*, (1966) 9: 1035-1040.
- [9] Sze S.M., *Physics of semiconductor devices 2nd ed.*, Willey, New York, (1981) 245-300.
- [10] Milnes A.G., Feucht D.L., *Heterojunction and metal-semiconductor junctions*, Academic Press, New York and London, (1972) 156-200.
- [11] Norde H., A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance, *Journal of Applied Physics*, (1979) 5052-5056.
- [12] Cheung S.K., Cheung N.W., Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics, *Applied Physics Letters*, (1986) 49(2):85-91.
- [13] Cowley A.M., Sze S.M., Surface state and barrier height of metal-semiconductor systems, *Journal of Applied Physics*, (1965) 36 (10): 3212-3221.
- [14] Card H.C., Rhoderick E.H., Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon schottky diodes, *Journal of Physics D:Applied Physics*, (1971) 4:1589-1601.
- [15] Hamidi Ş., Organik yarıiletken/inorganik yarıiletken heteroeklem diyodunun elektriksel özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi, (2011).

- [16] Öztürk T., Yeni bir başlatıcı sistemi ile metil metakrilatın atom transfer radikal polimerizasyonu, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2006).
- [17] Lenz R.W., *Organic chemistry of synthetic high polymers*, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1967) 3-17.
- [18] Allı A., Yeni bazı graft kopolimerlerin sentezi ve fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, (2008).
- [19] Atalar M.N., Aynı anda gerçekleştirilen tersinir katımlı-ayrışmalı zincir transfer ve halka açılması polimerizasyonu ile blok-graft kopolimerlerin sentezi ve karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Kafkas Üniversitesi, (2011).
- [20] Allı S., Yeni bazı amfifilik biyobozunur graft kopolimerlerin sentezi, karakterizasyonu ve fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, (2014).
- [21] Hazer B., Chemical modification of synthetic and biosynthetic polymers, *Biopolymers*, (2003) 10 (6):181-208.
- [22] Akçay A., Atom transfer radikal polimerizasyonu ile stiren esaslı yeni makroperoksi başlatıcı sentezi, karakterizasyonu; bu başlatıcı ile blok ve graft kopolimerlerin eldeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2008).
- [23] Tataroğlu B., MIS yapıların frekans ve radyasyona bağlı temel elektriksel parametreleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2006).
- [24] Özaydın R., Au/PVA/n-Si MIS yapıların akım-voltaj (I-V) ölçümlerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2009).
- [25] Buget U., Wright G.T., Space-charge limited current in silicon, *Solid State Electronics*, (1967) 10:199-207.
- [26] Horvath Z.J., Adam M., Ducsö C.S., Van Tuyen V., Barsony I., *et al.*, Electrical characterization of Al/n-Si, *Solid State Electronics*, (1988) 42:221-228.
- [27] 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, (2010).
- [28] Bayram A., Al/p-Si/Al schottky diyotlarında I-V, C-f, C-V karakteristiklerinden diyot parametrelerinin hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, (2010).

- [29] Sze S.M., *Physics of Semiconductor Devices 2nd ed.*, John Wiley & Sons, New York, (1981) 362-390.
- [30] Nicollan E.H., Brews J.R., *MOS Physics and Technology*, John Wiley & Sons, New York, (1982) 40-175, 222-226, 423-439.
- [31] Yıldırım M., Au/SiO₂/n-Si (MYY) yapıların elektriksel parametrelerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2010).
- [32] Gökçen M., MOS yapılarda kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) karakteristiklerinin frekans ve radyasyona bağlı incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2003).
- [33] Gökçen M., Au/SiO₂/n-GaAs (MOY) yapıların elektrik ve dielektrik karakteristiklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2008).
- [34] Pür F.Z., Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) yapıların akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2012).
- [35] Sze S.M., Ng Kwok K., *Physics of Semiconductor Devices 3rd ed.*, John Wiley & Sons, New Jersey, (2007) 362-390.
- [36] Kaya A., Al/SiO₂/p-Si (MIS) yapıların elektrik karakteristiklerinin frekansa bağlı incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2010).
- [37] Neamen D.A., *Semiconductor Physics and Devices 2nd ed.*, McGraw-Hill, New York, (1997) 420-450, 517-523.
- [38] Sze S.M., *Metal-Semiconductor Contacts, Physics of Semiconductor Devices 2nd ed.*, John Wiley & Sons, New York, (1981) 250-270.
- [39] Tüzün Ö., Metal-yalıtkan-yarıiletken yapıdaki gözenekli silisyum güneş pillerinin elektriksel karakteristikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Muğla Üniversitesi, (2005).
- [40] Taşçioğlu İ., Au/PVA:Zn/n-Si (MPS) schottky engel diyodun elektriksel özelliklerinin sıcaklık ve radyasyona bağlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2012).
- [41] Cansever S., Metal/poli (pentachlorophenyl methacrylate-co-glycidyl methacrylate) heterojunction diyotların elektriksel ve optiksel karakteristiklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bozok Üniversitesi, (2011).
- [42] Gürkan Aydın S., Al/PNpCIPhPPy/ptipi-Si kontakın elektronik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, (2010).
- [43] Demircioğlu M., Sn/p-Si metal-yarıiletken yapıların oda sıcaklığında akım-voltaj ve kapasitans-voltaj karakteristiklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*,

- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, (2010).
- [44] Yıldız D.E., Al/SiO₂/p-Si (MY) yapıların akım-iletim mekanizması ve elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2008).
- [45] Padavoni F.A., Stratton R., Field and termionic-field emissionin schottky barriers, *Solid State Electronics*, (1966) 9:695-707.
- [46] Tecimer H., Türüt A., Uslu H., Altındal Ş., Uslu İ., Temperature dependent current-transport mechanism in Au/(Zn-doped)PVA/n-GaAs schottky barrier diodes (SBDs), *Sensors and Actuators A:Physical*, 199 (2013) 194-201.
- [47] Sharma B.L., *Metal-semiconductor contacts schottky barrier junctions and their applications*, Plenum Press, New York, (1984) 1-50.
- [48] Saxena A.N., Forward current-voltage characteristic of schottky barriers on n-type silicon, *Surface Science*, (1969) 13:151-171.
- [49] Deneuille A., *Journal of Applied Physics*, (1974) 45, 3079-8.
- [50] Dökme İ., Al/p-Si ve Au/n-Si schottky diyotlarda I-V ve C-V karakteristiklerinin geniş bir sıcaklık aralığında analizi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2002).
- [51] Rhoderick E.H., Metal-Semiconductor Contacts, *Solid-State and Electron Devices, IEE Proceedings I*, (1982) 129(1):1-14.
- [52] Sönmezoğlu S., Akın S., Kapasitans-voltaj (C-V) yöntemiyle Sb katkılı TiO₂/n-Si MIS yapının seri direnç parametresinin hesaplanması, *AKU Journal of Sciences*, 11 (2011) 011101 (1-8).
- [53] Chattopadhyay P., Daw A.N., On the current transport mechanism in a metal insulator-semiconductor diode, *Solid State Electronics*, (1986) 29(5):555-560.
- [54] Sato K., Yasamura Y., Study of forward I-V plot for schottky diodes high series resistance, *Journal of Applied Physics*, (1985) 58(9):3655-3660.
- [55] Çulcu H., Allı A., Allı S., Gökçen M., Synthesis and characterization of poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) (PLİMMA) graft copolymer with applying in Au/PLİMMA/n-Si diode, *Materials Science in Semiconductor Processing*, (2015) 31, 639-643.
- [56] Yasan M., Gökçen M., Allı A., Allı S., Electrical characterization of Au/poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) (PLİMMA)/n-Si diode in dark and under illumination, *Current Applied Physics*, (2015) 15(1), 14-17.
- [57] Karataş Ş., Altındal Ş., Zn/p-Si schottky diyotlarda temel elektriksel parametrelerin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *KSU Journal of Science and Engineering*, (2005) 8(1).

- [58] Seçuk M.N., Au/PANI/p-Si/Al organik/inorganik yarıiletken diyotların akım-voltaj karakteristikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, (2011).
- [59] Güllü Ö., Aydoğan Ş., Biber M., Türüt A., Fabrication and electrical properties of Al/phenolsulfonphthalein/n-Si/AuSb structure, *Vacuum*, (2008) 82, 1264-1268.
- [60] Sharma M., Tripathi S.K., Analysis of interface states and series resistance for Al/PVA:n-CdS nanocomposite metal-semiconductor and metal-insulator-semiconductor diode structures, *Applied Physics A*, (2013) 113:491-499.
- [61] Başman N., Uzun O., Fiat S., Alkan C., Çankaya G., Electrical characterization of a pre-ceramic polymer modified Ag/poly (hydridocarbyne)/p-Si schottky barrier diode, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, (2012) 23:2282-2288.
- [62] Gökçen M., Yasan M., Allı A., Demir A., Çulcu H., *et al.*, Illumination effect on electrical characterization of Au/poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) (PLİMMA)/n-Si diode, *7th Workshop on Fats and Oils as Renewable Feedstock for the Chemical Industry*, Karlsruhe-Germany, P17, (2014).
- [63] Gökçen M., Çulcu H., Allı S., Taran S., Yasan M., *et al.*, Synthesis, characterization and electronic application of poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) graft copolymer, *7th Workshop on Fats and Oils as Renewable Feedstock for the Chemical Industry*, Karlsruhe-Germany, P16, (2014).
- [64] Sharma B.L., *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*, Plenum Press, New York and London, (1984) 1-56.
- [65] Gökçen M., Yıldırım M., Demir A., Allı A., Allı S., *et al.*, UV illumination effects on electrical characteristics of metal-polymer-semiconductor diodes fabricated with new poly (propylene glycol)-b-polystyrene block copolymer, *Composites: Part B*, (2014) 57, 8-12.
- [66] Bengi S., Au/PVA/n-Si (MIS) schottky diyotların temel elektriksel parametrelerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2009).
- [67] Uslu İ., Başer B., Yaylı A., Aksu M.L., Preparation and characterization of PVA/Zinc Acetate/Boron composite fibers, *e-Polymers*, (2007) 145.
- [68] Uslu İ., Daştan H., Altaş A., Yaylı A., Atakol O., *et al.*, Preparation and characterization of PVA/Boron polymer produced by an electrospinning technique, *e-Polymers*, (2007) 133.

- [69] Balcı H., Akıllı (fonksiyonel) tekstiller, seçilmiş kumaşlarda antibakteriyel apre ve performans özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, (2006).
- [70] Gökçen M., Allı A., Investigation of electrical and photovoltaic properties of Au/poly (propylene glycol)-b-polystyrene/n-Si diode at various illumination intensities, *Philosophical Magazine*, (2014) 94:9, 925-932.
- [71] Ramaseshan R., Sundarrajan S., Jose R., Nanostructured ceramics by electrospinning, *Journal of Applied Physics*, (2007) 102, 111101.
- [72] Karataş S., Au/Poli(3-Sübsitüetiyoferen) (P3DMTFT)/n-tipi InP/In yapının elektriksel karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, (2011).
- [73] Çetinkara H.A., Türüt A., Zengin D.M., Erel Ş., The energy distribution of the interface state density of Pb/p-Si schottky contacts exposed to clean room air, *Applied Surface Science*, (2003) 207, 190-199.
- [74] Taşçıoğlu İ., Aydemir U., Altındal Ş., Kınacı B., Özçelik S., Analysis of the forward and reverse bias I-V characteristics on Au/PVA:Zn/n-Si schottky barrier diodes in the wide temperature range, *Journal of Applied Physics*, (2011) 109, 054502.
- [75] Gökçen M., Tunç T., Altındal Ş., Uslu İ., Electrical and photocurrent characteristics of Au/PVA(Co-doped)/n-Si photoconductive diodes, *Materials Science and Engineering B*, (2012) 177, 416-420.
- [76] Dökme İ., Altındal Ş., Uslu İ., The effects of temperature, radiation, and illumination on current-voltage characteristics of Au/PVA(Co,Zn-doped)/n-Si schottky diodes, *Journal of Applied Polymer Science DOI*, (2011) 10.1002.
- [77] Sönmezoğlu S., Şenkul S., Taş R., Çankaya G., Can M., Electrical and interface state density properties of polyaniline-poly-3-methyl thiophene blend/p-Si schottky barrier diode, *Solid State Sciences*, (2010) 12, 706-711.
- [78] Ocak Y.S., Organik-inorganik hibrit yapıların elektriksel ve fotoelektriksel karakterizasyonu, *Doktora Tezi*, Dicle Üniversitesi, (2010).
- [79] Bozkaplan C., Ag/ZnO/p-Si yapısının elektriksel karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi, (2011).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇULCU, Hayat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 05.08.1978 / Besni
Telefon : 0 (532) 5716608
Faks :
E-posta : hayatculcu@duzce.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi / Fizik Bölümü	2015
Lisans	Pamukkale Üniversitesi / Kimya Bölümü	1999
Lise	Besni Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2008	Yeni Oluşum 2000 Ders.	Kimya Öğrt.&Müdür
2010-	Düzce Üniversitesi	Memur

Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS/KPDS/TOEFL :)

Yayınlar

1. **Çulcu H.**, Allı A., Allı S., Gökçen M., Synthesis and characterization of poly (linoleic acid)-g-poly(methyl methacrylate) (PLiMMA) graft copolymer with applying in Au/PLiMMA/n-Si diode, Materials Science in Semiconductor Processing, (2015) 31, 639-643.

2. **Çulcu H.**, Yasan M., Gökçen M., Allı S., Allı A., poli (linoleik asit)-g-poli (metil metakrilat) (PLiMMA) graft kopolimerin sentezi, karakterizasyonu ve UV dedektörlerde kullanımının araştırılması, IV.Fiziksel Kimya Kongresi, Denizli, P77 (5-8/06/2014).
3. Gökçen M., **Çulcu H.**, Allı S., Taran S., Yasan M., Allı A., Synthesis, characterization and electronic application of poly (linoleic acid)-g-poly(methyl methacrylate) graft copolymer, 7th Workshop on Fats and Oils as Renewable Feedstock for the Chemical Industry. Karlsruhe, Germany, P16, (23-25/03/2014).
4. Gökçen M., Yasan M., Allı A., Demir A., **Çulcu H.**, Allı S., Illumination effect on electrical characterization of Au/poly (linoleic acid)-gpoly(methyl methacrylate) (PLiMMA)/n-Si diode, 7th Workshop on Fats and Oils as Renewable Feedstock for the Chemical Industry. Karlsruhe, Germany, P17, (23-25/03/2014).