



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

**POLİ (LİNOLENİK ASİT)-g-POLİ (KAPROLAKTON)-g-POLİ
(t-BÜTİL AKRİLAT) (PLİPCLP_tBA) GRAFT KOPOLİMER
ARAYÜZEYİN Au/n-Si DİYOT PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

ÜMİT GÜRSEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MUHARREM GÖKÇEN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİ (LİNOLENİK ASİT)-g-POLİ (KAPROLAKTON)-g-POLİ
(t-BÜTİL AKRİLAT) (PLİPCLPtBA) GRAFT KOPOLİMER
ARAYÜZEYİN Au/n-Si DİYOT PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Ümit GÜRSEL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Cabir TERZİOĞLU

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mert YILDIRIM

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 03/12/2018

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.

03 Aralık 2018

Ümit GÜRSEL

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince Fizik Bölümü'nde görevli değerli tüm hocalarıma, tez çalışmalarım süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımı eksik etmeyen, beni yönlendiren, bilgi ve desteğini eksik etmeyen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2014.05.02.260 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

03 Aralık 2018

Ümit GÜRSEL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER	XI
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER	5
2.1. POLİMERLER	5
2.2. YARIİLETKENLER.....	7
2.2.1. Katıların Bant Yapısı.....	8
2.2.2. Yarıiletkenlerin Bant Yapısı	9
2.2.3. Yarıiletken Tipleri ve Katkılama	10
2.3. METAL/YARIİLETKEN KONTAKLAR	12
2.3.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu ve Omik Kontaklar.....	13
2.3.2. Metal/p-tipi Yarıiletken Doğrultucu ve Omik Kontaklar.....	17
2.4. METAL/POLİMER/YARIİLETKEN KONTAKLAR.....	21
2.4.1. İdeal MIS/MPS Yapısı.....	22
2.4.2. Gerçek MIS/MPS Yapısı	24
2.5. MS VE MIS/MPS KONTAKLARDA AKIM İLETİM MEKANİZMALARI	25
2.5.1. Termiyonik Emisyon (TE)	28
2.5.2. Difüzyon.....	30
2.5.3. Termiyonik Emisyon-Difüzyon	31
2.5.4. Alan Emisyonu	31
2.5.5. Termiyonik Alan Emisyonu.....	32
2.5.6. Taşıyıcı Üretimi ve Yeniden Birleşmesi.....	33

2.5.7. Azınlık Taşıyıcı Enjeksiyonu	34
2.5.8. T_0 Anomali.....	34
2.5.9. Uzay Yüğüyle Sınırlı Akım	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	37
3.1.1. PLinl-g-PCL-g-PtBA (PLilPCLPtBA) Üç Bloklu Graft Kopolimerin Özellikleri	37
3.1.2. Si kristalinin Özellikleri	38
3.2. MS VE MPS YAPININ HAZIRLANMASI	39
3.2.1. Kristal Temizleme.....	39
3.2.2. Omik Kontakın Oluşturulması.....	41
3.2.3. Polimer Tabakanın Oluşturulması	42
3.2.4. Doğrultucu Kontakın Oluşturulması	44
3.3. KULLANILAN ÖLÇÜM VE KARAKTERİZASYON DÜZENEKLERİ...45	
3.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (FEGSEM).....	45
3.3.2. Keithley 2400 Akım-Gerilim Kaynağı	46
3.3.3. Işık Kaynakları	46
4. BÖLÜM.....	47
4.1. PLilPCLPtBA YAPININ GÖRÜNÜR IŞIK ALTINDAKİ AKIM-VOLTAJ KARAKTERİSTİKLERİ	47
4.2. PLilPCLPtBA YAPININ UV (365 nm) IŞIK ALTINDAKİ AKIM-VOLTAJ KARAKTERİSTİKLERİ	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
6. KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Monomer ve Polimer molekülleri.....	5
Şekil 2.2. Enerji bant diyagramı	8
Şekil 2.3. (a) İletkenlerin, (b) Yalıtkanların, (c) Yarıiletkenlerin enerji bant diyagramı..	8
.....	8
Şekil 2.4. (a) İndirekt (dolaylı) bant, (b) Direkt (doğrudan) bant.....	10
Şekil 2.5. Si yarıiletkeninin B ile katkılanması ile p-tipi yarıiletkenin elde edilmesi.. ..	11
Şekil 2.6. Si yarıiletkeninin P ile katkılanması ile n-tipi yarıiletkenin elde edilmesi.....	11
Şekil 2.7. Saf yarıiletkenlerde enerji bant diyagramı.....	11
Şekil 2.8. (a) p-tipi ve (b) n-tipi yarıiletkenlerde enerji bant diyagramı.....	12
Şekil 2.9. Bir metal ve n-tipi bir yarıiletken; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.....	13
Şekil 2.10. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak; (a) termal denge durumunda, (b) $V>0$ olması halinde, (c) $V<0$ olması halinde enerji bant diyagramları... ..	16
Şekil 2.11. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontak; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.. ..	17
Şekil 2.12. Bir metal ve p-tipi bir yarıiletken; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.....	17
Şekil 2.13. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak; (a) termal denge durumunda, (b) $V>0$ olması halinde, (c) $V<0$ olması halinde enerji bant diyagramları... ..	19
Şekil 2.14. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontak; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki, (c) $V<0$ ve $V>0$ durumunda enerji bant diyagramı.....	21
Şekil 2.15. $V=0$ da ideal bir MIS/MPS yapının; (a) n-tipi yarıiletken için, (b) p-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı.....	22
Şekil 2.16. MIS kapasitansının eşdeğer devresi.	24
Şekil 2.17. İdeal olmayan MIS yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandır- ması.. ..	25
Şekil 2.18. Doğru beslem altında metal/yarıiletken kontaklarda akım iletim mekaniz- maları.....	26
Şekil 2.19. Farklı akım iletim mekanizmalarını gösteren $nkT/q-kT/q$ grafiği.....	35
Şekil 3.1. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan metal buharlaştırma cihazı.	41
Şekil 3.2. Elektrosinning cihazı.	42
Şekil 3.3. Elektrosinning sisteminin temel mekanizması.	43
Şekil 3.4. PLInl-g-PCL-g-PtBA (PLIIPCLtBA) graft kopolimer kaplanan yüzeyin elektron mikroskobu görüntüsü.....	44
Şekil 3.5. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske.....	44
Şekil 3.6. Laboratuvar ortamında elde edilen benzer MPS yapının şematik gösterimi..	45
Şekil 3.7. Quanta FEG 250 model SEM cihazı	45
Şekil 3.8. Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı.....	46
Şekil 4.1. (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki I-V grafikleri	47

Şekil 4.2. Omik yaklaşımla elde edilen direnç değerlerinin karanlıkta voltaja bağlı değişim grafiği.....	51
Şekil 4.3. (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki $F(V)$ - V grafikleri.....	52
Şekil 4.4. (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafikleri.....	55
Şekil 4.5. (a) MS ve (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV aydınlatma şiddeti altındaki I - V grafikleri..	57
Şekil 4.6. (a) MS ve (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV aydınlatma şiddeti altındaki $F(V)$ - V grafikleri.	59
Şekil 4.7. (a) MS ve (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV aydınlatma şiddeti altındaki $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafikleri.....	61



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Metal/n-tipi ve metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için doğrultucu ve omik kontak oluşumu.	13
Çizelge 2.2. Dielektrik filmlerde akım iletim mekanizmaları.	28
Çizelge 3.1. PLinl, ϵ -CL ve t-bütül akrilat'ın 110°C ve 24 saatte tek basamakta (one-step) sentezlenen graft kopolimerizasyon üzerine t-bütül akrilat miktarının etkisi.	37
Çizelge 3.2. PLinl-g-PCL-g-PtBA graft kopolimerlerin DSC ve TGA verileri.	37
Çizelge 3.3. Silisyum yarıiletkeninin oda sıcaklığındaki (300 K) bazı özellikleri.	39
Çizelge 4.1. MS ve MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen temel elektriksel parametreleri.	50
Çizelge 4.2. MS ve MPS diyotlarının karanlık ve farklı UV aydınlatma şiddetleri için elde edilen temel elektriksel parametreleri ..	58

KISALTMALAR

AE	Alan emisyonu
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DC	Doğru beslem
DÜBİT	Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi
eV	Elektron-volt
F(V)	Norde fonksiyonu
I-V	Akım-Voltaj
LED	Işık yayan diyot
MFS	Metal/Ferroelektrik/Yarıiletken
MIS	Metal/Yalıtkan/Yarıiletken
MPS	Metal/Polimer/Yarıiletken
MS	Metal/Yarıiletken
PLiPCLPtBA	Poli (linolenik asit)-g-poli (kaprolakton)-g-poli (tersiyel bütil akrilat)
PVC	Polivinil klorür
RCA	Amerika Radyo Kurumu
SBD	Schottky bariyer diyotu
SCLC	Uzay yüküyle sınırlı akım
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TAE	Termiyonik alan emisyonu
TE	Termiyonik emisyon
UV	Morötesi

SİMGELER

A	Diyot alanı
A*	Etkin Richardson sabiti
Å	Angström
Au	Altın
C	Kapasitans
CdS	Kadmiyum Sülfür
CdSe	Kadmiyum Selenit
C _{ox}	Yalıtkan tabaka kapasitansı
C _{sc}	Uzay yükü kapasitansı
D _n	Elektron difüzyon sabiti
d _{ox}	Ara yüzey tabaka kalınlığı
D _p	Deşik (hol) difüzyon sabiti
DP _n	Polimerizasyon derecesi
E _c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E _F	Fermi enerjisi
E _g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
E _i	Saf enerji seviyesi
E _v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
GaAs	Galyum Arsenik
Ge	Germanyum
h	Planck sabiti
InSb	İndiyum Antimon
I _{m→s}	Metalden yarıiletkene doğru akım
I _{s→m}	Yarıiletkenden metale doğru akım
I _o	Ters beslem doyum akımı
J _{ms}	Metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğu
J _{sm}	Yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
L _p	Deşik (hol) difüzyon uzunluğu
m*	Taşıyıcı etkin kütlesi
M _n	Ortalama molekül ağırlığı
M _v	Viskozite ortalama molekül ağırlığı
M _w	Kütlece ortalama molekül ağırlığı
n	İdealite faktörü
n(x)	Elektron yoğunluğu
N _C	İletkenlik bandı taşıyıcı yoğunluğu
N _D	Verici yoğunluğu
N _{eff}	Etkin durum yoğunluğu
N _{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
q	Elektrik yükü
Q _{sc}	Uzay yükü
R _s	Seri direnç
R _{sh}	Şönt direnç

Si	Silisyum
SiO ₂	Silisyum dioksit
T	Mutlak sıcaklık
T _g	Camsı geçiş sıcaklığı
V _{ox}	Yalıtkan (polimer) üzerine düşen gerilim
W _o	Tüketim bölgesinin genişliği
ZnS	Çinko Sülfür
ε _s	Yarıiletken dielektrik geçirgenliği
ε _{ox}	Yalıtkan tabaka dielektrik geçirgenliği
μ _e	Elektron mobilitesi
μ _h	Deşik (hol) mobilitesi,
Φ _m	Metalin iş fonksiyonu
Φ _s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ	Elektron alınganlığı
ψ _B	Fermi enerji seviyesi ile saf enerji seviyesi arasındaki enerji farkı
ψ _s	Arayüzey bant gerilimi
Φ _b	Bariyer engel yüksekliği
Φ _{B0}	Sıfır beslem bariyer engel yüksekliği
Φ _e	Etkin (efektif) engel yüksekliği

ÖZET

POLİ (LİNOLENİK ASİT)-g-POLİ (KAPROLAKTON)-g-POLİ (t-BÜTİL AKRİLAT) (PLiPCLPtBA) GRAFT KOPOLİMER ARAYÜZEYİN Au/n-Si DİYOT PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Ümit GÜRSEL

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN

Aralık 2018, 68 sayfa

Poli (linolenik asit)-g-poli (kaprolakton)-g-poli (t-bütül akrilat) (PLiPCLPtBA) graft kopolimer Au/n-Si Schottky diyotlarda arayüzey tabaka olarak kullanılmıştır. Bu arayüzey tabakanın diyotlarda kullanılabilirliğini ve elektro-optik etkilerini incelemek için Au/n-Si (MS) ve Au/PLiPCLPtBA/n-Si (MPS) diyotlar üretilmiştir. PLiPCLPtBA polimer tabaka n-Si tek kristal üzerine elektrospinning yöntemiyle kaplanmıştır. Bu tabakanın yüzey morfolojisi ve nano fiber yapısı elektron mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. MS ve MPS diyotların akım-voltaj (I-V) ölçümleri karanlık, halojen lamba ve UV (365 nm) aydınlatma şartlarında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu diyotların; ters beslem doyum akımı (I_o), sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{Bo}), idealite faktörü (n), seri direnç (R_s), şönt direnç (R_{sh}) ve arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) gibi temel elektriksel parametreleri I-V ölçümlerinden hesaplanmıştır. Elde edilen değerler her bir aydınlatma durumu için kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Anahtar sözcükler: Diyot parametreleri, Polimer, Schottky diyot, Seri direnç.

ABSTRACT

EFFECT OF POLY (LINOLENIC ACID)-g-POLY (CAPROLACTONE)-g-POLY (t-BUTYL ACRYLATE) (PLilPCLPtBA) GRAFT COPOLYMER INTERFACIAL LAYER ON Au/n-Si DIODE PARAMETERS

Ümit GÜRSEL

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Physics

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Muharrem GÖKÇEN

December 2018, 68 pages

Poly (linolenic acid)-g-poly (caprolactone)-g-poly (t-butyl acrylate) (PLilPCLPtBA) graft copolymers were used as interfacial layer in Au/n-Si Schottky diodes. Au/n-Si (MS) and Au/PLilPCLPtBA/n-Si (MPS) diodes were fabricated to explore the usability of this graft copolymer as interfacial layer and investigate its electro-optical effects on the diodes. PLilPCLPtBA polymer layer was coated on n-Si single crystal by electrospinning method. Surface morphology and nano fiber characteristics of this layer were investigated using an electron microscope. The current-voltage (I-V) measurements of the MS and MPS diodes were performed under dark, halogen lamp and UV (365 nm) illumination conditions at room temperature. Main electrical parameters such as reverse bias saturation current (I_o), zero bias barrier height (Φ_{Bo}), ideality factor (n), series resistance (R_s), shunt resistance (R_{sh}) and interface state density (N_{ss}) of the diodes were extracted from I-V measurements. The obtained values are given as a comparison for each illumination conditions.

Keywords: Diode parameters, Polymer, Schottky diode, Series resistance.

1. GİRİŞ

Elektronik dünyasının doğuşundan itibaren günümüzde her alanda kullanmakta olduğumuz elektronik cihazların yapısında yarıiletkenlerden yapılan birçok devre elamanı bulunmaktadır. Yarıiletkenler günümüzde elektro-optik ve opto-elektronik alanda birçok teknolojik ürünün üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarıiletkenler bugün olduğu gibi geleceğin de en önemli teknoloji ürünlerinin ortaya çıkmasında pay sahibi olacağı düşünülmektedir.

Yarıiletkenler yalıtkanlar ile iletkenler arasında bir iletkenliğe sahip olup elementel yarıiletkenlerin son yörüngelerinde 4 elektron bulunmaktadır. Bu nedenle genel olarak 4'lü kovalent bağ yapan bu maddeler saf halde zayıf iletkenlik gösterirler. Yarıiletkenlerin iletkenlikleri; sıcaklık, aydınlanma şiddeti, manyetik alan, elektrik alan, safsızlık atomlarının yoğunluğu ve yapıya katkı maddesi ilavesi ile değiştirilebilir. Bu özelliklerinden dolayı yarıiletken maddeler fiziksel özellikleri ayarlanabilir malzemeler olarak, elektronik devre elemanlarının yapımında sıklıkla kullanılır. Elektriksel özelliklerindeki çeşitlilik ve değişim, elektronik aygıt tasarlanmasında yarıiletkenleri önemli hale getirmiştir. 1950'li yıllarda mikroelektronik alanındaki araştırmalar çoğunlukla temel devre elemanları üzerinde yapılmış, bu dönemde yarıiletken olarak Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) önemli ölçüde kullanılmıştır. Sonraki dönemlerde ise Si kullanımı daha yaygın olmuştur [1]. Yarıiletken fiziğinin gelişmesi ile birlikte metal-yarıiletken kontakların yapısı anlaşılmaya başlanılmıştır [2]. Yarıiletken kullanılarak elde edilen elektro-optik veya opto-elektronik cihazlar elektronik endüstrisinin temelini oluşturmaktadır. Günümüzde metal/yarıiletken (MS) ve metal/yalıtkan/yarıiletken ya da metal/polimer/yarıiletken (MIS/MPS) yapıların elektriksel karakteristiklerinin incelenmesi oldukça önemlidir [3].

Farklı iki madde kontak haline getirildiğinde, maddeler arasındaki yük alış-verişinden dolayı yeni bir yük dağılımı gerçekleşir. Termal denge sonucu olarak yük alış-verişi her iki farklı maddenin Fermi enerji seviyeleri eşit oluncaya kadar sürer [4]. Bir metal ile bir yarıiletken kontak yapıldığında meydana gelen yeni sistem, MS kontak olarak adlandırılır [5].

Elektronik dünyasının yolunu açan ilk sistemli araştırma 1874 yılında Braun tarafından yapılmıştır [6]. Braun ilk önce radyo dedektörlerinde sonrasında ise radar dedektörü ve entegre devrelerde kullandığı metal ve yarıiletkenlerde uygun kontaklar yaparak elektriksel iletkenliğin doğasını keşfetmiştir [3]. 1900 yılının başlarında MS kontaktların uygulamaları yapılmıştır. 1931 yılında katıların bant teorisine dayalı olarak yarıiletkenlerin akım iletim kuramını formüle eden Wilson teorisi, MS kontaklara uygulandı. 1938 yılında Schottky, MS arayüzeyinde bir potansiyel engeli oluştuğunu ilk defa ortaya koymuştur [7]. Schottky, MS yapıdaki potansiyel engelin, kimyasal bir tabaka olmayıp, sadece yarıiletken içerisindeki kararlı uzay yüklerinden kaynaklandığını ileri sürmüştür. Yine aynı yıl içerisinde Mott, Mott engeli olarak bilinen, yarıiletken kontaklar için teorik bir model geliştirmiştir [8]. Daha sonra yapılan çalışmalar, Schottky engel yüksekliğinin, metalin iş fonksiyonundan farklı olarak MS kontağın hazırlanma yöntemlerine bağlı olduğunu göstermiştir. MS ara yüzeydeki tabakanın, kontağın hazırlanma şartlarına göre kalınlığı ve kimyasal yapısı değişebilir. Card ve Rhoderick arayüzey durum yoğunluğunu belirleyip, arayüzey durum yoğunluğunun ve arayüzey tabakasının I-V karakteristiklerinin idealite faktörü üzerine etkilerini açıklamışlardır [9]. Yarıiletken devre elemanlarının oluşturulmasında MS Schottky kontaklar önemli bir yere sahiptir. Kullanılacak devre elemanlarının oluşturulmasında MS kontaktların elektriksel özelliklerinden yeterince faydalanabilmek için elektriksel karakteristiklerinin iyi bilinmesi önemlidir [10].

MS kontaktların performansı, sıcaklık, frekans, radyasyon vb. dış etkilere bağlılık göstermekle birlikte, aynı zamanda yarıiletken malzemedeki katkı atomlarının yoğunluğu, kullanılan yarıiletken ve metal malzemelerin saflığı ve temizliği, MS arayüzeyindeki tuzakların yoğunluğu gibi bir takım yapısal faktörlerden de etkilenmektedir [11].

Si bazlı Schottky diyotlar birçok elektronik cihazın ve entegre devre teknolojisinin temelini oluşturur. Genellikle Schottky Bariyer Diyotlar (SBD) Si yarıiletkeni ile metal arasında bir arayüzey tabakası içerirler. Tipik olarak, bu tabaka fabrikasyon aşamasında Si yüzeyinin havaya maruz kalması sonucu oluşan ince bir doğal oksit (SiO_2) tabakasıdır. Ayrıca bazı avantajlarından dolayı, SiO_2 alternatif olarak amaçsal olarak özellikle bir arayüzey tabakası oluşturulur. MS yapılarda metal ile yarıiletken arasında oluşturulan bu arayüzey tabaka; bu diyotlarda bariyer engel yüksekliği (Φ_b), ters beslem doyum akımı (I_o), doğrultma oranı, idealite faktörü (n), seri direnç (R_s) ve arayüzey durum yoğunluğu

(N_{ss}) gibi birçok elektriksel parametreyi önemli derecede etkilemektedir. Diyota uygulanan toplam voltaj, arayüzey tabakası, tükenim tabakası ve diyotun seri direnci tarafından paylaşılır. Arayüzey tabaka cihaz parametrelerini iyileştirmekle kalmaz aynı zamanda diyotu, güneş pili, foto diyot, ışık yayan diyot (LED), kapasitör vb. gibi istenen formata dönüştürebilir ve genellikle arayüzey tabakasına göre isimlendirilir. SBD, metal ve yarıiletken arasına konulan arayüzey tabakaya göre; arayüzey yalıtkan ise MIS, ara yüzey ferroelektrik ise metal/ferroelektrik/yarıiletken (MFS) ve ara yüzey polimer ise MPS olarak isimlendirilirler. Arayüzeyde oluşturulan bir yalıtkan tabaka, metal ile yarıiletkeni birbirinden izole ederek metal ve yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler.

Polimerler günlük hayatta yaygın olarak kullandığımız kauçuk, sentetik lif, plastik, bazı boyalar ve yapıştırıcılar gibi ürünlerin temel maddesidir [12]. Polimerlerin bazılarının oda sıcaklığında düşük iletkenliğe sahip yalıtkanlar olduğu bilinmekte, bu özelliklerinden dolayı uzun yıllar elektriksel açıdan yalıtkan malzeme olarak kullanılmışlardır [13]. Son yıllarda geniş kullanım alanı olan, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı, üretimi kolay olan yeni malzemelerin üretilmesine sebep olmuştur. Bu nedenle polimerler son yıllarda en çok araştırılan konulardan biri olmuştur [14]. Polimerler metallerle kıyaslandığında, daha hafif, üretim maliyetinin düşük olması, kolay işlenebildiği ve genel olarak yalıtkan oldukları göze çarpmaktadır. Metallerin ise zor işlenebilen, ağır, üretim maliyetlerinin yüksek olmalarının yanı sıra, iyi iletken maddeler olduğu bilinmektedir. Metaller ile polimerlerin üstün özellikleri bir araya getirilerek, iletkenlik özelliği gösterilebilen iletken polimerlerin elde edilmesi sağlanmıştır [3].

Literatürde; polimerlerin kolay, ucuz, esnek üretim ve kaplama gibi avantajlarından dolayı polimerik tabakalar diyotlarda arayüzey tabaka olarak sıkça kullanılmaktadır [15]-[24].

Graft kopolimerler, monomer, ana ve/veya yan zincirlerin konfigürasyonunun değiştirilebilmesi dolayısıyla diyotları istenen forma dönüştürmek için geniş bir esneklik sağladığından arayüzey tabaka için iyi bir adaydır [16]-[19], [25].

Bu çalışmada, Düzce Üniversitesi Kimya Laboratuvarı'nda sentezlenen Poli (linolenik asit)-g-poli (kaprolakton)-g-poli (t-bütül akrilat) (PLilPCLPtBA) graft kopolimer kullanılmıştır [26].

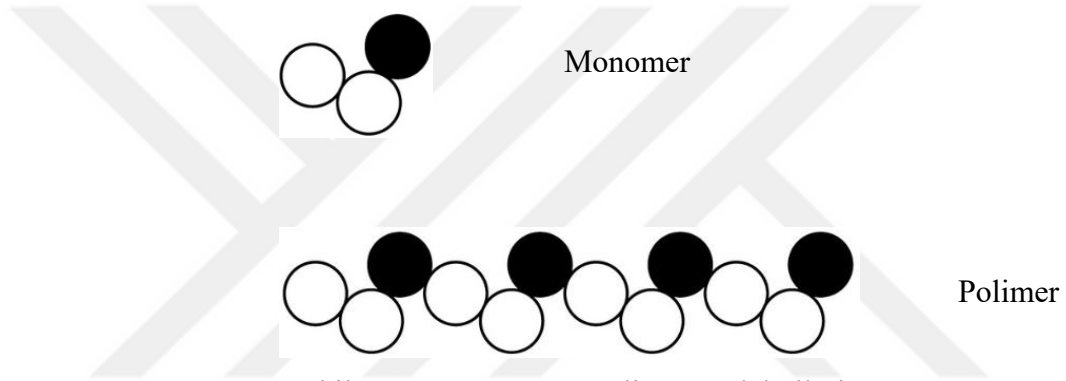
Sentez ve karakterizasyonu yapılan PLilPCLPtBA graft kopolimerinin elektro-optik

uygulamalarda kullanımının araştırılması amacıyla Au/n-Si (MS) ve Au/PLiPCLPtBA/n-Si (MPS) yapılar benzer şartlarda oluşturulmuştur. MS ve MPS gibi iki farklı diyot oluşturularak hem ara yüzey polimerik tabakanın Au/n-Si Schottky diyot parametrelerine etkisi araştırılmış hem de bu diyotların karanlık ve ışık altındaki elektriksel karakteristikleri oda sıcaklığında incelenmiştir. Görünür ışık kaynağı olarak kullanılan bir halojen lamba ve bir UV lamba altındaki elektriksel parametreleri deneysel akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden elde edilmiştir. Termiyonik emisyon teorisi kullanılarak diyotların temel elektriksel parametreleri elde edilmiş ve alternatif olarak Ohm yaklaşımı ve Norde fonksiyonları yardımıyla hesaplanmış parametrelerle kıyaslanmıştır. Ayrıca Card ve Rhoderick fonksiyonu yardımıyla Au/n-Si ve Au/PLiPCLPtBA/n-Si diyotların arayüzey durum yoğunluklarının enerji dağılımı elde edilmiştir.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. POLİMERLER

Polimer; “çok parçalı” anlamına gelen Yunanca kökenli bir kelime olup, “monomer” denilen birçok küçük molekülün birbirlerine bağlanmasıyla oluşturduğu makromoleküllerdir. Bu monomerler uygun koşullarda çeşitli polimerizasyon tepkimeleri ile değişik yapılarda polimerler oluştururlar.



Şekil 2.1. Monomer ve Polimer molekülleri.

Monomerler Şekil 2.1’de gösterildiği gibi polimerizasyon reaksiyonları üzerinden polimer molekülüne dönüşürler. Bir polimer molekülünde çok sayıda monomer bulunabilir. Şekil 2.1’de monomerler arası bağ, kovalent bağdan oluşmaktadır.

İlk çağlardan günümüze insanlar polimer temelli doğal ürünleri kullanmışlar ve kullanmaya da devam etmektedir. Eski Yunanlılar maddeleri bitkisel, hayvansal ve mineral maddeler olmak üzere üçe ayırmıştı. Hayvansal ve bitkisel maddelerin çoğu temelde polimerik yapıdadır ve bu gruba giren maddeler her dönemde minerallerden çok daha önemli olmuşlardır. 1800 yıllardan itibaren artan polimer araştırmaları sayesinde yeni polimer türlerinin sentezlenerek kullanılmaya başlanmıştır. Polimer kimyasının öncüsü olan Alman kimyager Herman Stauding, 1920 yılında ilk defa polimerizasyon koşullarının polimer oluşumu üzerine etkisini tanımlamıştır. Herman Stauding yaptığı çalışmalarla 1953 yılında Nobel ödülünü kazanmıştır. İlk kez bu alanda çalışma yapan araştırmacılar doğal polimerleri taklit ederek işe başlamışlar ve 1930 yılında Wallace Carothers naylonu sentezlemiştir. İkinci Dünya Savaşı’ndan günümüze kadar çok sayıda

polimer sentezlenerek endüstriyel ölçekte üretime geçilmiştir. Endüstriyel organik kimyacılar ise daha çok polimer kimyası alanına yönelerek çalışmalarını bu yönde sürdürmüşlerdir. Çalışmalar neticesinde günümüzde polimer türleri çeşitli amaçlar için geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Polimerler için birçok sınıflandırma çeşidi mevcuttur. Doğada bulunma şekillerine göre sınıflandırıldığında polimerler doğal ve yapay polimerler olarak adlandırılabilir. Doğal polimerler; çok sayıda bulunan ipek, yün, doğal kauçuk, keten ve selüloz gibi maddeleri barındırır. Yapay polimerler ise çeşidi sayıca fazla olan ve sürekli yenilenen sentetik polimerler; sentetik kauçuk, neopren, fenol formaldehit reçineleri, naylon, polipropilen, polistiren, polietilen, polivinil klorür (PVC), poliakrilo nitril, vb gibi. Sınıflandırma fiziksel yapılarına göre yapıldığında; bir polimer tek bir monomer biriminin tekrarlanmasından oluşuyorsa buna "homopolimer", iki farklı monomerin birleşmesi sonucu elde edilen makromoleküle "kopolimer" denir. Kopolimerlerin çeşitleri ise; ardışık kopolimer, blok kopolimer ve düzensiz kopolimer şeklinde üçe ayrılır. Polimer zincirler sahip oldukları yapıya göre; doğrusal, dallanmış, çapraz bağlı polimerler olarak üç farklı formda bulunabilirler. Polimerlerin kullanım özelliğini belirleyen önemli bir özelliği camsı geçiş sıcaklığı (T_g) dır. Polimerlerin molekül ağırlıklarının büyük oluşu ve farklı molekül ağırlığına sahip zincirlerden dolayı genellikle belirgin bir erime noktasından söz edilemez [3].

Polimer bileşiklerinin kullanım sınırları ile karakterizasyonu, moleküler ağırlık karşılaştırmalarıyla yapılır. Moleküler ağırlık, polimer zincirlerinin farklı uzunluklara sahip olduklarından değişik kategorilerde gösterilir. Kütlece ortalama molekül ağırlığı (M_w), sayıca ortalama molekül ağırlığı (M_n), viskozite ortalama molekül ağırlığı (M_v), polimerik zincirde tekrar eden birim sayısı (polimerizasyon derecesi) (DP_n) kavramlarıyla tanımlanır. Birçok polimerizasyon yöntemi olmasına karşın bu yöntemler genel olarak basamaklı polimerizasyon ve katılma polimerizasyonu olarak temel iki grupta sınıflandırılır [27].

Polimerler; hafif, kolay şekillendirilebilen, mekanik özellikleri yeterli, maliyetleri düşük, kimyasallara dayanıklı maddelerdir. Yaşantımızın birçok alanında yaygın olarak kullanılan plastikler, boyalar, kauçuklar, lifler, yapıştırıcı türü malzemelerin üretilmesinde polimerlerden yararlanılır.

Polimerler metallerle karşılaştırıldığında, genellikle metallerden daha hafif ve maliyeti

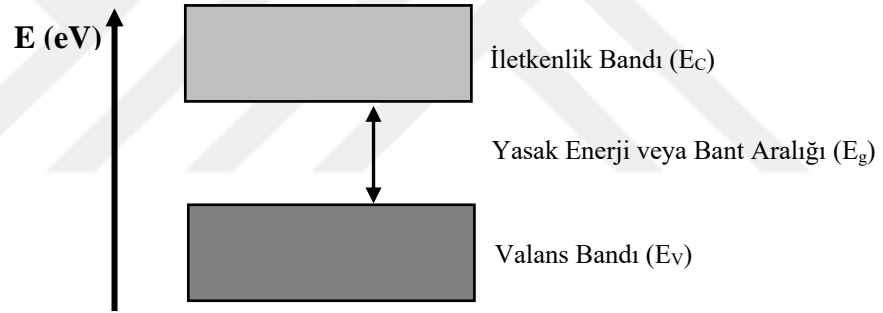
düşük, kolay şekillendirilebildiği ve iletken olmadıkları görülebilir. Metaller ile polimerlerin özgül özellikleri bir araya getirilerek iletken polimerler elde edilebilir. İletken polimerler, sırayla değişen tek ve çift bağlardan oluşan bir zincir yapısına sahip olma özelliklerinden dolayı diğer polimerlerden ayrılır. Polimerde iletkenliğin artırılması için, katkılama (doping) denilen polimer örgüsüne dışarıdan elektron verilerek elektron yoğunluğu artırılır veya örgüden elektron alınarak polimer yapısında pozitif (+) yüklü boşluklar oluşturulur. Oluşan pozitif (+) yüklü boşluklara geçen elektronlar, geldiği yerde de pozitif yüklü boşlukları oluşturmaktadır. Bu mekanizmanın polimer zinciri boyunca devam etmesiyle elektriksel iletkenlik sağlanır [28].

2.2. YARIİLETKENLER

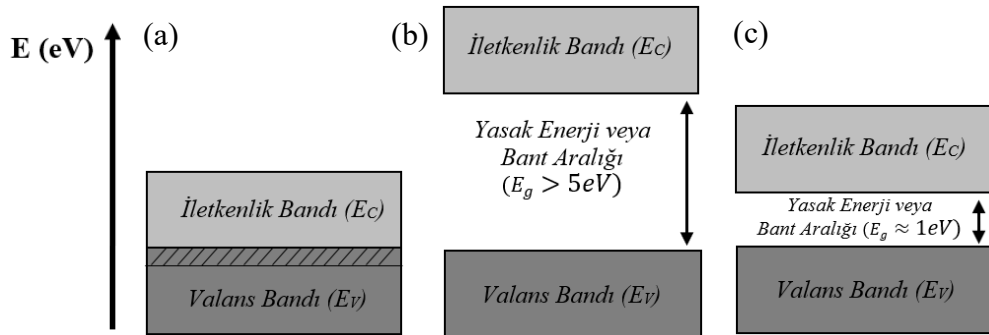
Diğer tüm normal maddeler gibi katılarda atomlardan oluşmuştur. Atomlar, çekirdeğinde pozitif yüklü proton ve yüksüz nötronlar ile çekirdek etrafında dolaşan negatif elektronlardan oluşur. Maddelerdeki elektriksel yüklenme olaylarını elektronlar sağlamaktadır. Katıların iletkenliği ile ilgili yapılan araştırmalar; bazı katıların elektrik akımını iyi iletmediği, bazılarının kısmen ve bazılarının da iletmediğini göstermiştir. Genel olarak kovalent ve metalik bağlı katılar daha iyi iletkenken iyonik bağlı katılar ise yalıtkandırlar. Katıların elektrik iletkenliği içerisinde serbestçe hareket edebileceği elektronların olup olmaması ile ilgilidir. Bu bağlamda katılar elektrik iletkenliklerine göre iletken, yalıtkan ve yarıiletken olarak sınıflandırılırlar. İletkenler son yörüngelerinde (valans elektronları) 1, 2 veya 3 elektron bulunan atomlardan oluşur. Çekirdeğe zayıf bağlı bu elektronlar metalik bağdaki atomlardan ayrılarak katı içerisinde serbestçe hareket edebilirler. Elektronların bu hareketi iletkenler içerisinde elektrik akımının kolaylıkla iletilmesini sağlar. Yalıtkanların son yörüngeleri 4'ten fazla elektrona sahip olup, valans elektronları katı içerisinde serbest olmadıklarından elektrik akımını iletmedikleri düşünülür. Yalıtkanlarda elektronların serbestçe hareket edebileceği yüksek enerji seviyeleri olmakla birlikte elektronlar bu enerji seviyelerine çıkabilmek için yüksek enerjilere ihtiyaç duyarlar. Yarıiletkenler ise, elektrik iletkenliği bakımından iletken ve yalıtkan arasında yer alır. Yarıiletkenlerin son yörüngelerinde 4 valans elektronu olup elektron alışverişinden ziyade elektron ortaklaşmasıyla kovalent bağlı yapılar oluştururlar. Elektronik devrelerde en yaygın olarak kullanılan yarıiletkenler Ge ve Si elementleridir.

2.2.1. Katıların Bant Yapısı

Katıların Bant Teorisi, bir katıdaki elektronların davranışını inceleyerek yalıtkan, yarı iletken ve iletken arasındaki farkı açıklar. Kuantum mekaniğine göre kesikli enerji seviyelerine sahip atomlar bir araya geldiğinde enerji düzeylerinde yarılmalar meydana gelir. Katıların enerji bant yapıları, enerjinin dalga vektörü (k) ile değişimiyle tanımlanır ($E(k)$). Atom sayısının artmasıyla etkileşim düzeyi de artar ve enerji düzeyleriyle birlikte bant yapısı oluşur. Elektronlar, düşük enerji seviyesinden başlayarak üst seviyelere doğru enerji seviyelerini doldururlar. Bununla birlikte dalga özelliğinden dolayı katıdaki atomların bazı enerji seviyeleri yasaktır. Katılarda önemli iki bant valans ve iletkenlik bantıdır. Mutlak sıcaklıkta (0 K) elektronlarca doldurulmuş en yüksek seviyeye valans bantı (E_V), valans bantının hemen üzerinde yer alan ilk boş bant iletkenlik bantı (E_C) olarak isimlendirilir. Şekil 2.2’de valans bantının tepesi ile iletkenlik bantının tabanı arasındaki enerji farkı yasak enerji aralığı veya bant aralığı (E_g) olarak isimlendirilir.



Şekil 2.2. Enerji bant diyagramı.



Şekil 2.3. (a) İletkenlerin, (b) Yalıtkanların, (c) Yarıiletkenlerin enerji bant diyagramı.

Şekil 2.3’de metallerde iletkenlik bantının kısmen boş ya da valans bantı ile çakışmış olması sebebiyle yasak enerji aralığı (E_g) yoktur [29] ve kısmen dolu olan valans bantının tepesinde bulunan elektronlar, uygulanan küçük bir elektrik alanla iletme katılan serbest

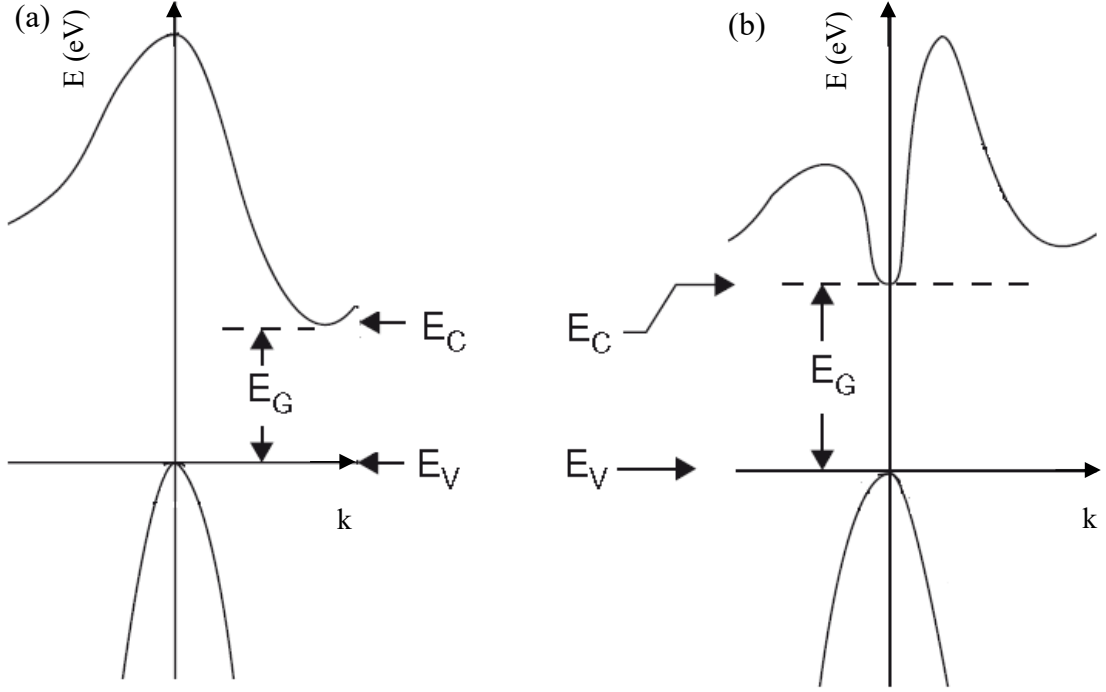
elektronları oluşturur.

Yalıtkanların oda sıcaklığındaki valans bandındaki tüm enerji seviyeleri elektronlar tarafından doldurulmuş, iletkenlik bandındaki tüm enerji seviyeleri ise boştur [30]. Yalıtkanlarda yasak enerji aralığının değeri elektronun termal enerjisinden çok daha büyük değerde olup bu durum elektronların valans bandından iletkenlik bandına geçişlerini engeller ve bu enerji-bant yapılarından dolayı normal şartlarda iletken değildirler [29].

Yarıiletkenlerde ise izinli ve yasaklanmış enerji bölgeleri vardır. Yasak enerji aralığı 1 eV mertebesinde. $T=0$ K'de, tüm elektronlar valans bandındadır. İletkenlik bandında birçok boş seviye olduğundan, uygulanan küçük bir dış etkiyle elektronları kolaylıkla hareket ettirebilir. Bu durum yarıiletkenlerin küçük bir dış etkiyle iletken hale geçirilebilmesini mümkün kılmaktadır.

2.2.2. Yarıiletkenlerin Bant Yapısı

Katıların enerji bant yapıları enerjinin dalga vektörü (k) ile değişimiyle tanımlanmakta olup valans ve iletkenlik bandının k uzayındaki birbirine göre konumları son derece önemlidir. Şekil 2.4 (a) ve Şekil 2.4 (b)'de bu iki bandın aynı doğrultuda (aynı k değerinde) olup olmayışına göre yarıiletkenler direkt (doğrudan) ve indirekt (dolaylı) bant aralıklı yarıiletkenler olarak sınıflandırılır. Valans bant maksimumu ile iletim bandı minimumu aynı k değerinde oluşan yarıiletkenlere direkt bant aralıklı, oluşmayanlara ise indirekt bant aralıklı yarıiletkenler denir. Teknolojide sıklıkla kullanılan birçok yarıiletkenin valans bant maksimumu gama noktası olarak bilinen $k=0$ da oluşur. İletkenlik bant minimumu $k=0$ da oluşan yarıiletkenler direkt bant aralıklı yarıiletkenlerdir. GaAs, ZnS, CdS, CdSe ve InSb gibi yarıiletken malzemeler direkt bant yapısına sahiptirler. Si ve Ge ise indirekt bant aralıklı yarıiletkenlerdir. Bir yarıiletkenin direkt veya indirekt bant aralığına sahip olması optik özelliklerini belirler ve bu optoelektronik uygulamalar için kullanılıp kullanılmayacağına dair en önemli kriterlerden biridir.

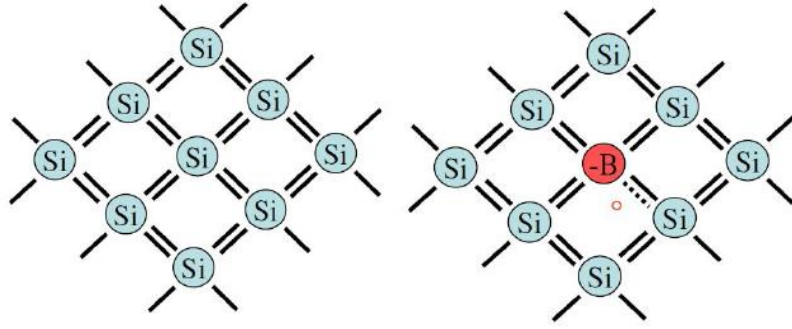


Şekil 2.4. (a) İndirekt (dolaylı) bant, (b) Direkt (doğrudan) bant.

2.2.3. Yarıiletken Tipleri ve Katkılama

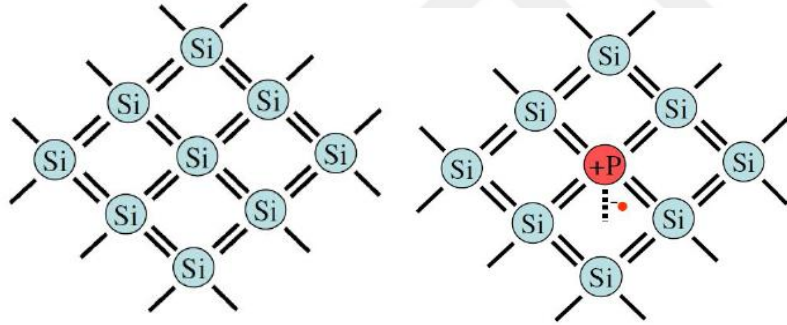
Metallere zıt olarak yarıiletkenlerin direnci sıcaklıkla azalır. Artan sıcaklıkla valans bandından daha fazla elektron yasak enerji aralığını aşarak iletim bandına geçer. Bu durumda elektron arkasında, başka bir elektron tarafından doldurulabilecek bir boşluk bırakır. Üretilen bu boşluk pozitif yüklü ikinci bir taşıyıcı olarak kabul edilir ve deşik (hole) olarak adlandırılır. Yarıiletkenlerde elektronlar ve deşikler zıt yönlerde hareket ederler. Hakiki (saf) bir yarıiletkende eşit sayıda elektron ve deşik vardır. Birim hacimdeki elektron sayısı n , ve deşik sayısı p olmak üzere, $n=p$ olarak yazılabilir.

Katkılı yarıiletken ise saf yarıiletken kristale safsızlık atomları katkılanmasıyla elde edilir. Şekil 2.5’de yaygın olarak kullanılan Si yarıiletkeni IV A grubu elementi olduğundan en dış kabuğunda dört valans elektronuna sahiptir. Komşu dört atomla kovalent bağ yaparak son yörüngesini sekiz elektrona tamamlar. Silisyum yarıiletkeni valans bandında 3 elektrona sahip B, Al, In, veya Ga gibi 3A grubu elementleri ile katkılandığında 4’lü bağların birinde bir elektron boşluğu meydana gelir. Bu boşluk bir deşik (hole) olup, tüm sıcaklıklarda iletme katkı sağlar. Deşikler üreten (elektron alan) bu tür katkılara acceptor (alıcı), bu tip katkılı yarıiletkenlere ise p-tipi yarıiletken denir.

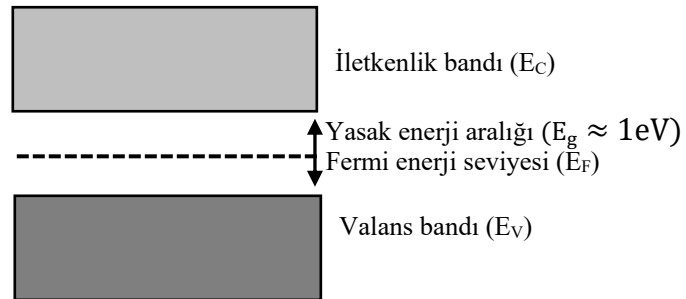


Şekil 2.5. Si yarıiletkeninin B ile katkılanması ile p-tipi yarıiletkenin elde edilmesi.

Si yarıiletkeni VA grubu elementlerinden As, N, Sb veya P gibi valans bandında 5 elektrona sahip bir element ile katkılanarak oluşturulabilir. Şekil 2.6’da Fosforun (P) valans bandındaki beş elektronundan dördü silisyumun dört değerlik elektronuyla kovalent bağ yaparken geriye kalan 5. değerlik elektronu bağ yapmaz. Açıkta kalan ve fosfor atomlarına zayıf elektriksel kuvvetle bağlı olan bu elektron iyonlaşarak, kristal içerisinde serbestçe hareket edebilir. Fosfor, silisyuma elektron verdiğinden dolayı fosfora donör (verici) denir. Bu tip katkılı yarıiletkenlere ise n-tipi yarıiletken denir.



Şekil 2.6. Si yarıiletkeninin P ile katkılanması ile n-tipi yarıiletkenin elde edilmesi.

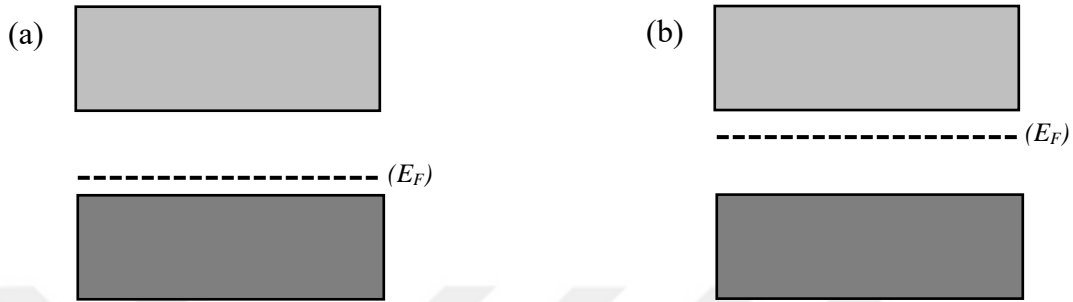


Şekil 2.7. Saf yarıiletkenlerde enerji bant diyagramı.

Şekil 2.7’de E_F ile gösterilen Fermi enerji seviyesidir. Fermi enerji seviyesi; katılarda, $T=0$ K değerinde elektronların bulunabileceği en yüksek enerji olarak tanımlanır. Fermi

enerji seviyesi, katkı maddesi bulunmayan saf yarıiletkenler için yasak enerji aralığının ortasında yer alır. Katkılı yarıiletkenler için katkı türü ve katkı yoğunluğuna bağlı olarak Fermi seviyesi yukarı veya aşağı doğru kayabilir [30].

Yarıiletkenlerin katkılanması sonucu enerji bant diyagramları Şekil 2.8'deki gibi meydana gelir.



Şekil 2.8. (a) p-tipi ve (b) n-tipi yarıiletkenlerde enerji bant diyagramı.

Saf yarıiletkenler katkılanarak, Fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının ortasından iletkenlik bant kenarı veya valans bant kenarına çekilir. Fermi enerji seviyesinin valans bant kenarına yaklaştığı yarıiletkenlere p-tipi yarıiletken, iletkenlik bant kenarına yaklaştığı yarıiletkenlere ise n-tipi yarıiletken denilmektedir. Yabancı atomlarla katkılanmış bir yarıiletkenin cinsine göre çok sayıdaki taşıyıcılar çoğunluk taşıyıcılar, az sayıda olan taşıyıcılara ise azınlık taşıyıcılar olarak da adlandırılır. p-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk taşıyıcılar hol, n-tipi yarıiletkenlerde ise çoğunluk taşıyıcılar elektronlardır [31].

2.3. METAL/YARIİLETKEN KONTAKLAR

Bir metal ile bir yarıiletken arasında iki tür kontak oluşabilir. Schottky kontak doğrultucu akım-gerilim karakteristiğine sahip kontak iken omik kontak doğrultucu olamayan kontakır.

Bir kontağın doğrultucu ya da omik olmasını metal/yarıiletkenin iş fonksiyonu belirler. Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi teorik olarak n-tipi metal-yarıiletken için $\Phi_m > \Phi_s$ ise doğrultucu kontak, $\Phi_m < \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. p-tipi metal-yarıiletkenlerde ise $\Phi_m > \Phi_s$ omik kontak, $\Phi_m < \Phi_s$ ise doğrultucu kontak oluşur.

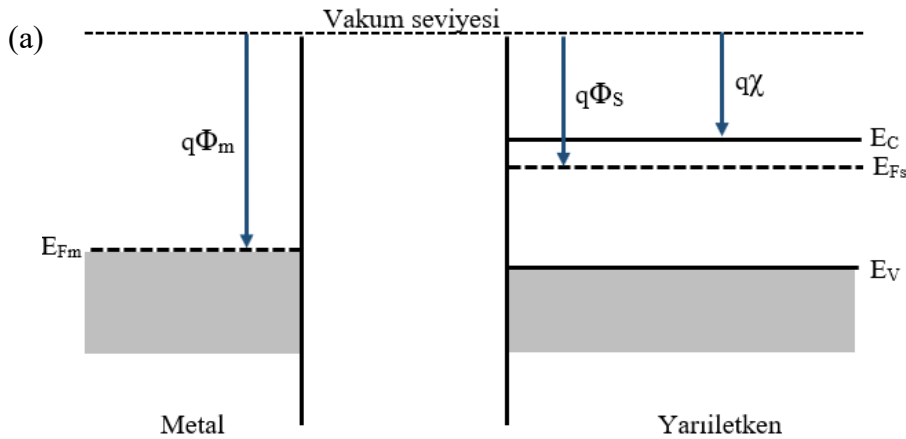
Çizelge 2.1. Metal/n-tipi ve metal/p-tipi yarıiletken kontaklar için doğrultucu ve omik kontak oluşumu.

İş Fonksiyonlarının Durumu	Yarıiletken Tipi	Kontak Türü
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik

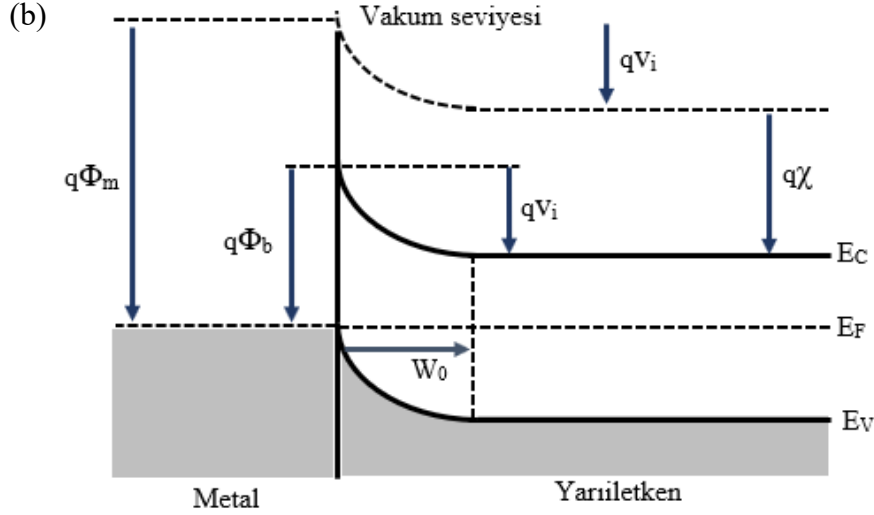
2.3.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu ve Omik Kontaklar

Bir metal ile bir yarıiletkenin birleştirilmesiyle oluşan doğrultucu kontakta Schottky kontak denir. Schottky kontak akımın bir doğrultuda diğer doğrultuya göre kolaylıkla aktığı kontak türüdür [32]. Elektronlar doğrultucu kontakta bir yönde serbest hareket ederken, ters yöndeki geçişleri potansiyel engel nedeni ile zorlaşır [4]. Kontak malzemelerin temiz ve pürüzsüz olması kontakta ideal değerlere yaklaşmasını sağlayabilir [33]. Metal yarıiletken kontakların doğrultma etkisi 1874 yılında F. Braun tarafından keşfedilmiştir olup 1938’de Schottky ve Mott tarafından açıklanmıştır.

Bir metal ile n-tipi bir yarıiletkenin kontak öncesi ve kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bantları Şekil 2.9’deki gibidir.



Şekil 2.9. Bir metal ve n-tipi bir yarıiletkende; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.



Şekil 2.9. (devam). Bir metal ve n-tipi bir yarıiletkende; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.

Şekil 2.9' da temsil edilen bazı temel fiziksel parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Vakum Seviyesi: Bir elektronu yüzeyden koparmak için gerekli minimum enerji miktarıdır.

Fermi Enerjisi (E_F): İletkenlerde $T=0$ K sıcaklığında, elektronların taban durumundan itibaren doldurduğu en yüksek seviyedeki enerjisine denir. Yarıiletkenlerde ise iletkenlik ve valans bandındaki taşıyıcı sayısı ile sıcaklığa bağlı olarak, yasak enerji aralığında yer alan göreceli seviye Fermi enerjisi olarak tanımlanır. n-tipi yarıiletkende Fermi enerjisi iletim bandına daha yakın iken p-tipi yarıiletkende Fermi enerjisi ise valans bandına daha yakındır.

Metalin İş Fonksiyonu (Φ_m): Bir elektronu Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak veya serbest hale getirmek için gerekli minimum enerji miktarıdır.

Yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s): Bir elektronu yarıiletkenin Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerji miktarıdır. Fermi enerjisi katkılanan madde atomlarının yoğunluğuyla birlikte değiştiğinden, Φ_s 'de Fermi enerji değeriyle birlikte değişen bir niceliklerdir.

Elektron alınganlığı (χ): Bir elektronu iletkenlik bandından vakum seviyesine çıkarmak için gereken enerji miktarıdır.

n-tipi bir yarıiletken ile metal kontak haline getirildiğinde Fermi seviyeleri eşitlenir. $E_c > E_F$ olduğu için yarıiletkenin iletkenlik bandından metale elektronların hareketiyle

termodinamik denge meydana gelir. Hareket eden elektronlar geride pozitif yüklüdeşikler bırakırlar. Yarıiletkenin yüzeyi yakınlarında, metal ile yarıiletkenin arayüzeyinde bir uzay yükü bölgesi (tükenim) meydana gelir. Tükenim bölgesinin genişliği W_0 ile ifade edilir. Tükenim bölgesindeki yükün büyüklüğüyle aynı bir elektron yükü MS arayüzeyinin metal kısmında yüzey yükü oluşur. Tükenim bölgesinden ve Fermi seviyelerinin eşitlenmesinden dolayı yarıiletken kısmında bant bükülmesi;

$$qV_i = q(\Phi_m - \Phi_{sc}) \quad (2.1)$$

eşitliği ile ifade edilir.

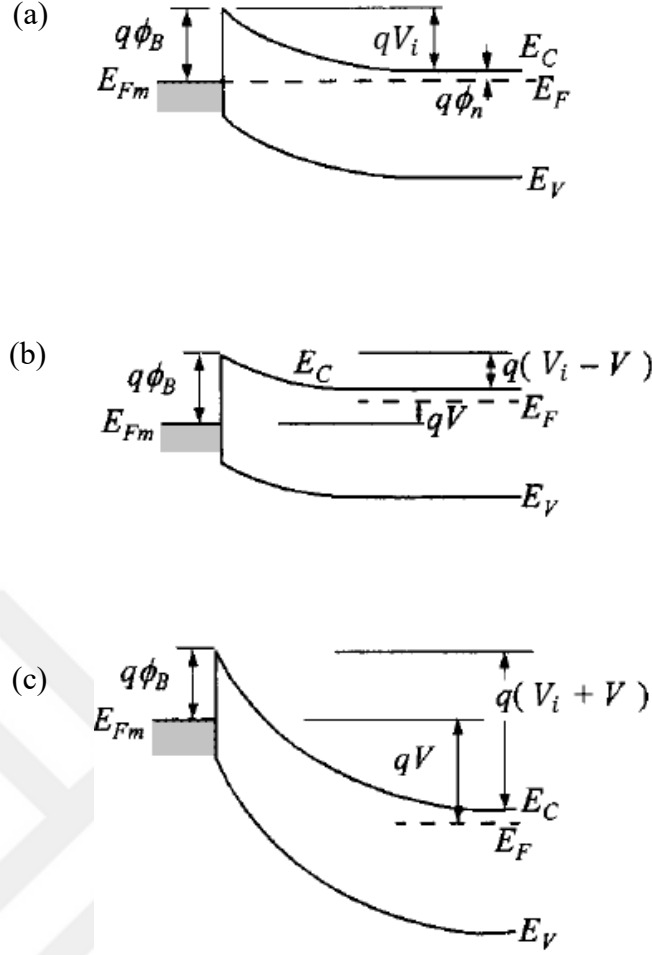
Bükülme daha çok sayıda elektronun metale geçmesini engelleyen bir potansiyel engele V_i karşılık gelir. Buna karşın kontağın metal tarafındaki elektronların yarıiletkene geçebilmesi için aşması gereken potansiyel engeli ise Φ_B dir. Bu potansiyel engelin büyüklüğü;

$$q\Phi_B = q(\Phi_m - \chi) = qV_i + (E_C - E_F) \quad (2.2)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Potansiyel engeller oda sıcaklığında kT/q dan yüksektir. Yeterli miktarda enerjiye sahip elektron bu engelleri aşabilir. Engeli geçen elektronlar yarıiletkenden metale doğru oluşturduğu akım $I_{m \rightarrow s}$ ile ifade edilir. İfadenin gösterilme şekli elektronların negatif yüklü olmasıdır. Yarıiletkenden metale doğru elektronlar, metalden yarıiletkenlere doğru pozitif bir akım karşılık gelir.

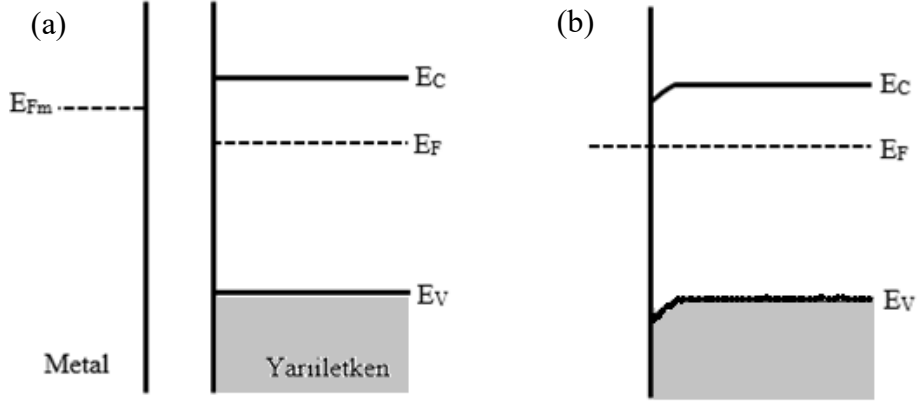
Şekil 2.10 (a) ve Şekil 2.10 (b)'de termodinamik dengede ve harici bir dış gerilimin (beslem) olmadığı durumda $I_{m \rightarrow s}$ akımı, $I_{s \rightarrow m}$ akımını tam olarak dengeler. Termal denge durumunda $-I_{m \rightarrow s} = I_{s \rightarrow m}$ olur. Şayet metal kısmına +, yarıiletken kısmına - ve $V > 0$ olacak biçimde bir doğru gerilim uygulanırsa yarıiletken tarafındaki potansiyel engeli V_i den $V_i - V$ ya iner. Yüksek sayıda elektron yarıiletkenden metale geçebilir. Metalden yarıiletkene geçen elektron akışı $I_{s \rightarrow m}$ sabit kalır. Çünkü metal tarafta görülen potansiyel engeli Φ_B sabit kalır. Sonuçta yarıiletkenden metale doğru net bir elektron akışı gözlenir.



Şekil 2.10. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın; (a) termal denge durumunda, (b) $V > 0$ olması halinde, (c) $V < 0$ olması halinde enerji bant diyagramları.

Şayet Şekil 2.10 (c)'de metal kısmına -, yarıiletken kısmına + ve $V < 0$ olacak biçimde bir ters gerilim uygulanırsa yarıiletken tarafındaki potansiyel engeli V_i den $V_i + V$ ya yükselir. $I_{s \rightarrow m}$ değişmezken yarıiletkenden metale doğru olan akım akışı $I_{m \rightarrow s}$ azalır. Sonuçta metalden yarıiletkene olan düşük bir ters elektron akımı ($I_{s \rightarrow m} - I_{m \rightarrow s}$) ölçülür. Ters ve düz akım akış mekanizmaları lineer olmayan bir akım-gerilim karakteristiği oluşturur [34].

Omik kontak doğrultucu olmayan bir kontak türüdür. Metal/n-tipi yarıiletken kontak oluşumu için $\Phi_m < \Phi_s$ şartı sağlanırsa omik kontak oluşur. Akım-gerilim karakteristikleri Ohm yasasına uygun bir davranış sergilemektedir. Metal yarıiletken kontakta $E_{Fm} > E_{Fs}$ olup, n-tipi yarıiletkenin enerji bantları kontak yakınında bükülür. Bandın bükülme miktarı ve yarıiletkendeki genişliği çok küçüktür. Şekil 2.11'de metal ile yarıiletken arasında herhangi bir potansiyel engel olmadığından kontak boyunca elektronlar serbestçe akabilir. Böyle kontak omik kontak adı verilir [35].



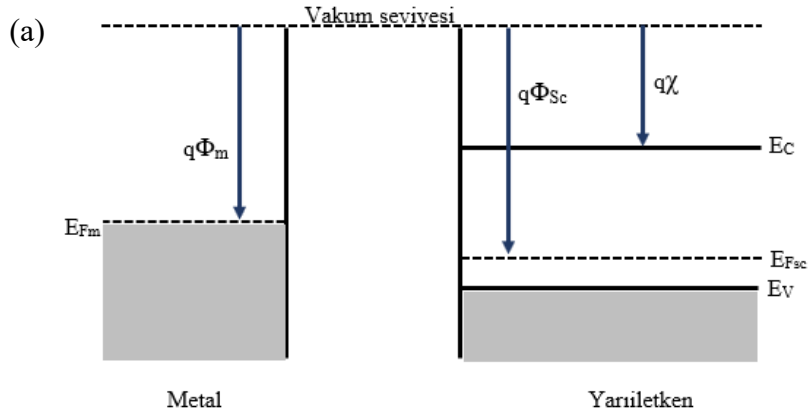
Şekil 2.11. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontağın; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.

Omik kontak, uygulanan doğru beslemin kutuplarından bağımsız olarak farklı iki yönde de yük akışına en az direnç gösteren metal/yarıiletken eklemdir. Ohm kanunu ile akım-gerilim ilişkisi verilen kontaklar omik bir davranış sergilerler. Omik kontakın kalitesini ise kontak direncinin değeri belirlemektedir [11].

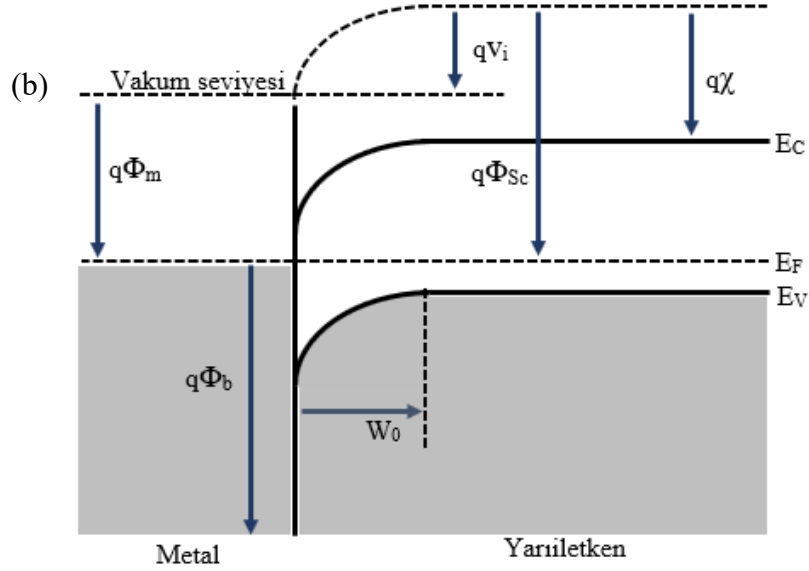
2.3.2. Metal/p-tipi Yarıiletken Doğrultucu ve Omik Kontaklar

Metal ile p-tipi yarıiletkenin kontak yapılması durumunda $\Phi_m < \Phi_s$ olacak şekilde kontak öncesi ve kontak sonrası durum Şekil 2.12 (a) ve Şekil 2.12 (b)'de gösterilmektedir.

Bir metal ile p-tipi bir yarıiletkenin enerji bantları Şekil 2.12 (a)'daki gibidir.



Şekil 2.12. Bir metal ve p-tipi bir yarıiletkende; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.



Şekil 2.12. (devam). Bir metal ve p-tipi bir yarıiletken; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bant diyagramı.

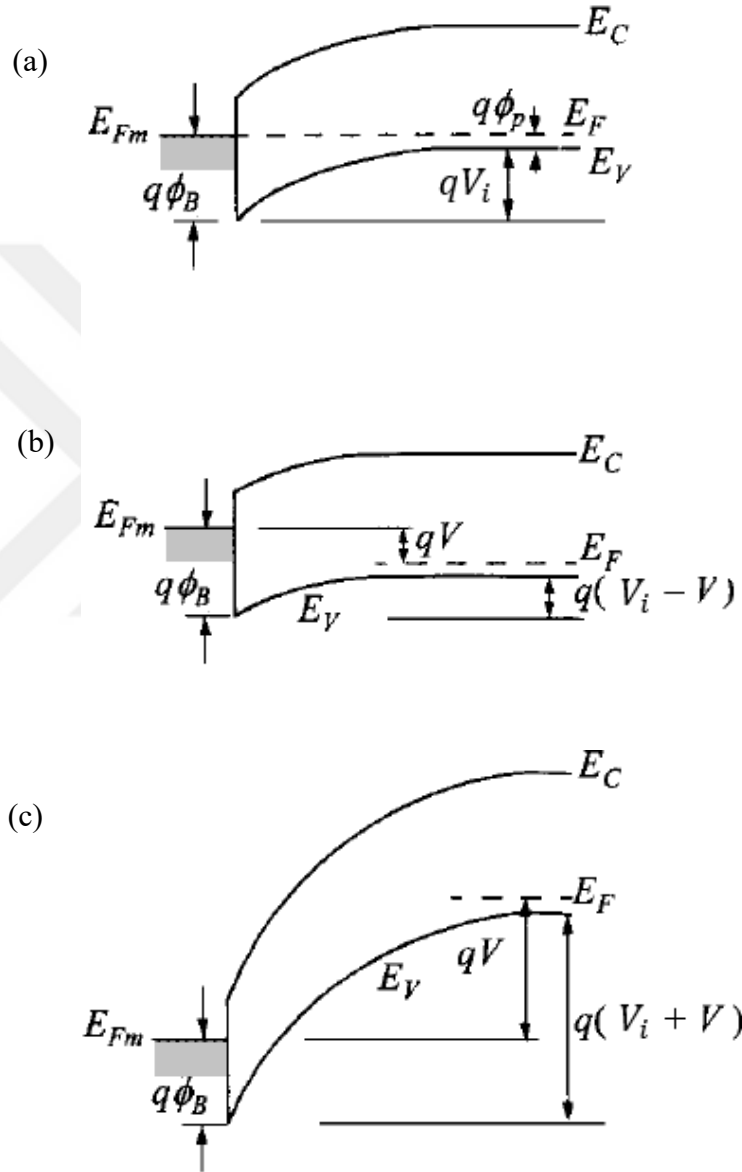
Şekil 2.12’de temsil edilen bazı temel fiziksel parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Bir metal ile bir yarıiletkenin kontak sonrası oluşan termal dengedeki enerji bantları Şekil 2.12 (b)’deki gibidir.

Şekil 2.12 (a)’da görüldüğü gibi kontak öncesi yarıiletkenlerin yüzeylerinde yük bulunmadığından tüm yüzey aynı kalır ve bant bükülmez. Bir p-tipi yarıiletken ile metalin kontak yapılması neticesinde oluşan p-tipi yarıiletken/metal kontağı için, metalin iş fonksiyonu Φ_m ’nin yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s ’den daha küçük $\Phi_m < \Phi_s$ olduğu durumdaki enerji bant yapısı Şekil 2.12 (b)’de gösterilmektedir. p-tipi yarıiletken pozitif yüklü boşluklar iletkenliği sağlar. p-tipi yarıiletken, metal ile kontak yapıldığında E_F seviyeleri aynı enerji seviyesinde olacak şekilde hareketlenir. E_F seviyelerindeki bu hareketliliğe metaldeki enerjisi yüksek olan elektronların yarıiletkenin içerisine doğru hareket etmeleri neden olur. Sonuçta metalin E_F seviyesi de düşmeye başlar. Metal içerisindeki elektronların, enerji seviyelerindeki yerlerini boşaltıp yarıiletkene geçerek yarıiletkendeki boşlukların olduğu enerji seviyelerine yerleşmelerinden dolayı, yarıiletkendeki boşluklar sanki metal içerisine doğru hareket ediyorlarmış gibi görünür. Oluşan kontak doğrultucu özelliğini göstermekte olup Schottky kontağı olarak adlandırılır [36]. Şekil 2.12 (b)’de gösterildiği gibi bant bükülmesinin değeri,

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

şeklinde olacaktır. Burada, V_i kontak potansiyel farkı ve qV_i ise elektronların oluşturduğu potansiyel engelidir.

Şekil 2.12 (b)'de gösterildiği gibi devrede devamlı bir yük akışını sağlayabilmek için, MS kontağın doğru beslenmesi gerekir. Metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda metal negatif ve yarıiletken pozitif olacak şekilde gerilim uygulanırsa buna doğru beslem, metal pozitif ve yarıiletken negatif olacak şekilde gerilim uygulandığında ise ters beslem denir. Bir metal/p-tipi Schottky diyotun doğru ve ters beslem durumlarındaki enerji bant diyagramları sırasıyla Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın; (a) termal denge durumunda, (b) $V > 0$ olması halinde, (c) $V < 0$ olması halinde enerji bant diyagramları.

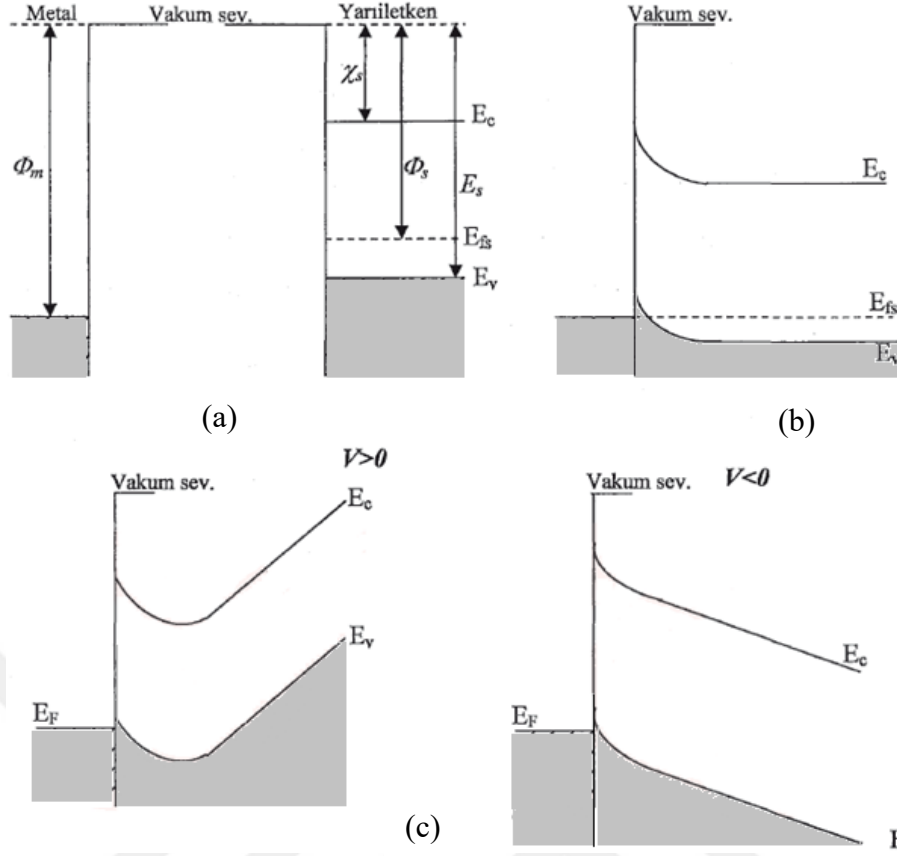
Bir metal ile bir yarıiletken kontak edildiğinde, bu iki madde arasında yük geçişleri gerçekleşir. Bu yük geçişleri metal ile yarıiletkenin Fermi seviyeleri eşitleninceye kadar sürer. Bir MS kontakta, bir yönde yük taşıyıcıları diğer yöne göre daha kolay hareket

edebiliyorsa, buna doğrultucu kontak denir.

Termal enerjiden dolayı, metal ve yarıiletken tarafında bulunan bazı holler potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanarak metalden yarıiletkene ya da yarıiletkenden metale geçebilirler. Sonuç olarak engeli aşan eşit ve zıt yönlü iki I_0 akımı meydana gelir. Şayet yarıiletkene bir V doğru gerilimi uygulanırsa metalden yarıiletkene doğru akan hol akımı değişmezken, yarıiletkenden metale doğru akan hol akımında uygulanan gerilim ile üstel olarak bir artış gerçekleşir. Bu değişim neticesinde yarıiletkendeki bütün enerji seviyeleri qV kadar azalırken, engel yüksekliği yarıiletkenden metale doğru akan holler için qV kadar düşer.

Metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere, $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontak sonrası, yarıiletkendeki elektronlar arkalarında pozitif yükler bırakarak metal tarafına geçer ve metalin ön yüzeyinde negatif yükler meydana gelir. Her iki doğrultuda akım geçirebilen ve Ohm kanununa uyan kontaklar omik kontak olarak adlandırılır. Kontak direnci mümkün olduğu kadar düşüktür. Yarıiletken tarafında azalan elektron yoğunluğundan dolayı yarıiletkenin Fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar azalır. Yarıiletkendeki hol (deşik) yoğunluğunun artması neticesinde yarıiletken ön yüzeyi daha fazla p-tipi olur.

Metaldeki elektronlar, yarıiletkenin içindeki boş durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketi hollerin yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Yüksek elektron yoğunluğundan dolayı metal tarafına geçen holler nötr hale gelir. Ters beslem durumunda metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale doğru yük akışı kolaylıkla gerçekleşir. Bu tür kontaklar omik kontak olarak isimlendirilir.



Şekil 2.14. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontağın; (a) kontak öncesi, (b) kontak sonrası oluşan termal dengedeki, (c) $V < 0$ ve $V > 0$ durumunda enerji-bant diyagramı.

2.4. METAL/POLİMER/YARIİLETKEN KONTAKLAR

Uygun koşullarda polimerizasyon tepkimesi sonucu monomer adı verilen küçük moleküller birbirleriyle kimyasal bağ yaparlar ve polimer moleküllerini meydana getirirler [37].

Plastik malzeme olarak da bilinen polimerler, maliyeti düşük, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip olmaları nedeniyle teknolojik yeniliklerde sıklıkla tercih edilmektedir. Mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı elektronik endüstrisinde de yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Metal ile yarıiletken arası polimer bir tabaka ile kaplandığında MS yapı, MPS yapıya dönüşür. Bu polimer arayüzey tabakanın varlığı metal ile yarıiletkeni birbirinden izole ederek metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler ve bir MIS yapı gibi davranır.

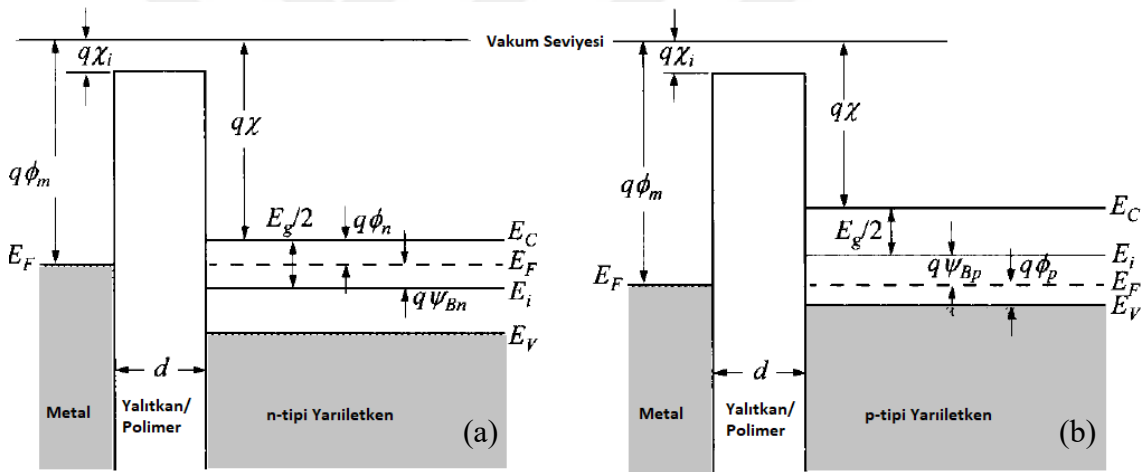
MS yapılarında polimerler, sızıntı akımını azaltmak ve arayüzeyin fiziksel özelliklerini

geliştirmek için kullanılmaktadır. MS kontaktarda bir dış elektrik alan etkisindeki akım iletimi; yarıiletkenin tipi, ara yüzey durumları, arayüzey tabaka, seri direnç, sıcaklık, uygulanan gerilimin yönü gibi faktörlerden etkilenir. Bu nedenlerle MS/MPS yapıların elektriksel karakteristiklerinin anlaşılmasında hangi akım iletim mekanizmalarının etkili olduğunu belirlemek oldukça önemlidir.

MS Schottky kontaktlar, arayüzey tabakaya ve bir seri dirence sahip ise yapı üzerine uygulanan voltaj; arayüzey tabaka, yapının seri direnci ve kontak tarafından bölüşüleceğinden MPS yapılarda akım iletim mekanizmaları MS yapılardan oldukça farklı olabilmektedir [38].

2.4.1. İdeal MIS/MPS Yapısı

$V=0$ durumunda ideal MIS/MPS yapının enerji-bant diyagramı Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. $V=0$ da ideal bir MIS/MPS yapının; (a) n-tipi yarıiletken için, (b) p-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı.

Aşağıda ideal bir MIS/MPS yapının özellikleri tanımlanmaktadır [39], [40]:

- Sıfır beslemde metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasında enerji farkı sıfırdır.

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left\{ \chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_{Bn} \right\} = 0 \quad (\text{n-tipi için}) \quad (2.4)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left\{ \chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_{Bp} \right\} = 0 \quad (\text{p-tipi için}) \quad (2.5)$$

şeklinde verilir.

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

- Metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki bant genişliği büyük olduğu için dielektrik özelliği gösterir. Sabit ve hareketli yükler ile tuzaklar yalıtkan içerisinde ve yalıtkan/yarıiletken arayüzeyinde bulunmaz. Aynı zamanda yalıtkan/yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ile arayüzey yükleri de bulunmaz.

- Yalıtkanın bant aralığı çok büyük olduğundan yalıtkanın iletkenlik bandındaki yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

- Herhangi bir doğru beslem (DC) altında yapı içerisinde bulunan yükler yalnızca yarıiletken ve metalin yarıiletken tarafına bakan yüzeyinde, eşit ve zıt işaretlidir.

- Bir doğru gerilim (DC) uygulandığında yalıtkana doğru taşıyıcı geçisi gerçekleşmez, yani yalıtkanın özdirenci sonsuzdur.

İdeal bir MIS yapıda, doğrultucu metal kontağa bir doğru beslem uygulandığı zaman yarıiletkende yük geçişleri gerçekleşir. Yarıiletkendeki serbest yüklerin yoğunluğu metaldekine göre daha az olup, uygulanan besleme bağlıdır. Yarıiletken arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine neden olan uzay yükleri (Q_{sc}) meydana gelir. Termal dengede arayüzey bölgesindeki uzay yük yoğunluğu potansiyelin büyüklüğü ile belirlenir. Katkılama türüne göre yarıiletkende bulunan yükler çoğunluk ve azınlık taşıyıcılar olup, yarıiletkende metallere göre serbest olmayan yükler bulunduğu için uygulanan besleme bağlı olarak ya uzay yükü bölgesinde ya da arayüzey bölgesinde yığılmalara neden olur [29], [41].

Uygulanan V gerilimin bir kısmı yarıiletken üzerine diğer bir kısmı da yalıtkan arayüzey tabakası üzerine düşer. Bu yüzden,

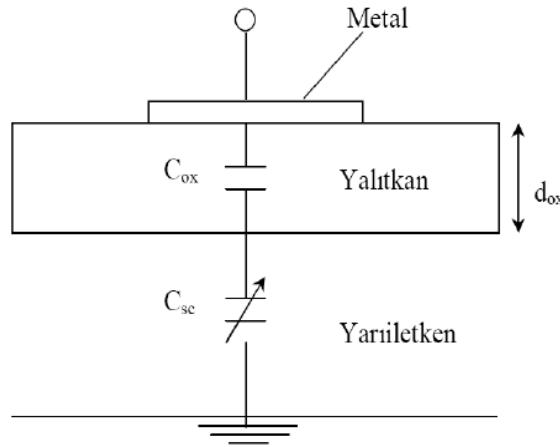
$$V = V_{ox} + \Psi_s \quad (2.6)$$

eşitliği ile ifade edilebilir.

Burada, V_{ox} yalıtkan (polimer) üzerine düşen gerilim, Ψ_s ise arayüzeydeki bant gerilimidir [7].

Metal/yarıiletken arasında bulunan yalıtkan/polimer tabakadan dolayı metal ile yarıiletken arasında bir kapasitans (C) meydana gelir. Bu kapasitans MIS/MPS kapasitansı olarak ifade edilir. Bu kapasitansın özelliklerini metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki yalıtkan/polimer yarıiletken arayüzeyi belirler. Kapasitans, arayüzeyin

dielektrik sabitine bağlıdır. Bir MIS/MPS kapasitansına karşılık gelen eşdeğer devre Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. MIS kapasitansının eşdeğer devresi.

Uygulanan gerilimde küçük değişimler gerçekleştiğinde MIS yapının kapasitansı C , yalıtkan tabakanın kapasitansı C_{ox} ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} olarak gösterilebilir [38]. MIS kapasitansını bunların eşdeğeri vermektedir.

Şekil 2.16'daki devrenin eşdeğer MIS kapasitansı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_{sc}} \quad (2.7)$$

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

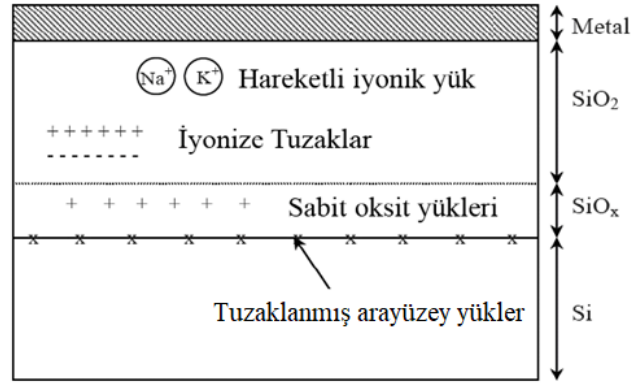
$$C_{ox} = \left(\frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} \right) A \quad (2.8)$$

eşitliği ile verilir. Burada ϵ_{ox} yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti, d_{ox} ise arayüzey tabakanın kalınlığı olup uygulanan gerilimden bağımsız olduklarından C_{ox} değeri de uygulanan gerilimle değişmez. MIS/MPS yapısının kapasitansındaki değişimini sadece Q_{sc} uzay yükü belirler.

2.4.2. Gerçek MIS/MPS Yapısı

İdeal bir MIS/MPS yapıda yalıtkan içerisinde ve yalıtkan/polimer-yarıiletken arayüzeyinde hiçbir yüklü tuzak veya hareketli yük yoktur. Gerçek yapılarda yalıtkan/polimer ve yarıiletken arayüzeyi hiçbir zaman elektriksel olarak nötr değildir. Safsızlıklardan ya da doymamış bağlardan kaynaklanan yalıtkan-polimer/yarıiletken arayüzeyindeki arayüzey durumları olarak adlandırılan tuzaklanmış yükler ve oksidasyon sırasında yönleme bağlı olarak ortaya çıkan, tuzaklar, hareketli iyonlar, sabit oksit ve

arayüzey yüklerinin bulunması MIS/MPS yapısının elektriksel özelliklerini değiştirmekte, böylece MIS/MPS yapısının ideal özelliklerinden sapmasına sebep olabilmektedir [30]. Gerçek bir MIS/MPS yapısında birçok durumlar ve yükler mevcuttur. Bu durumların ve yüklerin sınıflandırılması Şekil 2.17’de gösterilmiştir [42].



Şekil 2.17. İdeal olmayan MIS yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması.

2.5. MS VE MIS/MPS KONTAKLARDA AKIM İLETİM MEKANİZMALARI

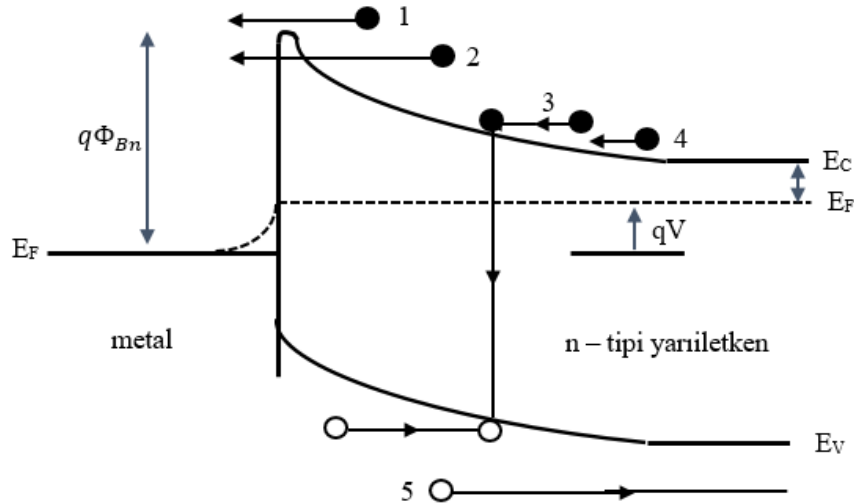
Metal ile yarıiletken arasına polimer bir arayüzey tabakası oluşturulursa, MS yapı MPS yapıya dönüşür.

Kaplanan arayüzey tabaka, metal ile yarıiletkeni birbirinden izole ederek, metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. Kullanılan polimer arayüzey tabakanın varlığı aygıt performansı, güvenilirliği ve kararlılığı açısından önem arz eder. MS yapılarında kullanılan polimer bir arayüzey tabaka, sızıntı akımını azaltması, daha iyi kontrol edilebilir akım iletim mekanizmaları gerçekleştirilmesi ve daha iyi elektriksel iletkenlik sağlanması açısından tercih edilmektedir [43].

MS ve MIS/MPS yapılarında akıma en büyük katkı çoğunluk taşıyıcılardan gelmekle beraber toplam akım farklı akım iletim mekanizmalarından gelen katkıların toplamıdır. Farklı akım iletim mekanizmalarının gerçekleşme koşullarının farklılık göstermesinden dolayı genelde toplam akım baskın bir akım iletim mekanizmasına ek olarak diğer akım iletim mekanizmalarından gelen katkıları içerir. Çoğunlukla belirli şartlarda bu ek katkıları temel (baskın) mekanizma yanında ihmal edilebilir. MS yapılarının doğru beslem altına gerçekleşen akım iletim mekanizmalarının belirlenmesi önemlidir. Kontakta metal ile yarıiletken arasındaki oksit tabaka, arayüzey durumları, seri direnç, gerilimin yönü,

sıcaklık, yarıiletken tipi gibi faktörlerin diyota etkisi dikkate alınarak, hangi durumda hangi iletim mekanizmasının oluştuğunun belirlenmesi sonuçların doğruluğu açısından önem arz eder. MS yapılarında başlıca akım iletim mekanizmaları şunlardır [30], [39]:

- Termiyonik Emisyon
- Difüzyon
- Termiyonik Emisyon-Difüzyon
- Alan Emisyonu
- Termiyonik Alan Emisyonu
- Taşıyıcı Üretimi ve yeniden Birleşmesi
- Azınlık Taşıyıcı Enjeksiyonu
- T_0 Anomali
- Uzay Yükleyle Sınırlı Akım



Şekil 2.18. Doğru beslem altında metal/yarıiletken kontaklarda akım iletim mekanizmaları.

Doğru beslem altında gerçekleşen temel iletim mekanizmaları Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Burada (1) Metal/n-tipi yarıiletkenlerde elektronların, metal/p-tipi yarıiletkenlerde ise deşiklerin yarıiletkendeki potansiyel engeli üzerinden metale veya yarıiletkene geçmesidir. $T=300$ K sıcaklık değerinde Schottky diyotlarda baskındır. (Termiyonik Emisyon); (2) bir engel içinden elektronların kuantum mekaniksel tünellemesidir. Yüksek katkılı yarıiletkenler için önemli ve çoğu omik kontaklardan

sorumludur. (Tünelleme); (3) Uzay yükü bölgesinde birleşme. Yüksek katkıli yarıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için uygun bir modeldir. (Rekombinasyon); (4) Uzay yük bölgesinde elektronların difüzyonunu (Elektronların difüzyonu); (5) metalden yarıiletkenle difüzyonla adapte olan deşikler nötral bölgedeki rekombinasyona eşdeğerdir. Metal kontağın yan tarafındaki yüksek elektrik alandan dolayı oluşan kenar sızıntı akımlarına veya metal/yarıiletken arayüzlerdeki tuzaklardan kaynaklanan arayüzey akımına da sahip olabilir (Hollerin difüzyon teorisi).

MIS/MPS yapılarında elektriksel iletim mekanizmaları genel olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bunlar, elektrot limitli iletim mekanizmaları ve yığın limitli iletim mekanizmalarıdır.

Elektrot limitli iletim mekanizmaları; (1) Schottky veya termiyonik emisyon, (2) Fowler-Nordheim tünellemesi, (3) Doğrudan tünelleme ve (4) Termiyonik-alan emisyonu olarak sayılabilir. Yığın limitli elektriksel iletim mekanizmaları ise (1) Poole-Frenkel emisyonu, (2) Hopping veya sıçrama iletimi, (3) Omik iletim, (4) Uzay-yük sınırlı iletkenlik, (5) İyonik iletim ve (6) Tanecik-Sınır Sınırlı iletkenlik olarak sıralanabilir [44], [45].

Elektrot limitli akım iletim mekanizmaları doğrultucu ve omik kontaklar arasındaki potansiyel engeli ve bant yapısına bağlı olarak şekillenirken, yığın limitli akım iletim mekanizmaları ise doğrudan arayüzey yalıtkan/polimer tabakanın elektriksel özelliklerine bağlıdır.

Metal ile yarıiletken arasına bir yalıtkan/polimer tabaka bulunduğunda, arayüzey tabakanın dielektrik özelliklerine bağlı olarak Çizelge 2.2'de akım iletim mekanizmalarından bahsedilebilir.

Çizelge 2.2. Dielektrik filmlerde akım iletim mekanizmaları.

İletim Mekanizmaları (Conduction mechanism)	
Elektrot Sınırlı İletim Mekanizmaları (Electrode-limited conduction mechanism)	Yığın Sınırlı İletim Mekanizmaları (Bulk-limited conduction mechanism)
Schottky veya Termiyonik Emisyon (Schottky emission)	Poole-Frenkele Emisyonu (Poole-Frenkele mission)
Fowler-Nordheim Tünellemesi (Fowler-Nordheim tunneling)	Sıçrama İletimi (Hopping conduction)
Doğrudan Tünelleme (Direct tunneling)	Omik İletim (Ohmic conduction)
Termiyonik Alan Emisyonu (Thermionic-field emission)	Uzay-Yük Sınırlı İletim (Space-charge-limited conduction)
	İyonik İletim (Ionic conduction)
	Tanecik-Sınır Sınırlı İletim (Grain-boundary-limited conduction)

Genel olarak arayüzey yalıtkanı içeren MIS/MPS yapılarında akım, bu arayüzey tabakanın dielektrik özelliklerine bağlı olarak bahsedilen akım iletim mekanizmalarının katkısı ile şekillenir. Aşağıda bazı temel akım iletim mekanizmaları açıklanmıştır.

2.5.1. Termiyonik Emisyon (TE)

Termiyonik emisyon (TE), termal enerji kazanan taşıyıcıların metalden yarıiletken veya yarıiletkenden metale potansiyel engelini aşarak geçmelerine dayanır.

Bethe, metal/yarıiletken kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcıları tarafından iletildiğini kabul ederek termiyonik emisyon teorisini oluşturmuştur. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise boşluklar akımı sağlar [3], [46].

Bu teoreme göre [46],

(a) Engel yüksekliği (Φ_b) kT/q enerji değerinden çok büyüktür.

(b) Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamakta, taşıyıcıların ortalama serbest

yolları Schottky bölgesinin kalınlığından büyüktür.

(c) Görüntü (sanal) kuvvetlerinin etkisi ihmal edilmekte olduğundan, engel deseninin şekli önemsiz olup akım yalnızca engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

Bu yaklaşımlar kullanılarak, yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu, potansiyel engelini aşmak için yeterli enerjiye sahip elektronların enerjisine ve yönelimine bağlı olarak verilir. Yarıiletkenden metale doğru olan akım J_{sm} potansiyel engelini geçmeye yetecek kadar enerjiye sahip elektronların sayısına ve bunların hızına bağlı şu şekilde ifade edilir;

$$J_{sm} = \int_{E_F + q\phi_B}^{\infty} qv_x dn \quad (2.9)$$

Burada $(E_F + q\phi_B)$ yarıiletkenden metale TE için gerekli minimum enerji, v_x iletim yönündeki taşıyıcı hızıdır. Elektron yoğunluğu dn ise küçük bir enerji artışı için şu şekilde verilebilir.

$$dn = N(E)F(E)dE \quad (2.10)$$

Böylece MS (n-tipi) kontaklarda yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu,

$$J_{sm} = \left[\frac{4\pi m^* k^2}{h^3} \right] T^2 \exp \left[\frac{-q\phi_B}{kT} \right] \exp \left[\frac{qV}{kT} \right] \quad (2.11)$$

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

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right) \exp \left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.12)$$

ifadesi yazılır. Burada A^* , TE için etkin Richardson sabitidir. Metalden yarıiletkene doğru hareket eden elektronlar için engel yüksekliği aynı kalır ve bu akım yoğunluğu uygulanan voltajdan etkilenmez.

Metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğu dengede ($V=0$), yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğuna eşittir. Buna göre metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğu,

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

şeklinde verilir. Toplam akım yoğunluğu ise Denklem 2.12 ve Denklem 2.13 eşitliklerinin toplamı olup,

$$J_{TE} = A^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right) \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.14)$$

şeklinde verilir. Burada, $A^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right)$ ifadesi sızıntı akımı olarak da isimlendirilen

doyma akım yoğunluğudur.

2.5.2. Difüzyon

Difüzyon; yoğunluk farkı bulunan bölgelerde, yoğunluğun yüksek olduğu bölgeden düşük olan bölgeye doğru yük geçişine denir.

Schottky tarafından ortaya konulan teoreme göre [47];

(a) Engel yüksekliği, kT/q enerjisinden oldukça büyüktür.

(b) Tüketim bölgesindeki elektronların çarpışma olasılıkları dikkate alınmıştır.

(c) $x=0$ ve $x=W_D$ değerlerindeki taşıyıcı yoğunlukları termal denge değerlerine sahip olup, akımdan etkilenmezler.

(d) Yarıiletken safsızlık yoğunluğu dejenere değildir.

Bu teoreme göre, tüketim tabakasındaki akım, bölgesel alana ve yoğunluk değişimine bağlı olduğundan, akım yoğunluk denklemi kullanılmaktadır.

$$J_x = J_n = q \left[n(x)\mu E(x) + D_n \left(\frac{dn}{dx} \right) \right] \quad (2.15)$$

ve

$$J_n = qD_n \left[\left(\frac{n(x)}{kT} \right) \left(\frac{dE_c}{dx} \right) + \left(\frac{dn}{dx} \right) \right] \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $n(x)$, μ , D_n , E_c sırasıyla elektron yoğunluğu, elektronun mobilitesi, elektron difüzyon sabiti ve iletim bandı enerjisidir. Difüzyon teorisine göre akım yoğunluğu,

$$J = J_D \left(\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right) \quad (2.17)$$

şeklinde verilir. Burada J_D doyum akım yoğunluğu olup,

$$J_D = \left(\frac{q^2 N_c D_n}{kT} \right) \left[\frac{q(V_i - V) 2N_D}{\epsilon_s} \right]^{\frac{1}{2}} \exp \left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right) \quad (2.18)$$

şeklinde verilir. Burada N_c , V_i , N_D ve ϵ_s sırasıyla iletkenlik bandındaki taşıyıcı yoğunluğu, potansiyel engeli, verici yoğunluğu ve yarıiletkenin dielektrik geçirgenliğidir.

Difüzyon ve TE teorilerinden elde edilen akım yoğunluğu denklemleri temelde birbirlerine benzemektedir. Ancak doyma akım yoğunluğunun, Difüzyon Teorisi ele alındığında voltaja bağlı olarak hızlı değiştiği fakat sıcaklığa bağlı değişiminin TE teorisine kıyasla çok daha düşük olduğu görülmektedir.

2.5.3. Termiyonik Emisyon-Difüzyon

Termiyonik emisyon ve difüzyon teorileri birleştirilerek, termiyonik emisyon-difüzyon teorisi modeli Crowell ve Sze tarafından geliştirilmiştir [48]. Bu yaklaşım, metal/yarıiletken ara yüzeyi kenarında, termiyonik yeniden birleşme hızının bağlı durumları üzerine kurulmuştur. MS yapıya uygulanan bir gerilim, metale doğru bir elektron akışına sebep olur. Bazı taşıyıcıların optik fonon saçılmalarına ve kuantum mekanik yansımalara uğramasıyla akıda azalma meydana gelir. Sze bunun sebebini, yeniden birleşme hızındaki azalmaya bağlamıştır. Termiyonik emisyon-difüzyon teorisine göre elektronların MS ara yüzeyinde optik fononlarla etkileşmeksizin potansiyel engel üzerinden salınma olasılığı ve ortalama iletim katsayısı değerleri göz önüne alındığında A^* Richardson sabiti A^{**} olarak değişir. A^{**} , düzenlenmiş etkin Richardson sabitidir.

Bu durumda genel olarak akım-voltaj ifadesi,

$$J = J_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.19)$$

$$J_0 = A^{**} T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_B}{kT} \right) \quad (2.20)$$

şeklinde yazılabilir.

2.5.4. Alan Emisyonu

Alan emisyonu (AE) teorisi yük taşıyıcılarının bariyeri aşmadan bariyer içinden kuantum mekaniksel tünelleme yaparak oluşturduğu akımı ifade eden bir teoridir. Bu akım iletim mekanizmasının düşük sıcaklıklarda ve yüksek katkılı yarıiletkenlere sahip Schottky bariyer diyotlarda görülmesi muhtemeldir. Kuantum mekaniksel tünellemeyi içeren AE teorisine yönelik çalışma 1966 yılında Padavoni ve Stratton, 1969 yılında ise Crowell ve Rideout tarafından yapılmıştır. Yapılan teorik çalışmalardaki varsayımlar şunlardır [49], [50];

(a) Görüntü yüklerden kaynaklanan kuvvetlerin neden olduğu bariyer alçalması ihmal edilir,

(b) Bariyerin üstünden geçecek kadar yüksek enerjiye sahip olan elektronların bariyerin tepesindeki kuantum mekaniksel yansımaları ihmal edilir.

(c) Elektronlar Boltzmann dağılımına sahiptir

Sonraki çalışmalarda görüntü yüklerin bariyer üzerindeki etkisinin ve kuantum mekaniksel yansımaların ihmal edilmediği durum göz önüne alınmış ve dejenere Fermi istatistiği kullanılarak yapılan hesaplamaların da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür

[51]. Yarıiletkenin aşırı katkılanması durumunda yarıiletkende Fermi seviyesi hizasında enerji seviyeleri oluşur, dolayısıyla düşük sıcaklıklarda enerjisi Fermi enerjisi civarında olan elektronlar metale tünelleme yoluyla geçiş yapabilirler. Diğer bir husus ise katkı atomlarının yüksek yoğunluğu nedeniyle tükenim tabakası genişliğinin incelmeye sonucunda elektronlar ince tükenim tabakası boyunca daha kolay tünelleme yapabilirler. Tünelleme durumunda yarıiletkenden metale doğru olan tünelleme akım yoğunluğu aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$J = J_s \exp\left(\frac{qV}{E_o}\right) \quad (2.21)$$

şeklinde verilir. Burada J_s zayıf bir şekilde gerilime bağlı olup engel yüksekliği ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.

Burada E_o ,

$$E_o = E_{oo} \coth\left(\frac{E_o}{kT}\right) \quad (2.22)$$

ve E_{oo} ,

$$E_{oo} = \left(\frac{qh}{4\pi}\right) \left(\frac{N_d}{m^* \epsilon_s}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

şeklinde verilirler. Burada, E_o ve E_{oo} enerji boyutunda kıyas parametreleri, m^* elektronun etkin kütlesi, h Planck sabiti ve N_d ise birim hacimdeki donör (verici) katkı atomlarının sayısıdır.

2.5.5. Termiyonik Alan Emisyonu

Artan sıcaklıkla büyük çoğunluğu Fermi seviyesinin üzerine çıkan elektronlar, potansiyel engelin tepesine ulaşmadan metale tünelleme yapabilirler. Termal olarak uyarılmış bu elektronların kuantum mekaniksel tünellemesi olayı tünel alan emisyonu (TAE) olarak bilinir. Sıcaklık artışıyla elektronlar yüksek enerjilere uyarılır ve tünelleme ihtimali hızlıca artar. Yani elektronların gördüğü engel daha düşük ve incedir. Eğer sıcaklık daha da artarsa bütün elektronlar engelin üst kısmına ulaşır ve bu kez de TE kuramı geçerlilik kazanır. AE sadece saf olmayan yarıiletkenlerde, doğru beslem altında oluşur.

Denklem 2.21'deki J_s , engel yüksekliği, yarıiletken parametreleri ve sıcaklığa bağlı olan kompleks bir fonksiyon olup beslem voltajına 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 ve $E_o \approx E_{oo}$ olur. LnI-V eğrisinin eğimi sıcaklığa bağlı olmayan bağımsız bir sabittir. Bu durum AE için geçerlidir. Yüksek sıcaklıklarda ($E_{oo} \ll kT$) $E_o = kT$ olur ve LnI-V eğrisinin eğimi olan

q/kT 'ye eşittir. Bu durum ise TE için geçerlidir. Sıcaklığın ara değerleri için eğim q/nkT olarak yazılabilir ve n ,

$$n = \frac{E_{oo}}{kT} \coth\left(\frac{E_{oo}}{kT}\right) \quad (2.24)$$

şeklinde verilir.

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

$$E_m = \left[\frac{qV_d}{\cosh^2\left(\frac{E_{oo}}{kT}\right)} \right] \quad (2.25)$$

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

AE, TAE ve TE arasındaki ayrımı kT ile E_{oo} kıyaslaması ile yapılabilir. Buna göre $kT \ll E_{oo}$ olduğunda baskın akım iletim mekanizması AE, $kT \gg E_{oo}$ olduğunda TE ve $kT \approx E_{oo}$ olduğunda ise TAE'dir.

2.5.6. Taşıyıcı Üretimi ve Yeniden Birleşmesi

Schottky bariyerin tükenim bölgesi sıfır beslemde termal dengede olup, bu bölgedeki elektron-deşik çifti üretimi birleşmenin hızıyla dengelenmiştir. Termal dengede yük taşıyıcılarının sayısı, asal elektron yoğunluğunun karesine (n_i^2) eşittir, ancak beslem voltajı altında bu değer n_i^2 'den sapa ve beslem voltajının doğru veya ters oluşuna göre net bir üretim ya da net bir birleşme vardır.

Eğer n-tipi yarıiletken üzerine büyütülen Schottky bariyer eklemine ters beslem uygulanırsa, tükenim bölgesinde elektron-deşik çiftleri termal denge değerlerinin fazlasıyla üzerinde üretilirler. Bu çiftler bariyerdeki elektrik alan tarafından sürüklenerek ters akıma neden olur. Diğer yandan, eklem doğru beslenirse, elektronlar nötr yarıiletkenden ve deşikler de metalden tükenim bölgesine enjekte olurlar ve burada birleşerek birleşme akımına neden olurlar. Bir yarıiletkendeki birleşme merkezi enerjisi, yarıiletkenin yasak enerji aralığının ortasına eşit olduğu zaman en fazla etkiye sahiptir [7], [52].

Derin tuzaklar yoluyla birleşme için, tükenim bölgesindeki taşıyıcı üretim ve birleşmenin neden olduğu akım,

$$J_{GR} = \frac{qAn_iW_d}{2\tau_0} \left[\exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) - 1 \right] \quad (2.26)$$

şeklinde verilir.

Burada τ_o tüketim bölgesindeki azınlık taşıyıcısı yaşam ömrüdür. Bu eşitlikten; J_{GR} 'nin yalnızca düşük sıcaklıklarda çalışan büyük bariyer yüksekliğine sahip, azınlık taşıyıcıları düşük yaşam ömrüne sahip ve az katkılanmış yani yüksek W_d değerli yarıiletkenler için fazla büyük olmayan beslem voltajı değerlerinde önemli hale geleceği söylenebilir. J_{GR} faktörü toplam akıma katkısından dolayı bazı durumlarda idealite faktörünün 1'den büyük değer almasına neden olur [7], [52].

2.5.7. Azınlık Taşıyıcı Enjeksiyonu

Schottky bariyer diyotlarında akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından gerçekleştiğinden, normal şartlar altında azınlık taşıyıcılarının akıma katkısı çok küçüktür. Ancak, yeterince yüksek beslem voltajı değerlerinde azınlık taşıyıcılarının sürüklenme bileşeni ihmal edilemeyeceğinden n-tipi yarıiletkenle oluşturulan bir Schottky bariyer için azınlık taşıyıcı enjeksiyonu akım yoğunluğu [45], [52];

$$J_{MCI} = q\mu_h p_n E - qD_p \frac{dp_n}{dx} \quad (2.27)$$

şeklinde verilir.

Burada μ_h deşiklerin mobilitesi, p_n deşiklerin yoğunluğu ve D_p deşiklerin difüzyon sabitidir. Buna göre gerekli hesaplamalardan sonra L_p deşik difüzyon uzunluğu olmak üzere J_{MCI} akım yoğunluğu [52];

$$J_{MCI} = \frac{\mu_h n_i^2 J_n^2}{\mu_e N_D^2 J_{n0}} + \frac{qD_p n_i^2}{N_A L_p} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.28)$$

şeklinde verilir.

2.5.8. T_o Anomali

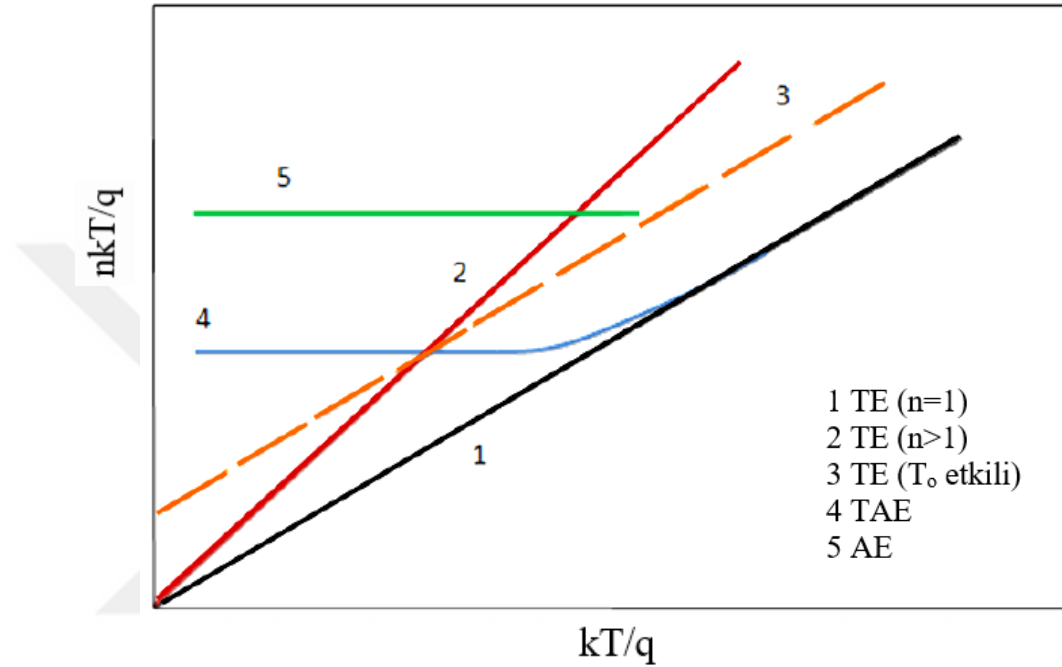
İdealite faktörünün sıcaklığa bağlılığı deneysel olarak birçok kez gözlemlenmiştir. Sıcaklık azaltıldığında diyotun idealite faktörü (n) artar. Bazı metal/yarıiletken kontaklarda elde edilen engel yüksekliği değeri ve n ölçülen sıcaklıkla değişimi, T_o anomalisi olarak ifade edilir. Schottky diyotlarda n , genellikle sıcaklığa bağlıdır. Schottky diyot için akım ifadesi aşağıdaki gibi ise, diyotun T_o etkisini gösterdiği söylenir. T_o etkili akım yoğunluğu denklemi [53],

$$J = A^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_B}{k(T+T_o)}\right) \exp\left(\frac{qV}{k(T+T_o)} - 1\right) \quad (2.29)$$

şeklinde verilir.

Burada T_o geniş bir sıcaklık aralığında sıcaklık ve gerilimden bağımsız sabit bir parametredir. n 'nin sıcaklığa bağlılığı deneysel olarak $n=1+(T_o/T)$ olarak ifade edilir.

Eğer J akım yoğunluğu, gerilimin fonksiyonu olarak değişik sıcaklıklarda ölçülürse ve nT de T 'nin fonksiyonu olarak çizilirse farklı akım iletim kuramları aşağıdaki Şekil 2.19'da görüldüğü gibi belirlenebilir. 1, 2 ve 3 eğrileri, TE teorisinin baskın olduğu mekanizmaları belirtir. Bunlar sırasıyla $n=1$, $n>1$ ve T_0 etkili durumlarına karşılık gelir. 4 ve 5 eğrileri ise sırasıyla TAE ve AE iletim mekanizmalarının etkin olduğu durumları gösterir [54], [55].



Şekil 2.19. Farklı akım iletim mekanizmalarını gösteren $nkT/q - kT/q$ grafiği.

2.5.9. Uzak Yüküyle Sınırlı Akım

Uygulanan beslem ile birlikte üretilen serbest yük taşıyıcı yoğunluğunun termal olarak uyarılan serbest taşıyıcı yoğunluğundan oldukça fazla olmaya başladığı zaman uzak yüküyle sınırlı akım (SCLC) önemli hale gelir. Genel olarak, bu yük taşıyıcılarını hapseden arayüzdeki uzak yüklerin ve tuzakların dağılımı SCLC mekanizmasını belirleyen önemli faktörlerdir. Bu akım iletim mekanizmasında üretilen yük taşıyıcıları bariyer yakınında uzak yük bölgesi oluştururlar ve bundan dolayı elektrik alanda bir azalmaya neden olurlar ve ilave yük taşıyıcılarının üretilmesini sınırlandırır. Bu mekanizmada akım yoğunluğu ifadesinin en genel hali Mott-Gurney yasası baz alınarak [56],

$$J_{SCLC} = qN_{eff}\mu \left(\frac{2l+1}{l+1}\right)^{l+1} \left(\frac{l}{l+1} \frac{\varepsilon_i}{qN_t}\right)^l \frac{V^{l+1}}{\delta^{2l+1}} \quad (2.30)$$

şeklinde verilir.

Burada N_t toplam yoğunluk ve N_{eff} ise,

$$N_{eff} = 4,83 \times 10^{21} \left(\frac{m^*}{m_0} \right)^{\frac{3}{2}} T^{\frac{3}{2}} \quad (2.31)$$

eşitliği ile verilen etkin durum yoğunluğudur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

3.1.1. PLinl-g-PCL-g-PtBA (PLilPCLPtBA) Üç Bloklü Graft Kopolimerin Özellikleri

Üç bloklü PLinl-g-PCL-g-PtBA (PLilPCLPtBA) graft kopolimer bir basamakta tek adım (one-step) yöntemiyle 2016 yılında Y. Arı ve diğerleri tarafından sentezlenmiş ve bu çalışmada MPS yapılar da ara yüzey polimer tabakası olarak kullanılmıştır. One-Step yönteminde, PLinl yapısında bulunan peroksit grupları bir vinil monomerini polimerleştirirken aynı anda PLinl'nin –COOH gruplarının ϵ -kaprolakton ile halka açılma polimerizasyonu vermesiyle PLinl-g-PCL-g-PtBA graft kopolimer yapıları sentezlenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 3.1'de t-bütül akrilat miktarının graft kopolimerizasyona etkisi verilmiştir.

Çizelge 3.1. PLinl, ϵ -CL ve t-bütül akrilat'ın 110 °C ve 24 saatte tek basamakta (one-step) sentezlenen graft kopolimerizasyon üzerine t-bütül akrilat miktarının etkisi [58].

	tBA (g)	Verim (%)	PLinl (wt%)	PtBA (wt%)	PCL (wt%)	M _{n,SEC} (kDA)	M _{w,SEC} (kDA)	PDI
PLilPCLtBA	4,00	81	5,92	72,88	21,21	36,93	54,95	1,49

Aşağıdaki Çizelge 3.2'de PLinl-g-PCL-g-PtBA graft kopolimerlerin DSC ve TGA sonuçları verilmiştir. PLilPCLtBA ($T_{g1}=40$ °C, $T_{d1}=240$ °C, $T_{d2}=405$ °C ve $T_{d3}=455$ °C) olduğunu görülmektedir [26]. Deneysel olarak elde edilen ve tabloda verilen değerler PLilPCLtBA graft kopolimerinin MPS yapılar da kullanımı için uygun fiziksel özellikler verdiğini göstermektedir.

Çizelge 3.2. PLinl-g-PCL-g-PtBA graft kopolimerlerin DSC ve TGA verileri.

	DSC (°C)					TGA (°C)			
	T _{g1}	T _m	T _{d1}	T _{d2}	T _{d3}	T _{d1}	T _{d2}	T _{d3}	T _{d4}
PLilPCLtBA	40	-	240	405	455	255	360	495	770

3.1.2. Si kristalinin Özellikleri

Silisyum insanlık tarihinde ilk olarak çakmaktaşı formunda kullanılmıştır. Silisyumun doğadaki bolluğu bilim insanlarının her zaman ilgisini çekmiştir. Camın keşfinden daha öncelere uzanan binlerce yıllık bir geçmişe sahip element olup, seramik tarihi ile de bağlantılı bir maddedir.

Silisyumla ilgili ilk bilimsel çalışmalar 1811 yılında yapıldı. Joseph Gay Lussac ve Louis Jacques Thenard, silisyum tetraklorürü potasyum metaliyle tepkimeye sokarak çok saf olmayan silisyum elde etti. Saf silisyumun elde edilmesi ise 1824 yılında gerçekleşti. İsveçli kimyager Jöns Jacob Berzelius, potasyum fluorosilikatı ısıtarak nispeten saha saf silisyum tozu elde etti. Bu sebeple silisyumun kâşifi olarak kabul edilir. 1854 yılında Henry Deville ilk kez kristal silisyum üretmiştir.

Silisyum doğada siliksat asidi ($mSiO_2.nH_2O$) ve tuzları halinde bulunur. Yerkabuğunun yaklaşık %25,7'si bu elementten meydana gelir. Bileşikler halinde oksijenden sonra en fazla bulunan elementtir. Mineral dünyasında Silisyum elementi büyük önem taşır. Silisyum oksit (SiO_2) hâlinde kum, opal ve kuvarz gibi kıymetli taşların yapısında ve demir, alüminyum, magnezyum ve diğer birçok metallere kompleks silikatlar halinde kayaların, killerin ve genel olarak toprağın yapısında bulunur.

Doğada bol olarak bulunması ve uygun fiziksel-kimyasal özellikleri birçok yarıiletken cihaz ve yarıiletken bazlı devrelerde kullanılabilmesini sağlamıştır. Silisyumun saf kristal silisyum ve amorf silisyum olmak üzere iki allotropu vardır. Saf kristal silisyum koyu gri renkli, parlak, sert, kırılğan olup kristal örgüsü elmas yapıdadır. Amorf silisyum ise koyu kahve renkli olup kolay reaksiyon verir. Saf olarak silisyum eldesi, silisyum oksidin kok kömürü (grafit) ile elektrikli fırında indirgenmesi sonucunda gerçekleşir. Silisyum klorür ($SiCl_4$) önce fraksiyonlu destilasyon yöntemi ile saflaştırılır ve sonrasında hidrojen ile indirgenerek çok saf silisyum elde edilir. Bu yöntemlerle kimyasal saflığa getirilen silisyum yarıiletkeni elektronik yapı elemanı yapımı için henüz yeterli saflıkta değildir. Bu nedenle fiziksel saflaştırma yöntemi kullanılır. Bölgesel eritme adı verilen yöntemle, yarıiletken istenmeyen safsızlık maddelerinden arındırılır. Bu yöntemle saflaştırılan yarıiletken henüz polikristal özelliğindedir. Bundan sonra yarıiletkenin tek kristal halinde büyütülmesi ve içine istenilen safsızlık (katkı) maddelerinin katkılanması gerekir. Katkılanan safsızlığın cinsi ve miktarı yarıiletkenin tipi yanında birçok fiziksel parametresini etkiler [36].

Bu çalışmada kullanılan n-tipi silisyum kristalinin oda sıcaklığında (300 K) bazı temel fiziksel özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Silisyum yarıiletkeninin oda sıcaklığındaki (300 K) bazı özellikleri.

Özellikleri	Si
Atom ağırlığı	28,09
Atom yoğunluğu (Atom/cm ³)	5,0x10 ²²
Deşiklerin etkin kütlesi, m [*] /m _o	m _{lh} [*] =0,16, m _{hh} [*] =0,49
Dielektrik sabiti	11,9
Elektron yakınlığı, χ (eV)	4,05
Elektronların etkin kütlesi, m [*] /m _o	m _i [*] =0,98, m _t [*] =0,19
Erime Sıcaklığı (°C)	1410
İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu N _c (cm ⁻³)	2,8x10 ¹⁹
Kırılma alanı (V/cm)	3x10 ⁵
Kristal yapısı	Elmas
Mobilitesi elektron-hole (cm ⁻² /V.s)	1500-450
Molar hacmi (ml/mol)	12,06
Örgü Sabiti (Å)	5,43095
Saf özdirenç (Ω.cm)	2,3x10 ⁵
Saf taşıyıcı yoğunluğu n _i (cm ⁻³)	1,45x10 ¹⁰
Termal iletkenliği (W/cm.K)	1,5
Valans bandındaki durumların yoğunluğu N _v (cm ⁻³)	1,04x10 ¹⁹
Yasak enerji aralığı (eV)	1,12
Yoğunluğu (g/cm ³) (25°C)	2,33

3.2. MS VE MPS YAPININ HAZIRLANMASI

3.2.1. Kristal Temizleme

Diyotu oluşturmak için (100) yüzey yönelimli, 2" çaplı, 500 µm kalınlığında ve P katkılı n-tipi Si tek kristal yaprak kullanılmıştır. Kullanılan kristallerin fabrikasyon yöntemiyle bir yüzeyi parlatılmıştır. İdeale yakın bir MS/MPS yapı oluşturabilmek için kullanılacak yarıiletken yüzeyi oldukça temiz olmalıdır. Bir yarıiletkende çok sayıdaki yüzey kusuru iyi temizlenmeyle ortadan kaldırılabilir.

Werner Kern; 1965 yılında Amerika Radyo Kurumu (Radio Corporation of America-RCA) için çalışırken silisyum kristal için yüksek sıcaklık işleme aşamalarından (oksidasyon, difüzyon, CVD, vb.) önce yapılışı gereken standart bir kristal yaprak (wafer) temizleme prosedürü geliştirmiştir [58], [59]. RCA prosedürü olarak anılan bu yöntem; iki temel temizlik prosedürü (SC-1 ve SC-2) ile isteğe bağlı bir yüzey oksidi temizleme prosedüründen oluşmaktadır. Bu çalışmada, bu iki standart prosedür temel alınarak kristal temizleme işlemleri aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilmiştir.

1. Temizleme işleminde direnci yaklaşık 16-18 M Ω olan deiyonize su (DI-H₂O) kullanıldı. Tüm kimyasal temizleme işlemleri ultrasonik banyo içinde gerçekleştirildi. Öncelikle kristalleri tutmak için kullanılan araç ve kaplar fırında yaklaşık 80 °C ısıtıldı. Daha sonra hidrojen peroksit (H₂O₂) ve aseton (C₃H₆O) ile sırasıyla yıkanan malzemeler ardından deiyonize su ile iyice durulandı.
2. Silisyum yapraklar öncelikle deiyonize su içinde ve ultrasonik banyoda 10 dakika süreyle yıkandı.
3. RCA standart temizleme 1 (SC-1) (Organik+parçacık temizliği) prosedürü uygulandı.
5 hacim deiyonize su (DI)
1 hacim NH₄OH (%29-Kütlece)
1 hacim H₂O₂ (%30)

karişımı içinde ve ultrasonik banyoda, Si yapraklar, 75-80 °C' de 10 dakika boyunca temizlendi.

SC-1 prosedürü silisyum yüzeyi üzerindeki organik ve ağır metallerin oksitlendirilmesini sağlarken, SC-2 prosedürü ise bunlarla beraber kalan inorganik kirliliklerin temizlenmesini sağlar. Bu aşama silisyum yüzeyinde ince bir oksit tabakasının (yaklaşık 10-20 Å) oluşmasına ve SC-2 de temizlenecek olan belirli derecede bir metalik kirlenmeye sebep olabilmektedir.

4. Yüzey oksit temizliği yapıldı.

SC-1 aşamasında silisyum yüzeyinde oluşan ince oksit tabakasının kaldırılması için yaklaşık 15 saniye boyunca 25 °C de 1:50 sulu HF çözeltisine daldırma işlemi uygulandı.

5. RCA standart temizleme 2 (SC-2) (İyonik temizlik) prosedürü uygulandı.

6 hacim deiyonize su (DI)

1 hacim HCl (%27-Kütlece)

1 hacim H₂O₂ (%30)

karışımı içinde ve ultrasonik banyoda, Si yapraklar, 75-80 °C' de 10 dakika boyunca temizlendi. Bu işlem, bazıları SC-1 temizleme adımında ortaya çıkan metalik (iyonik) kalıntıları etkili bir şekilde gidermektedir.

6. Durulama ve kurutma işlemi yapıldı.

Son olarak Si yapraklar deiyonize suda ultrasonik olarak 10 dakika temizlendi ve kristal yüzeyde oksitlenme olasılığını önlemek için kuru azot (N₂) ile kurutulduktan hemen sonra vakum ortamına alındı.

3.2.2. Omik Kontağın Oluşturulması

MS ve MPS yapı hazırlanırken omik ve doğrultucu kontağın oluşturulması için NVBJ-300TH model yüksek vakumlu metal buharlaştırma sistemi kullanıldı. MS ve MPS yapıyı hazırlamak için kullanılan metal buharlaştırma sistemi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan metal buharlaştırma cihazı.

Kullanılan malzemeler ile ince metal maskeler ultrasonik banyoda çeşitli kimyasallarla temizlenmiştir. Bu temizlik, karbontetraklorür (CCl₄), trikloretilen (C₂HCl₃) ve aseton (C₃H₆O) içerisinde 5 dakikalık süreler ile yapıldıktan sonra deiyonize su ile yıkanmıştır. Omik kontağı oluşturmak için yukarıdaki aşamalar ile temizlenen yarıiletken maske üzerine yerleştirilmiştir. Vakum yaklaşık 10⁻⁶ Torr civarında iken, flaman üzerinden akım geçirilerek %99,99'lük saflığa sahip gümüş (Ag) metal parçacıkları buharlaştırılmıştır. Buharlaşmanın başlamasından bir süre sonra kesici kapak (metal perde) yan tarafa çekilerek, silisyumun mat yüzeyine yaklaşık 250 nm kalınlıkta Ag kaplanmıştır.

Daha düşük dirençli bir omik kontak sağlayabilmek için, Ag kaplı yüzey vakum ortamında 350 °C'de 30 dakika boyunca tavlannıştır. Omik kontaklı bu Si yarıiletkenlerden bir kısmı Au/n-Si (MS) ve bir kısmı da Au/PLilPCLPtBA/n-Si (MPS) diyot oluşturmak için kullanıldı.

3.2.3. Polimer Tabakanın Oluşturulması

Polimer nanofiber tabakalar birçok yöntemle hazırlanabilir. Polimer nanofiber tabaka üretimi için en etkin yöntemlerden biri elektrospinning yöntemidir. İlk olarak 1934'te kullanılan elektrospinning, 60 yıldan fazla bir süredir nanofiberlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. 1980'lerden ve özellikle son yıllarda, elektrospinning süreci daha fazla ilgi görmüştür. Nanoteknolojiye olan ilgi çekicidir, çünkü ultra-ince fiberler mikron-nanometre aralığındaki çeşitli polimerlerin lifli yapıları bu işlem kullanılarak kolayca üretilebilir [60].

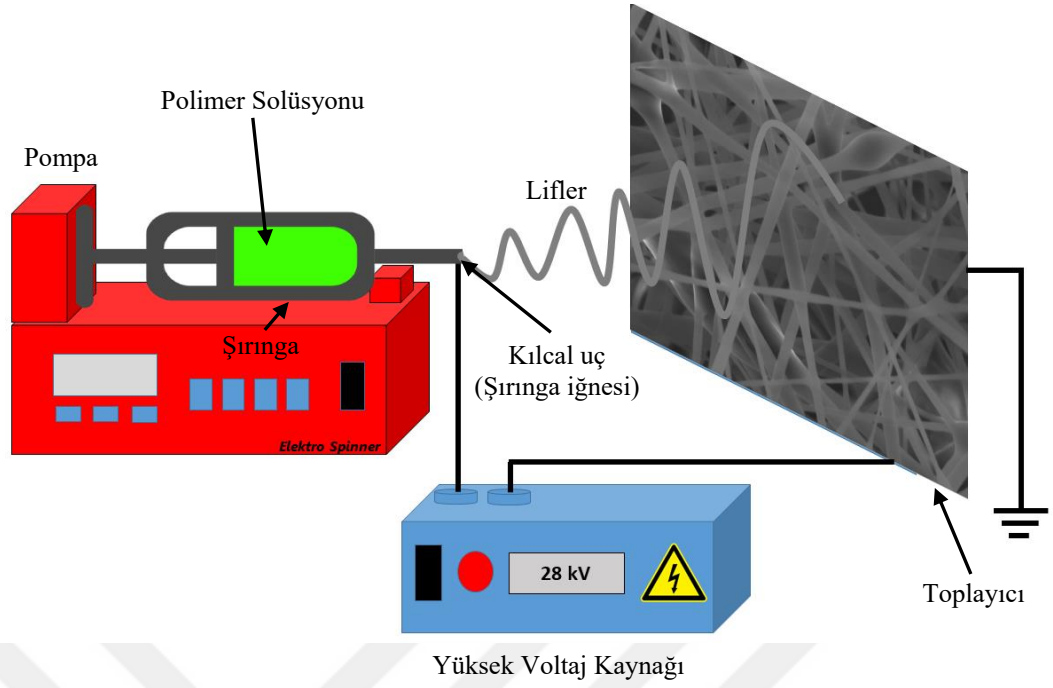
Bu çalışmada PLilPCLPtBA nanofiber tabakası elektrospinning cihazı Şekil 3.2'de ve elektrospinning yöntemi kullanılarak oluşturuldu.



Şekil 3.2. Elektrospinning cihazı.

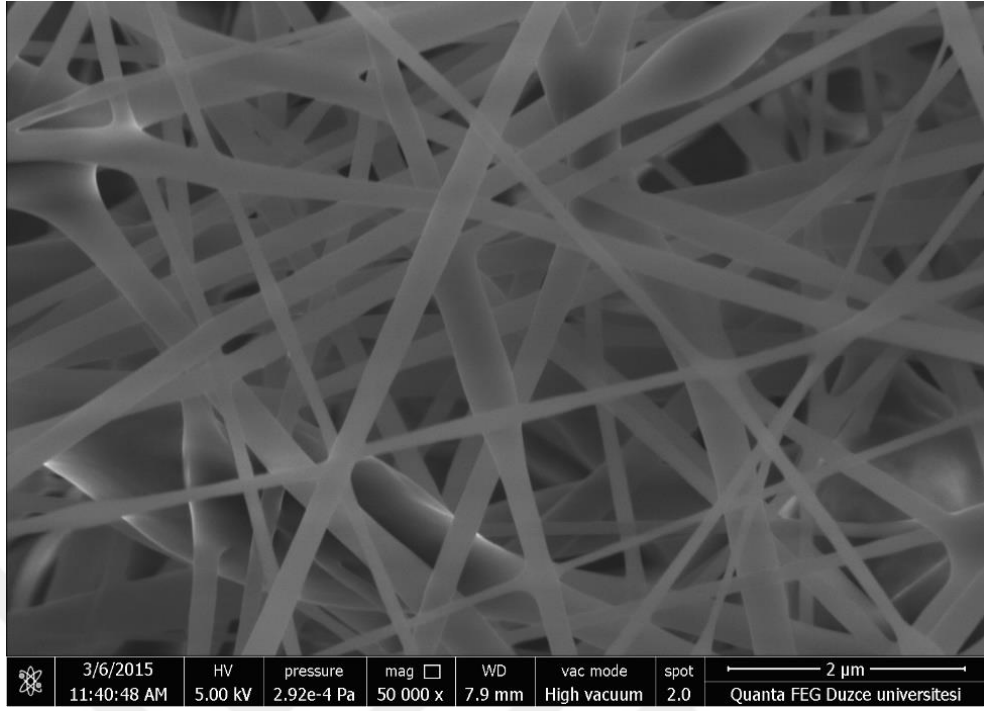
Elektrospinning yöntemi, elektrik alan kuvvetleri yardımıyla polimerden nano boyutta lif oluşumunu sağlar. Şekil 3.3'de gösterilen basit bir elektrospinning sisteminin ana parçaları şunlardır:

1. Yüksek voltaj güç kaynağı,
2. Pompa
3. Metal plaka.



Şekil 3.3. Elektrospring sisteminin temel mekanizması.

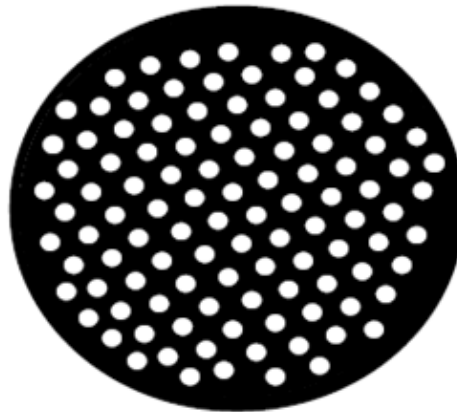
MPS diyotu oluşturmak üzere, arka yüzeyi gümüş kaplı yarıiletkenlerden bir parça üzerine, PLiPCLPtBA nano fiber tabaka bir elektrospring cihazı yardımıyla kaplandı. PLiPCLPtBA graft kopolimeri Si yüzeyi üzerine bir nanofiber tabaka olarak kaplamak üzere, bu polimer dimetil formamid (DMF) içinde çözülerek %10'luk polimer çözeltisi hazırlandı. Bu polimer çözeltisi bir şırınga içerisine konularak, şırınga iğnesi ve toplayıcı metal plaka arasında uygulanan yüksek gerilim altında püskürtüldü. PLiPCLPtBA çözeltisi sabit akış hızı 0,8 ml/s'de 0,8 mm iç çaplı 5 ml'lik şırınga içerisine yerleştirildi. Şırınga iğnesi ile toplayıcı ekran arası uzaklık 15 cm'ye ayarlanarak uç ile toplayıcı metal plaka arasında 28 kV gerilim uygulandı. Belirli bir süre sonra sistem kapatılarak kaplama işlemi tamamlandı. Yüzey üzerine kaplanan polimer liflerin morfolojik yapısı Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (DÜBİT) bulunan bir Taramalı Elektron Mikroskobu (FEI Quanta FEG 250) yardımıyla incelendi. Elde edilen polimer liflerin ortalama çaplarının yaklaşık 200 nm boyutunda olduğu Şekil 3.4'deki SEM resminden de anlaşılmaktadır.



Şekil 3.4. PLinl-g-PCL-g-PtBA (PLilPCLPtBA) graft kopolimer kaplanan yüzeyin elektron mikroskobu görüntüsü.

3.2.4. Doğrultucu Kontakın Oluşturulması

Omik kontak oluşturulduktan sonra Si yapraklardan birinin ön yüzeyine elektrospinning yöntemi kullanılarak PLilPCLPtBA arayüzey tabakası oluşturuldu. Daha sonra MS ve MPS yapılarını oluşturmak için altın (Au) doğrultucu kontaklar, omik kontak oluşumuna benzer şekilde yüksek saflıktaki altının (%99.99 Au) yarıiletken (MS için) ve polimer kaplı yarıiletken (MPS için) üzerine kaplandı. Kaplama işleminde 1 mm yarıçaplı dairesel deliklere sahip Şekil 3.5'deki gibi bir maske kullanıldı.



Şekil 3.5. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske.

MS ve MPS yapıları oluşturmak üzere yarıiletkenlerin parlak ve polimer kaplı yüzeyleri aşağı gelecek şekilde yerleştirildi. Flaman üzerine konulan kimyasal olarak temizlenmiş Au metal parçaları yaklaşık 10^{-6} Torr vakumda buharlaştırılarak yaklaşık 2500 Å kalınlığında altın kaplanması sağlandı. Böylece doğrultucu kantağın da oluşturulmasıyla Au/PLiPCLPtBA/n-Si şeklindeki Şekil 3.6'daki MPS yapı elde edilmiş oldu.



Şekil 3.6. Laboratuvar ortamında elde edilen benzer MPS yapının şematik gösterimi.

3.3. KULLANILAN ÖLÇÜM VE KARAKTERİZASYON DÜZENEKLERİ

Bu çalışmada kullanılan maddelerin oluşturulması ve elektriksel karakterizasyonları, Düzce Üniversitesi Fizik Laboratuvarları, Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) Laboratuvarlarında bulunan cihazlarla yapılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı bu cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

3.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (FEGSEM)

Yüzey morfolojisi Şekil 3.7'deki FEI Quanta FEG 250 model SEM cihazı ile incelenmiştir.



Şekil 3.7. Quanta FEG 250 model SEM cihazı.

3.3.2. Keithley 2400 Akım-Gerilim Kaynağı

Oluşturulan Au/n-Si (MS) ve Au/PLiPCLPtBA/n-Si (MPS) diyotların I-V ölçümleri Şekil 3.8'deki Keithley 2400 akım-gerilim kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8. Keithley 2400 Akım-Gerilim Kaynağı.

3.3.3. Işık Kaynakları

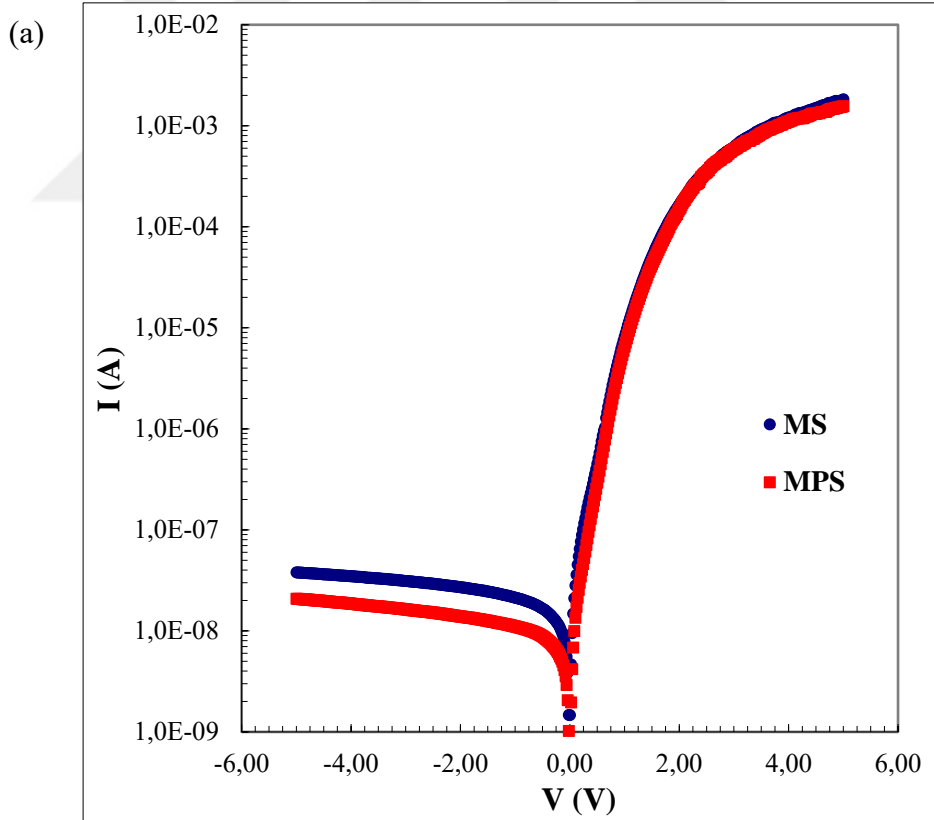
Işık kaynağı olarak halojen ve Omron ZUV-C20H Mor Ötesi (UV-365 nm) kaynaklar kullanılarak, hazırlanan Au/n-Si (MS) ve Au/PLiPCLPtBA/n-Si (MPS) diyotunun, 50-250 mW/cm² aydınlatma şiddetine bağlı I-V ölçümleri gerçekleştirildi.

4. BÖLÜM

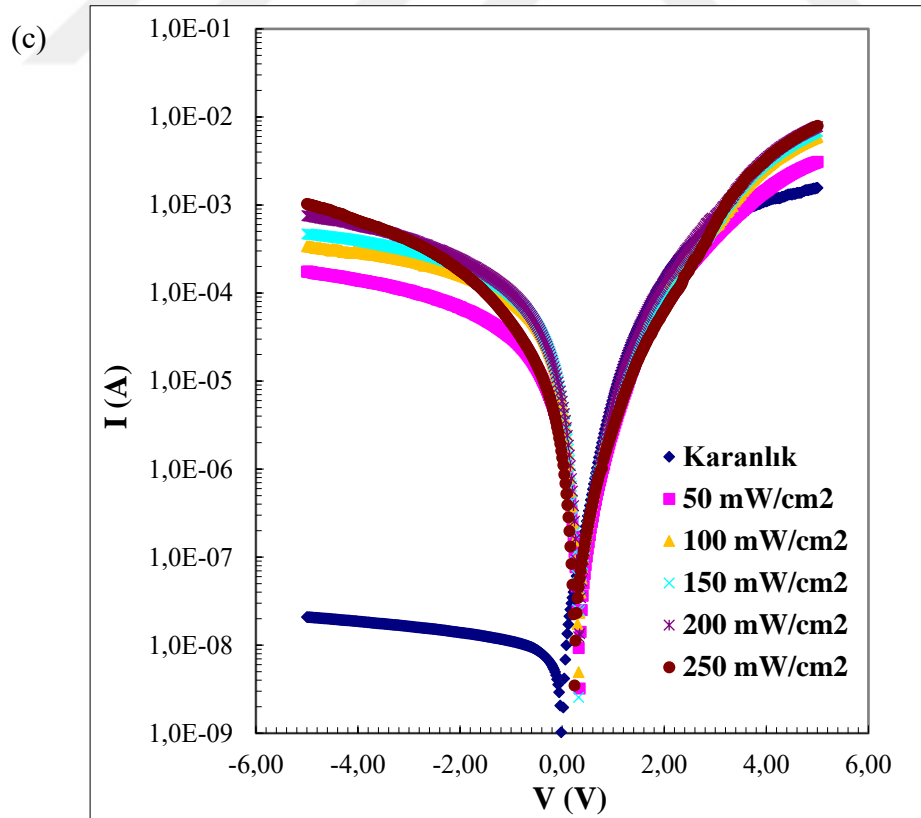
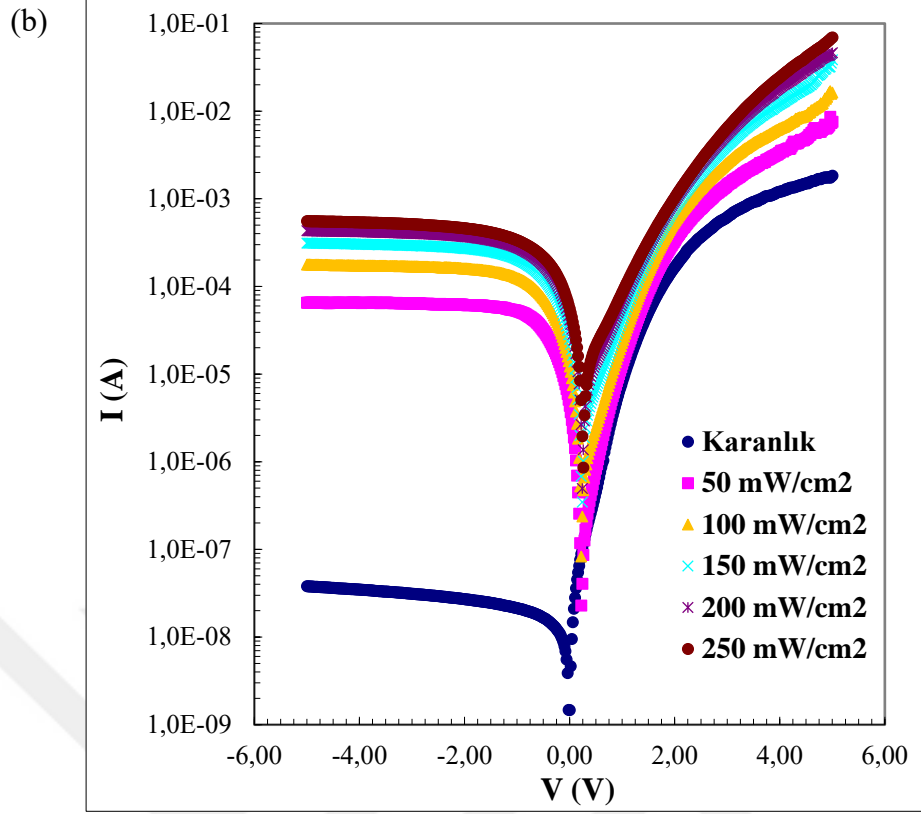
4.1. PLiPCLPtBA YAPININ GÖRÜNÜR IŞIK ALTINDAKİ AKIM-VOLTAJ KARAKTERİSTİKLERİ

Benzer şartlarda oluşturulmuş olan Au/n-Si ve Au/PLiPCLPtBA/n-Si diyotlarının doğru ve ters beslem I-V ölçümleri karanlıkta ve bir halojen lamba kullanılarak farklı aydınlatma şiddetleri için ($50\text{-}250\text{ mW/cm}^2$) için -5 ile $+5$ volt aralığında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

MS ve MPS diyotlara ait karanlık ve farklı aydınlatma şiddetlerindeki I-V grafikleri aşağıdaki Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki I-V grafikleri.



Şekil 4.1. (devam). (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki I-V grafikleri.

Şekil 4.1 (a)'da görüldüğü gibi her iki diyotta yeterli bir doğrultma oranına sahip olup, MPS diyot ($7,5 \times 10^{+4}$) MS diyota ($4,8 \times 10^{+4}$) oranla daha yüksek bir doğrultma oranına sahiptir. PLiPCLPtBA arayüzey polimer tabaka hem arayüzey durumlarını pasivize ederek hem de sızıntı akımını azaltarak daha yüksek doğrultma oranına katkıda bulunmaktadır. Şekil 4.1 (b) ve Şekil 4.1 (c)'de görüldüğü gibi aydınlatma koşulları altında her iki diyotun ters beslem doyum akımı ışık şiddetine bağlı oldukça (10^3 - 10^4) artmaktadır. Ters beslem doyum akımındaki bu artış, aydınlatma dolayısıyla oluşan elektron-deşik çiftlerinin ve yeterli enerjiyi kazanan yüklü tuzakların iletkenliğe katkısına atfedilebilir. Si bazlı diyotlarda, tükenim tabakasında oluşan elektron-deşik yoğunluğu, safsızlıklar, kusurlar ve arayüzey durumları gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle MPS diyottaki artışın MS diyota göre daha fazla olması, arayüzey pasivasyonu sonucu azalan arayüzey durum yoğunluğu ve yeniden birleşme merkezi sayısına bağlanabilir.

Bu tür yapılarda doğal süreçlerle veya istemli olarak MS arasında oluşturulan arayüzey tabakalar Schottky diyot üzerine düşen gerilimi değiştirecektir. Bu durumda Schottky diyotlar için akım voltaj ilişkisini veren termiyonik emisyon denklemi ideal durumdan farklı olarak seri direnç ve bir idealite faktörü ilavesiyle aşağıdaki gibi verilebilir [4], [24].

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

Burada I_0 , q , R_s , n , k , T sırasıyla; ters beslem doyum akım (sızıntı akımı), elementer yük, seri direnç, idealite faktörü, Boltzmann sabiti ve Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır.

Sızıntı akımı şu şekilde verilir.

$$I_0 = AA^* \exp\left(-\frac{q\Phi_{B0}}{kT}\right) \quad (4.2)$$

Burada A , A^* ve Φ_{B0} sırasıyla diyot alanı, etkin Richardson sabiti ve sıfır beslem engel yüksekliğidir.

İdeal bir Schottky diyot için $n=1$ iken, metal ile yarıiletken arasında bir doğal oksit tabakası veya polimer tabaka olduğunda diyot ideallikten sapar ve $n>1$ olur. Arayüzey tabakaların varlığı, yarıiletken yüzey yük yoğunluğunun ve yasak enerji aralığındaki arayüzey durumlarının uygulanan elektrik alanla değişimi gibi durumlar idealite faktörünün 1'den büyük olmasına sebep olmaktadır.

Denklemden görüldüğü üzere diyot üzerine düşen gerilim seri direncin varlığından dolayı IR_s kadar düşer. Düşük ve orta gerilim bölgelerinde IR_s terimi diyota uygulanan gerilim yanında ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Termiyonik emisyon teorisi ve I-V grafikleri kullanılarak bu diyotların temel elektriksel parametreleri elde edilebilir. Düşük ve orta

beslem bölgesinde IR_s düzeltmesi düşük akım çarpanı dolayısıyla ihmal edilebilir. Ayrıca yine bu bölgede $V \gg kT/q$ olduğundan, temel parametreleri hesaplamak için matematiksel olarak oldukça sadeleşen akım-voltaj denklemi aşağıdaki gibi verilebilir.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (4.3)$$

Bu denklem yardımıyla sızıntı akımı I_0 , LnI-V grafiğinin eksenini kestiği noktadan; idealite faktörü n ise LnI-V grafiğinin eğimi kullanılarak Denklem 4.3 yardımıyla bulunur.

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln I} \right) \quad (4.4)$$

Ayrıca elde edilen I_0 değerleri Denklem 4.2'de yerine yazılarak Φ_{Bo} değerleri elde edilebilir.

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

MS ve MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen I_0 , n ve Φ_{Bo} değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. MS ve MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri için elde edilen temel elektriksel parametreleri.

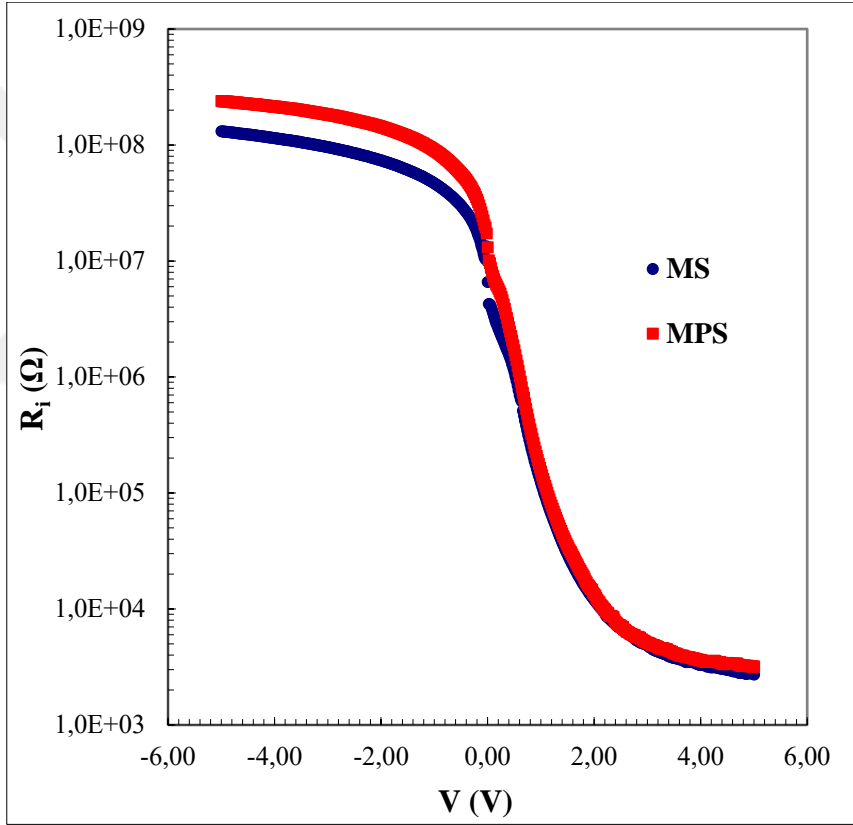
Görünür Işık		Termiyonik Emisyon			Norde	
		I_0 (nA)	Φ_{Bo} (eV)	n	Φ_B (eV)	R_s (Ω)
MS	Karanlık	6,1	0,82	2,7	0,84	$2,8 \times 10^5$
	50 mW/cm ²	44,0	0,77	4,7	0,84	$4,5 \times 10^4$
	100 mW/cm ²	100,0	0,75	5,6	0,80	$7,4 \times 10^3$
	150 mW/cm ²	320,0	0,72	5,7	0,77	$2,3 \times 10^3$
	200 mW/cm ²	670,0	0,70	5,9	0,76	$2,6 \times 10^2$
	250 mW/cm ²	1100,0	0,68	6,7	0,73	$6,5 \times 10^2$
MPS	Karanlık	1,4	0,86	1,6	0,88	$6,7 \times 10^5$
	50 mW/cm ²	1,0	0,86	4,1	0,95	$1,0 \times 10^5$
	100 mW/cm ²	1,9	0,85	4,1	0,93	$4,1 \times 10^4$
	150 mW/cm ²	2,2	0,85	4,2	0,93	$4,1 \times 10^4$
	200 mW/cm ²	2,1	0,85	4,2	0,95	$1,7 \times 10^4$
	250 mW/cm ²	2,7	0,84	4,3	0,92	$3,6 \times 10^4$

Çizelge 4.1'den görüldüğü üzere MPS için elde edilen I_0 ve n değerleri karanlık ve her bir aydınlatma şiddeti için MS diyota göre daha küçük değerlere sahip iken Φ_{Bo} değerleri daha yüksek değerlere sahiptir.

Seri direnç ve ara durum yoğunluğu Schottky diyotlar için diğer çok önemli

parametrelerdendir. Çünkü uygulanan voltaj arayüzey polimerik tabaka, tükenim tabakası ve seri direnç tarafından paylaşılır. Bu paylaşım oranı ve R_s , polimerik arayüzey tabakasının pürüzlülüğüne ve elektriksel özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle diyotların performans ve güvenilirliği seri direnç ve arayüzey durum yoğunluğu etkileri dolayısıyla arayüzey tabakasının üretim kalitesine oldukça bağlıdır.

I-V grafiklerinden R_s 'yi hesaplamak için Ohm yasası yaklaşımı, Cheung ve Cheung fonksiyonları [61] ve Norde denklemleri [62] gibi çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan bazıları diğer diyot parametrelerini hesaplamak için de bir alternatif sunar. Omik yaklaşımla ($R_i=dV_i/dI_i$) elde edilen direnç değerlerinin karanlıkta voltaja bağlı değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Omik yaklaşımla elde edilen direnç değerlerinin karanlıkta voltaja bağlı değişim grafiği.

Bu direnç değerlerinden ileri ters beslem (negatif voltaj) bölgesine karşılık gelen değerler şönt direnci (R_{sh}) olarak isimlendirilirken, ileri doğru beslem (pozitif voltaj) bölgesine karşılık gelen değerler seri direnç (R_s) olarak isimlendirilir. Şekilden direncin güçlü voltaj bağımlılığı ve arayüzey polimerin varlığına bağlılığı açıkça görülmektedir. Au/PLiPCLPtBA/n-Si yapıda arayüzey polimerin varlığı hem seri direnci hem de şönt

direncinde artışa sebep olmuştur.

Omik yaklaşım direnç için genel bir bakış verirken alternatif olarak Norde denklemleri kullanılarak R_s ve Φ_{Bo} için spesifik değerler elde edilebilir. MS ve MPS diyotlarına ait R_s ve Φ_{Bo} değerlerini tüm aydınlatma şiddetleri için elde etmek üzere pratik olarak uygulanan voltajının bir fonksiyonu olan Norde denklemleri [62] aşağıdaki gibi verilir.

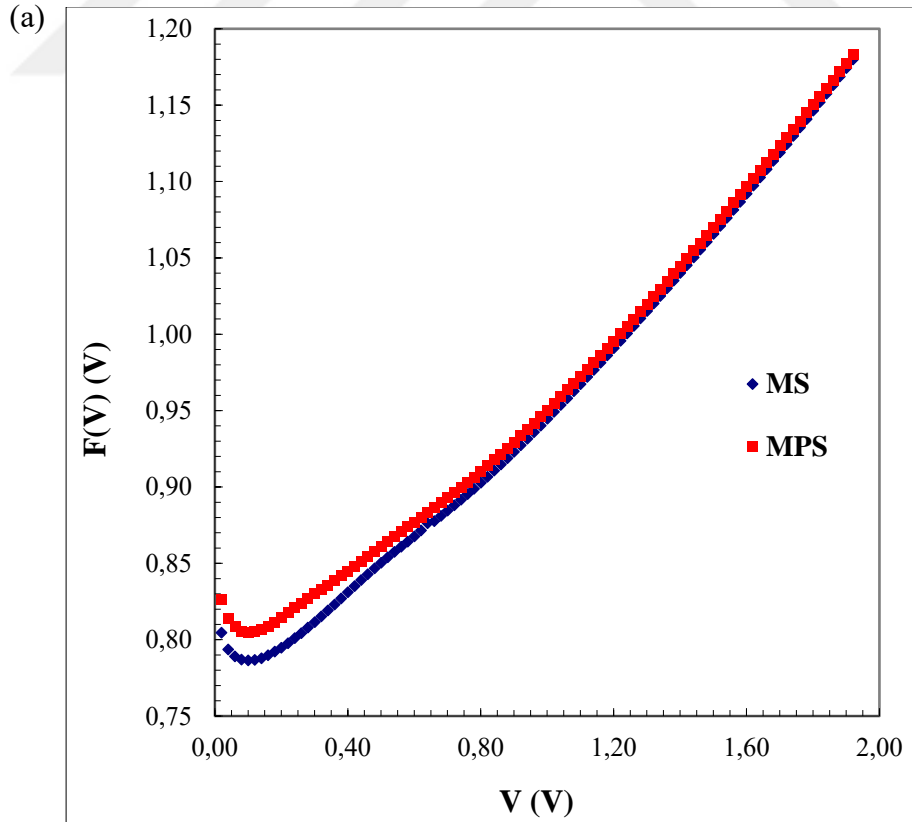
$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I(V)}{AA^*T^2}\right) \quad (4.6)$$

Burada γ ; idealite faktörü n 'den büyük tamsayıdır. Elde edilen $F(V)$ değerlerinin voltaja karşı grafiği ve aşağıdaki denklemler kullanılarak Φ_B ve R_s değerleri elde edilebilir.

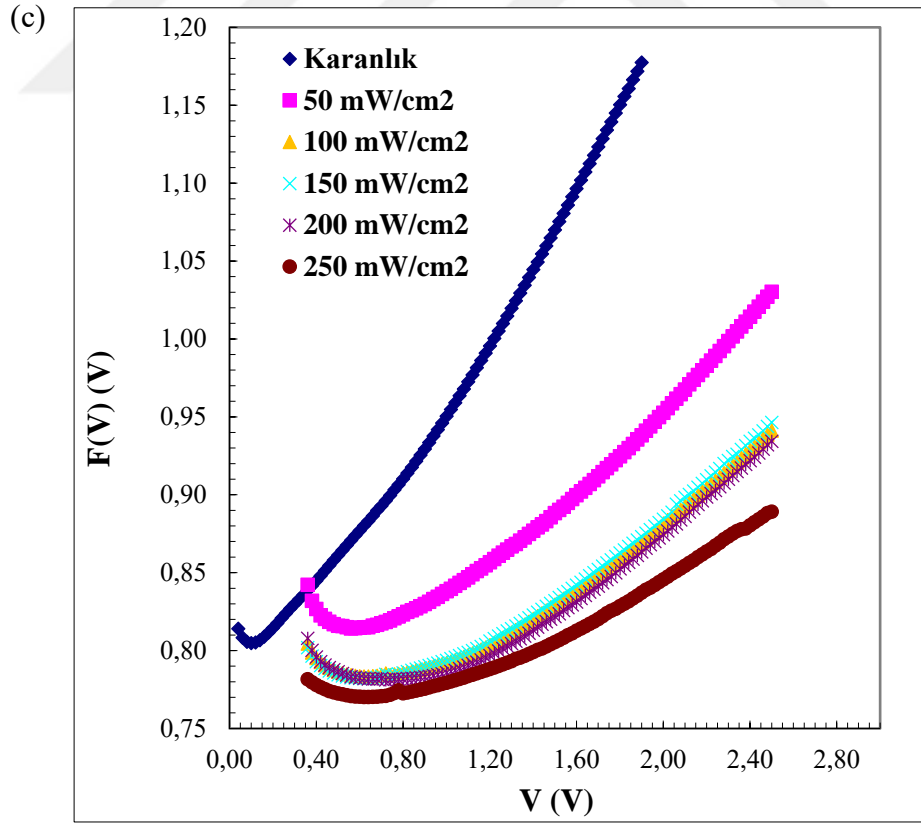
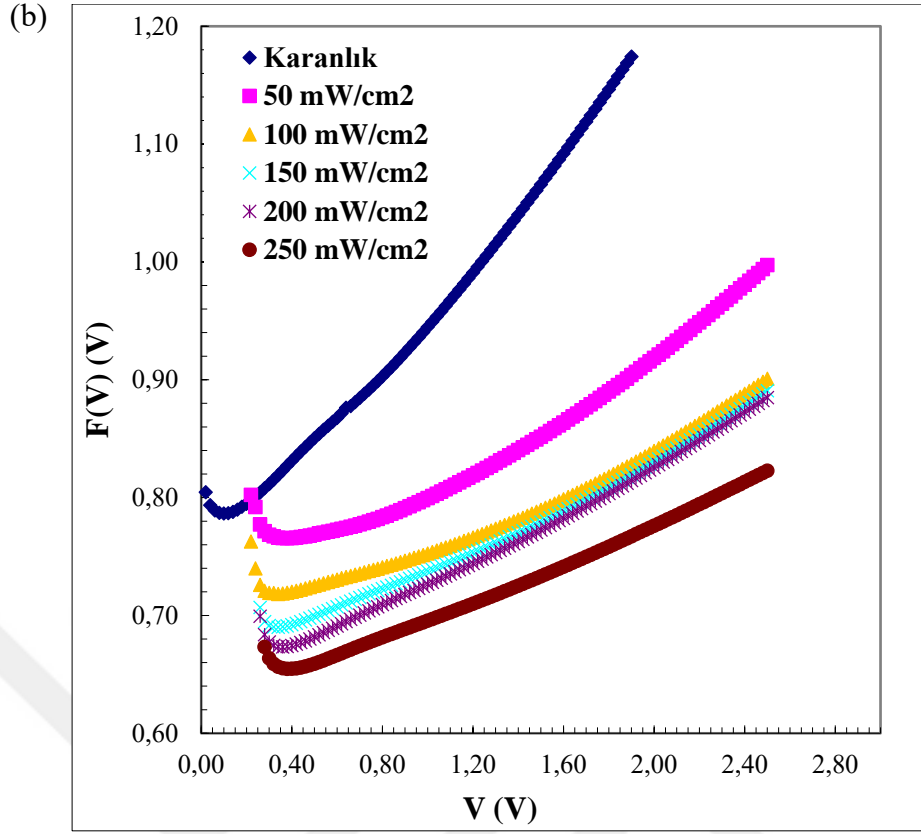
$$\Phi_b = F(V_{min}) + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.7)$$

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{q I_{min}} \quad (4.8)$$

Burada $F(V_{min})$, $F(V)$ eğrisinin minimum noktası; V_{min} ve I_{min} ise bu değere karşılık gelen voltaj ve akım değerleridir. $F(V)$ eğrileri Şekil 4.3'de gösterilmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.3. (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki $F(V)$ - V grafikleri.



Şekil 4.3. (devam). (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki $F(V)$ - V grafikleri.

Çizelge 4.1'den görüldüğü üzere; her bir aydınlatma şiddeti için MPS diyot, ilave arayüzey polimerik tabaka direnci dolayısıyla MS diyota göre daha yüksek R_s değerlerine sahiptir. Her iki diyot için Norde yöntemiyle elde edilen seri direnç değerleri omik yaklaşımla elde edilen değerlere göre daha yüksektir. Bu durum akım iletim mekanizmasının omik yaklaşımdan farklı olduğunun bir göstergesidir. MS diyotun Φ_B değerleri artan aydınlatma şiddetiyle azalırken MPS diyotun Φ_B değerleri ise karanlıktaki duruma göre daha yüksektir. Ayrıca her iki diyot için Norde yöntemiyle elde edilen engel yükseklikleri omik yaklaşımla elde edilen değerlere göre daha büyüktür. Termiyonik emisyon denklemlerinde engel yüksekliği daha düşük voltaj bölgesinde hesaplandığından seri direnç ve arayüzey etkisi ihmal edilebilir. Buna karşın Norde denklemlerinden elde edilen engel yükseklikleri göreceli olarak daha yüksek voltaj bölgesinde elde edilmiştir. Bu durum engel yüksekliğinin voltaj bağımlılığının açık bir göstergesidir.

Seri direnç dışındaki diğer etkin parametre arayüzey durum yoğunluğu olup, Card ve Rhoderick fonksiyonu [9] yardımıyla hesaplanabilir.

$$N_{SS}(V) = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right] \quad (4.9)$$

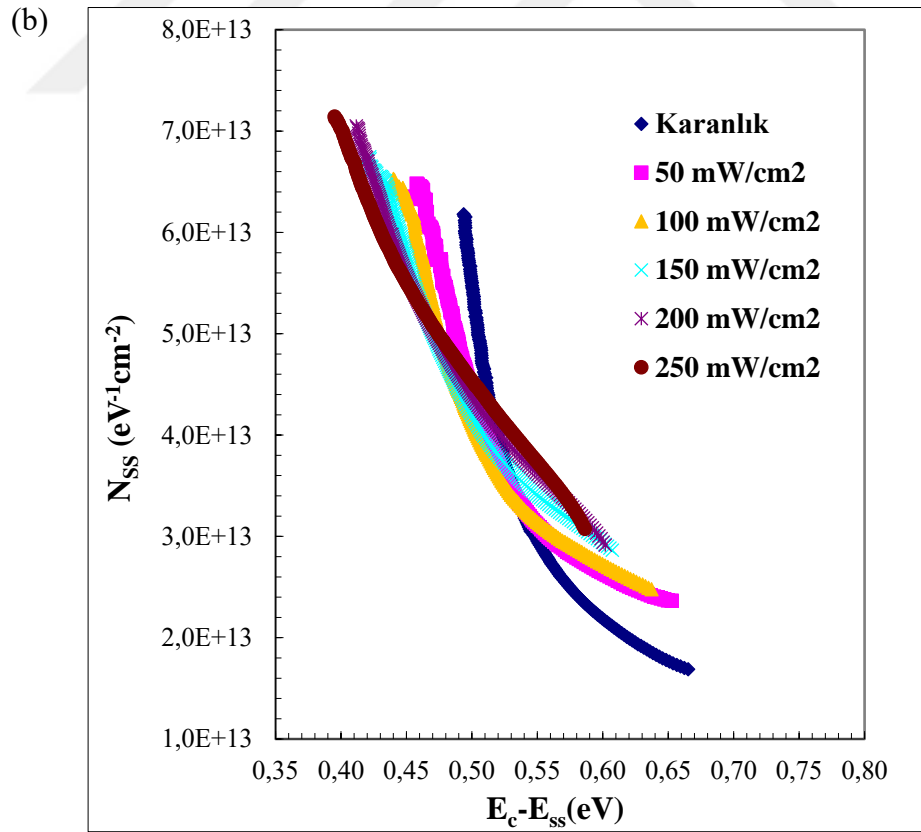
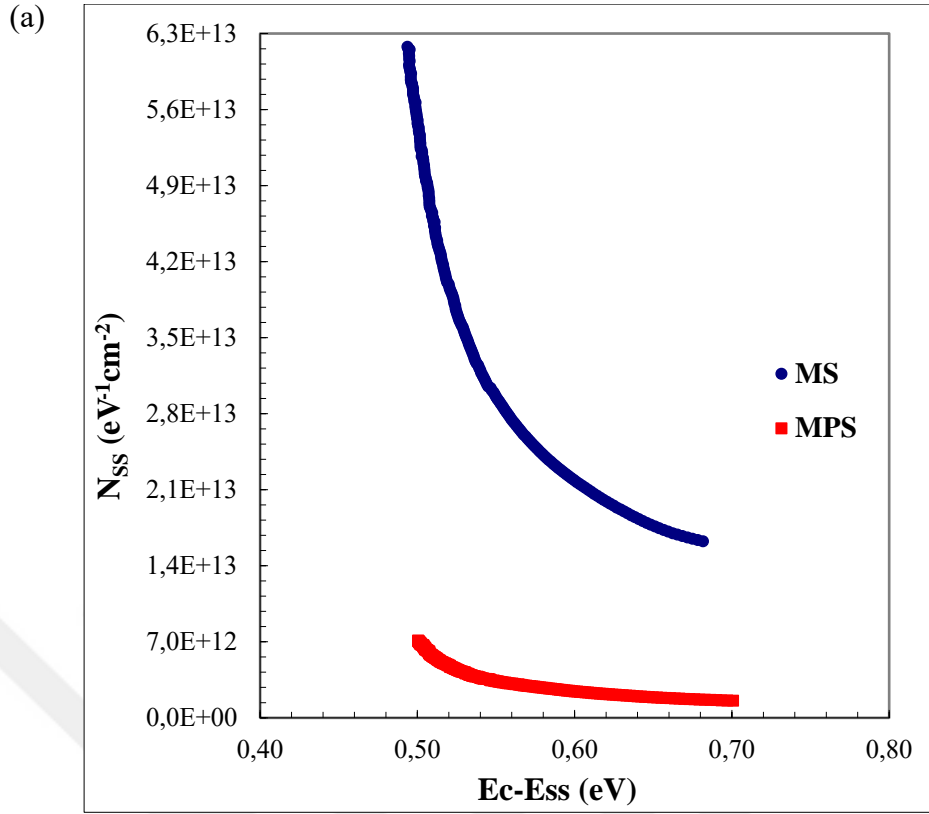
Burada δ , ϵ_i , ϵ_s ve W_D sırasıyla polimer tabakanın kalınlığı, polimer tabakanın dielektrik geçirgenliği, yarıiletkenin dielektrik geçirgenliği ve tükenim tabakasının genişliğidir.

n-tipi yarıiletkenlerde arayüzey durumlarının enerji dağılımı (E_{ss}) yarıiletken yüzeyinde iletim bandının alt kenarından itibaren aşağıdaki denklemle verilir [17], [22], [43].

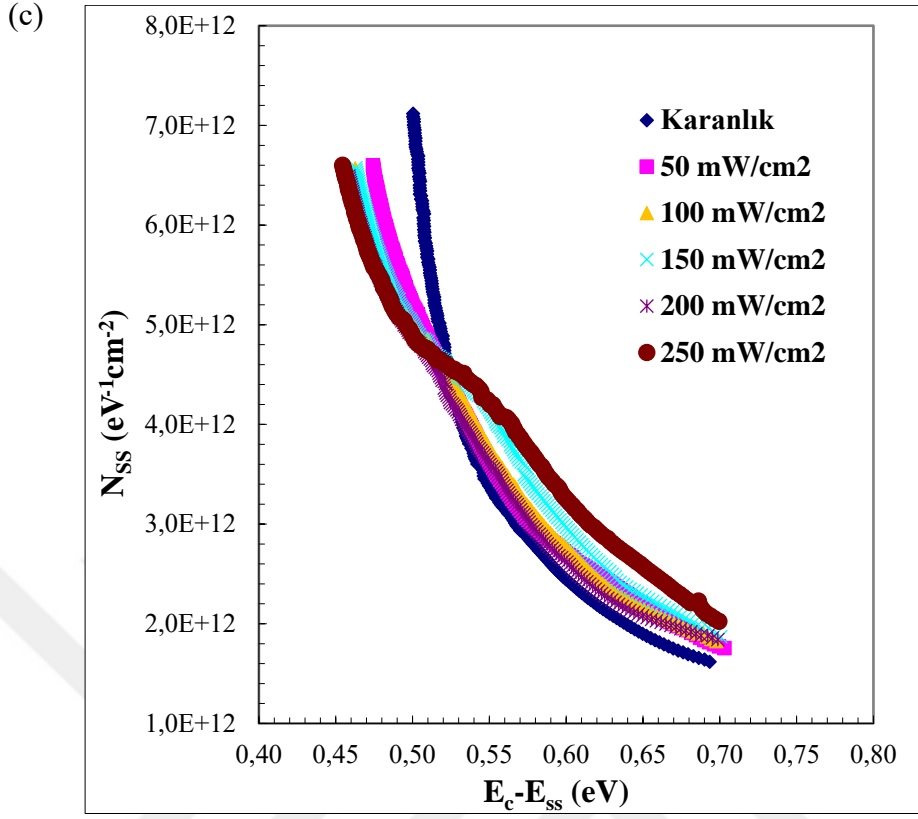
$$E_c - E_{ss} = q[\Phi_e - (V - IR_s)] \quad (4.10)$$

Burada Φ_e efektif (etkin) bariyer yüksekliği olup bir arayüzeyin varlığı seri direnç ve arayüzey durum yoğunluğundan dolayı voltaj bağımlı engel yüksekliği olarak düşünülebilir.

MS ve MPS diyotlarına ait arayüzey durum yoğunluğunun dağılım profili I-V ölçümlerinden Card ve Rhoderick denklemi yardımıyla hesaplanarak $E_c - E_{ss}$ enerjisinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafikleri.



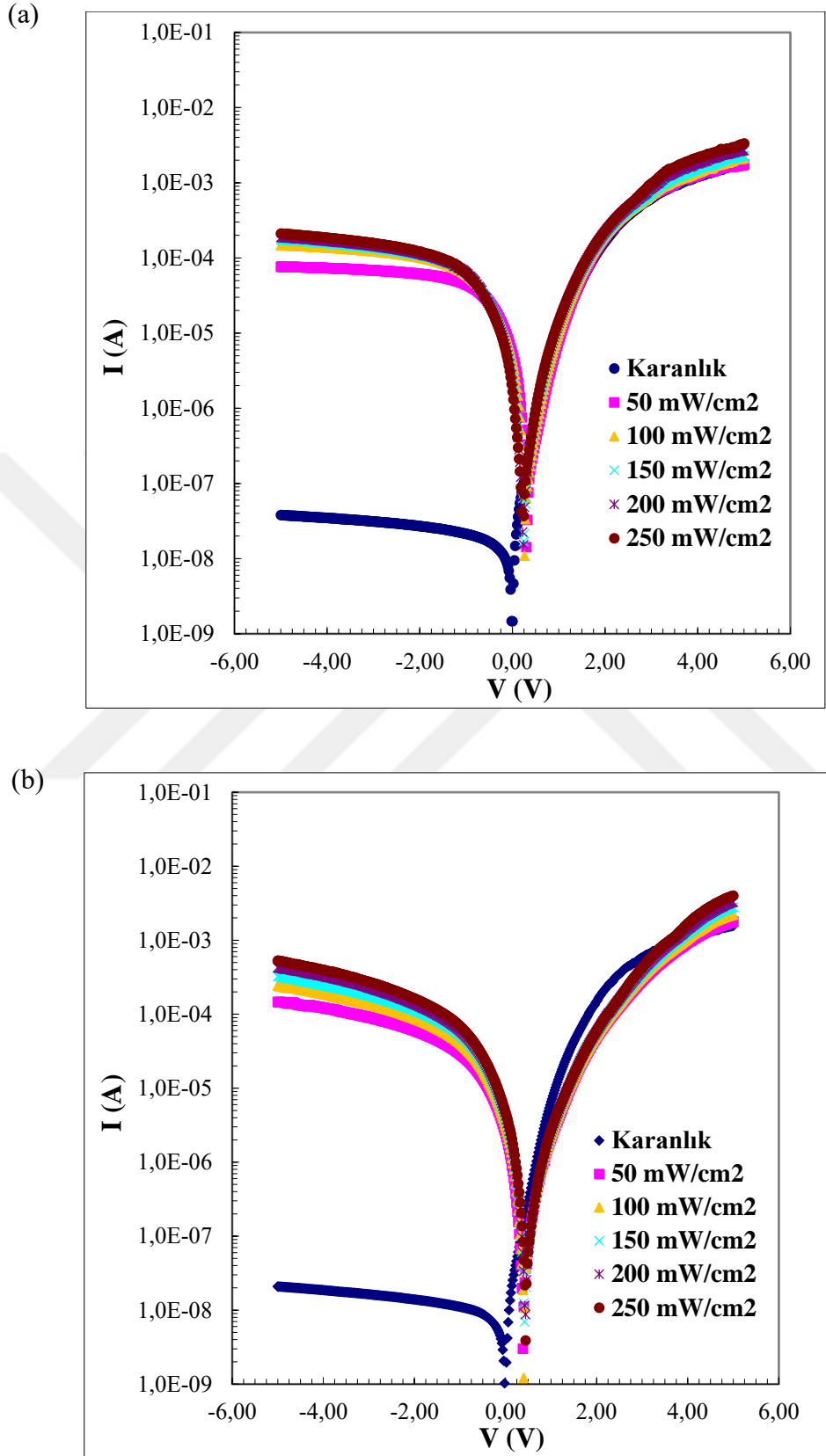
Şekil 4.4. (devam). (a) MS ve MPS diyotlarının karanlık, (b) MS ve (c) MPS diyotlarının karanlık ve farklı aydınlatma şiddeti altındaki $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafikleri.

Şekil 4.4’de görüldüğü üzere hem MS hem de MPS diyotun N_{ss} değerleri karanlık ve her bir aydınlanma şiddeti için iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru hızlıca azalmaktadır. Bu davranış arayüzey durumlarının genelde verici (dönör) tipi olduğunu ve iletim bandının kenarına yakın olduğunu göstermektedir. Arayüzey PLilPCLPtBA tabakasının Si yüzeyindeki aktif dangling bağlarını pasivize ederek, MPS yapının N_{ss} değerlerini MS yapıya göre yaklaşık 8 kat azalttığı görülmektedir. Ayrıca artan aydınlatma şiddeti sığ tuzakları azaltma ve derin tuzakları artırma eğilimindedir.

4.2. PLilPCLPtBA YAPININ UV (365 nm) IŞIK ALTINDAKİ AKIM-VOLTAJ KARAKTERİSTİKLERİ

Benzer şartlarda oluşturulmuş olan Au/n-Si ve Au/PLilPCLPtBA/n-Si diyotlarının doğru ve ters beslem I-V ölçümleri karanlıkta ve UV ışık kaynağı (365 nm) kullanılarak farklı aydınlatma şiddetleri için (50-250 mW/cm²) için -5 ile +5 volt aralığında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. MS ve MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV

aydınlama şiddetlerindeki I-V grafikleri Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. (a) MS ve (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV aydınlama şiddeti altındaki I-V grafiği.

Termiyonik emisyon teorisi ve I-V grafikleri kullanılarak MS ve MPS diyotlarının temel elektriksel parametreleri karanlıkta ve farklı UV aydınlatma şiddetleri için Denklem 4.4, Denklem 4.5 ve LnI-V grafikleri kullanılarak elde edildi. MS ve MPS diyotlarının karanlık ve farklı UV aydınlatma şiddetleri için Termiyonik emisyon teorisinden elde edilen I_o , n ve Φ_{Bo} değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2’den görüldüğü üzere MPS için elde edilen I_o değerleri karanlık ve her bir UV aydınlatma şiddeti için MS diyota göre daha küçük iken Φ_{Bo} değerleri daha yüksektir. MPS diyot için elde edilen n değerleri ise her bir UV aydınlatma şiddeti için MS diyota göre daha büyük değerlere sahiptir.

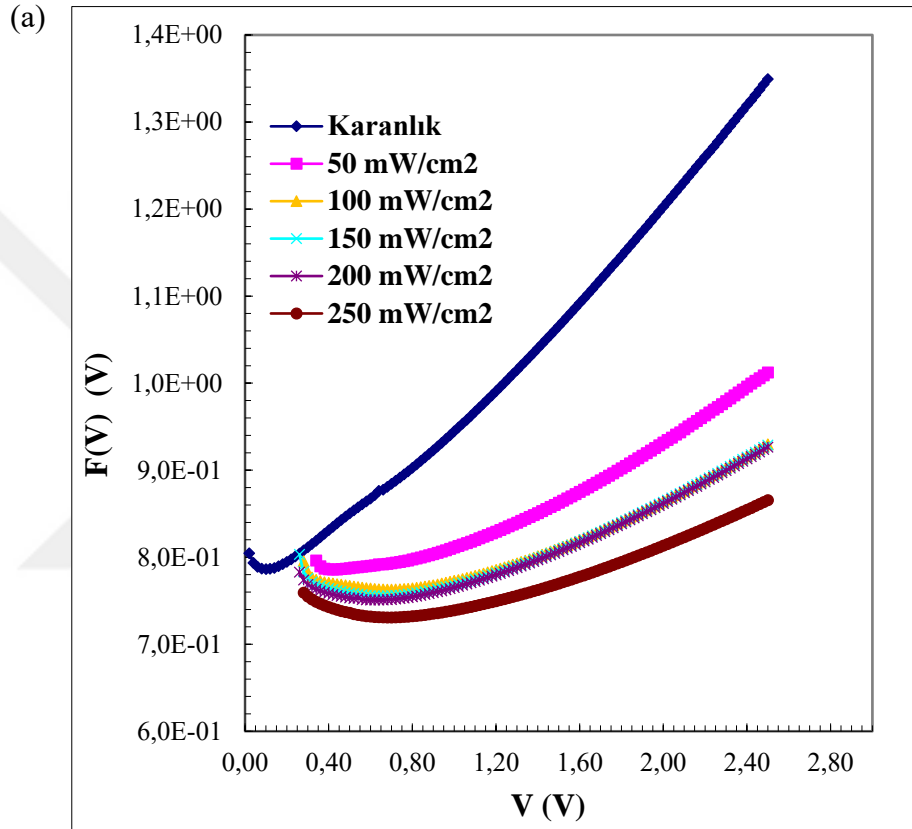
Çizelge 4.2. MS ve MPS diyotlarının karanlık ve farklı UV aydınlatma şiddeti için elde edilen temel elektriksel parametreleri.

UV (365 nm) Işık		Termiyonik Emisyon			Norde	
		I_o (nA)	Φ_{Bo} (eV)	n	Φ_B (eV)	R_s (Ω)
MS	Karanlık	6,1	0,82	2,7	0,84	$2,8 \times 10^5$
	50 mW/cm ²	5,5	0,82	4,5	0,90	$4,4 \times 10^4$
	100 mW/cm ²	6,6	0,82	4,6	0,92	$8,7 \times 10^3$
	150 mW/cm ²	9,2	0,81	4,6	0,91	$3,3 \times 10^3$
	200 mW/cm ²	12,0	0,80	4,7	0,90	$1,0 \times 10^3$
	250 mW/cm ²	17,0	0,79	4,8	0,89	$3,8 \times 10^2$
MPS	Karanlık	1,4	0,86	1,6	0,88	$6,7 \times 10^5$
	50 mW/cm ²	1,4	0,86	4,7	0,98	$2,7 \times 10^4$
	100 mW/cm ²	1,5	0,86	4,8	0,97	$9,4 \times 10^3$
	150 mW/cm ²	1,6	0,85	4,8	0,97	$8,2 \times 10^3$
	200 mW/cm ²	1,8	0,85	5,0	0,97	$1,6 \times 10^3$
	250 mW/cm ²	2,3	0,84	5,1	0,94	$2,0 \times 10^4$

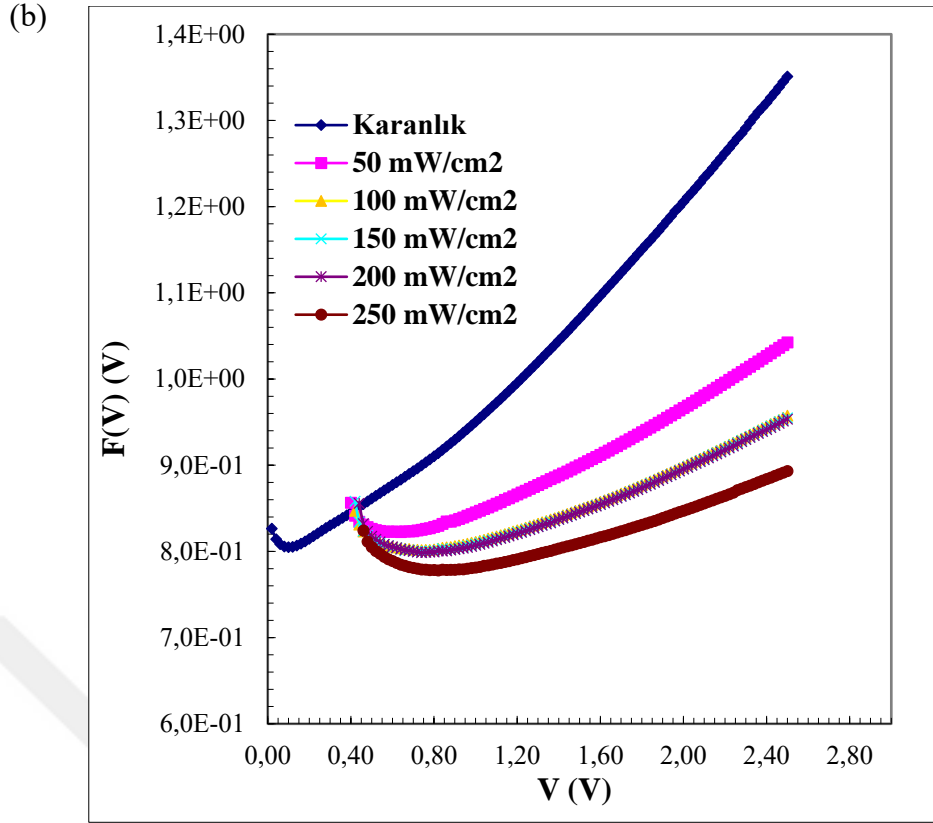
MS ve MPS diyot için omik yaklaşımla ($R_i = dV_i/dI_i$) elde edilen direnç değerlerinin karanlıkta voltaja bağlı değişimi bir önceki bölümde verilmişti. Omik yaklaşım direnç için genel bir bakış verirken alternatif olarak Norde denklemleri ($F(V)$) kullanılarak R_s ve Φ_{Bo} için spesifik değerler elde edilebilir. $F(V)$ eğrileri Şekil 4.6’da gösterilmiş ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2’den görüldüğü üzere; her bir aydınlatma şiddeti için MPS diyot, ilave arayüzey polimerik tabaka direnci dolayısıyla MS diyota göre genel olarak daha yüksek R_s değerlerine sahiptir. MS ve MPS diyotun Φ_B değerleri her bir aydınlatma şiddeti için

karanlık durumdakine göre daha yüksektir. Ayrıca her iki diyot için Norde yöntemiyle elde edilen engel yükseklikleri omik yaklaşımla elde edilen değerlere göre daha büyüktür. Termiyonik emisyon denklemlerinde engel yüksekliği daha düşük voltaj bölgesinde hesaplandığından seri direnç ve arayüzey etkisi ihmal edilebilir. Buna karşın Norde denklemlerinden elde edilen engel yükseklikleri göreceli olarak daha yüksek voltaj bölgesinde elde edilmiştir. Bu durum engel yüksekliğinin voltaj bağımlılığının açık bir göstergesidir.

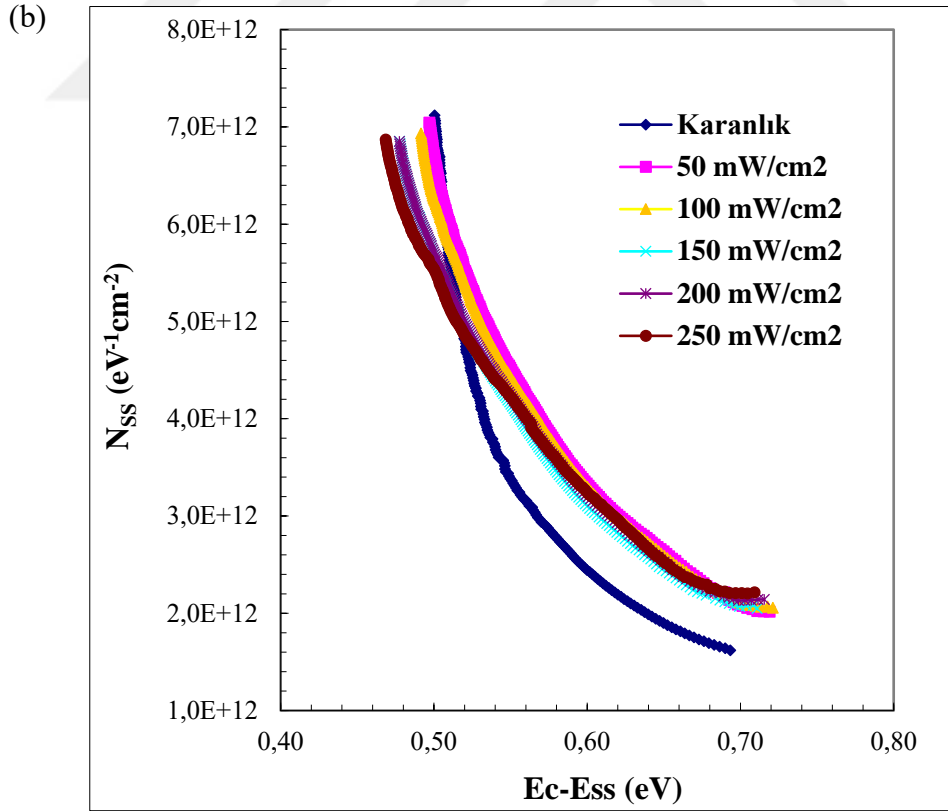
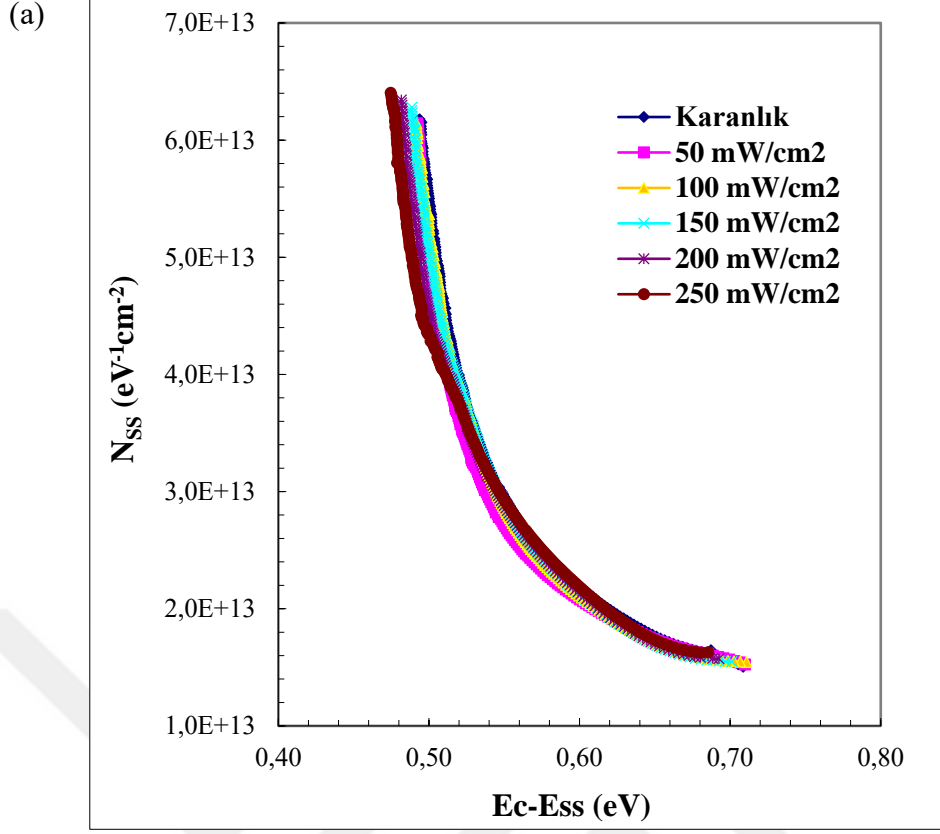


Şekil 4.6. (a) MS ve (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV ışık şiddeti altındaki F(V)-V grafikleri.



Şekil 4.6. (devam). (a) MS ve (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV ışık şiddeti altındaki $F(V)$ - V grafikleri.

MS ve MPS diyotlarına ait arayüzey durum yoğunluğunun dağılım profili I-V ölçümlerinden Card ve Rhoderick [9] denklemi yardımıyla hesaplanarak E_c-E_{ss} enerjisinin bir fonksiyonu olarak Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. (a) MS ve, (b) MPS diyotlarına ait karanlık ve farklı UV ışık şiddeti altındaki $N_{ss}-(E_c-E_{ss})$ grafikleri.

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere hem MS hem de MPS diyotun N_{ss} değerleri, karanlık ve her bir UV aydınlanma şiddeti için iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru hızlıca azalmaktadır. Bu davranış arayüzey durumlarının genelde verici (dönör) tipi olduğunu ve iletim bandının kenarına yakın olduğunu göstermektedir. Arayüzey PLiPCLPtBA tabakasının Si yüzeyindeki aktif dangling bağlarını pasivize ederek, MPS yapının N_{ss} değerlerini MS yapıya göre azalttığı görülmektedir. Ayrıca her iki diyot için artan UV aydınlatma şiddeti sığ tuzakları azaltma ve derin tuzakları artırma eğilimindedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; arayüzey polimerik tabaka olarak linolenik asit, ϵ -kaprolakton ve tersiyer bütül akrilat ihtiva eden üç bloklu Poli (linolenik asit)-g-poli (kaprolakton)-g-poli (t-bütül akrilat) (PLilPCLPtBA) graft kopolimer kullanılmıştır. Yeni sentezlenmiş olan bu polimerin elektronikte kullanılabilirliğini araştırmak ve MPS yapılarıdaki temel elektriksel parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Au/n-Si (MS) ve Au/PLilPCLPtBA/n-Si (MPS) yapılar benzer şartlarda oluşturularak, hem arayüzey polimerik tabakanın Au/n-Si (MS) Schottky diyot parametrelerine etkisi araştırılmış hem de bu diyotların bir halojen lamba ve bir UV lamba altındaki elektro-optik özellikleri incelenmiştir.

Öncelikle arayüzey PLilPCLPtBA tabakanın Au/n-Si (MS) Schottky diyot üzerindeki etkisini araştırmak için karanlıkta elde edilen deneysel I-V ölçümlerinden I_o , n , Φ_{Bo} , R_s ve N_{ss} değerleri hesaplandı. Bu hesaplamalarda Termiyonik emisyon teorisi, omik yaklaşım, Norde denklemleri ve Card ve Rhoderick denklemleri kullanıldı. Bu temel elektriksel parametrelerin arayüzey polimer tabakanın varlığından oldukça etkilendiği; PLilPCLPtBA arayüzey tabakasının hem arayüzey durumlarını pasivize ederek hem de engel yüksekliğini arttırarak daha düşük sızıntı akımına ve daha yüksek doğrultma oranına katkıda bulunduğu görülmüştür. Dolayısıyla elde edilen bu sonuçlar PLilPCLPtBA arayüzey tabakasının Au/n-Si (MS) Schottky diyot elektriksel karakteristiğini geliştirdiği söylenebilir.

Daha sonra her iki diyot görünür (halojen lamba) ve UV (365 nm) ışık altında farklı aydınlanma şiddetlerine maruz bırakılarak, bu diyotların elektriksel parametrelerinin her iki aydınlatma türü için aydınlanma şiddetine bağımlılığı araştırıldı. Her iki aydınlatma türü için temel elektriksel parametrelerin her iki yapıda (MS ve MPS) aydınlatma şiddetine bağlı olarak değişimleri elde edildi.

Termiyonik emisyon teorisinden MPS için elde edilen I_o ve n değerleri; karanlık ve her bir aydınlatma şiddeti için MS yapıya göre daha küçük değerlere sahip iken, Φ_{Bo} değerleri daha büyük değerlere sahiptir. Norde yöntemiyle; her bir aydınlatma şiddeti için MPS diyot için elde edilen seri direnç değerlerinin, ilave arayüzey polimerik tabaka direnci

dolayısıyla MS diyota göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki diyot için Norde yöntemiyle elde edilen engel yükseklikleri, engel yüksekliğinin voltaj bağımlılığından dolayı omik yaklaşımla elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu bulundu. Card ve Rhoderick denklemleriyle elde edilen N_{ss} değerleri; karanlık ve her bir aydınlanma şiddetinde her iki diyot için iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru hızlıca azaldığı görülmüştür. Arayüzey PLilPCLPtBA tabakasının Si yüzeyindeki aktif dangling bağlarını pasivize ederek, MPS diyotun N_{ss} değerlerini MS diyota göre yaklaşık 8 kat azalttığı görülmektedir. Ayrıca artan aydınlatma şiddeti sığ tuzakları azaltma ve derin tuzakları artırma eğilimindedir.

MPS için elde edilen I_o değerleri karanlık ve her bir UV aydınlatma şiddeti için MS yapıya göre daha küçük iken Φ_{Bo} değerleri daha yüksektir. MPS diyot için elde edilen n değerleri ise her bir UV aydınlatma şiddeti için MS diyota göre daha büyük değerlere sahiptir. Her bir aydınlatma şiddeti için MPS diyot, ilave arayüzey polimerik tabaka direnci dolayısıyla MS diyota göre genel olarak daha yüksek R_s değerlerine sahiptir. Her iki diyotun verici (dönör) tipteki arayüzey durumlarından dolayı hem MS hem de MPS diyotun N_{ss} değerleri, karanlık ve her bir UV aydınlanma şiddeti için iletim bandının alt kenarından yasak enerji aralığının ortasına doğru hızlıca azalmaktadır. Ayrıca her iki diyot için artan UV aydınlatma şiddeti sığ tuzakları azaltma ve derin tuzakları artırma eğilimindedir.

MS diyot için görünür bölgedeki I_o değerleri, bu bölgedeki soğurma özelliklerine uygun olarak UV ışık altındaki değerlere göre oldukça büyüktür. MPS diyot için UV ışık altındaki n ve Φ_B değerleri görünür bölgedekine göre daha büyüktür.

Deneysel sonuçlar ve yapılan hesaplamalar neticesinde PLilPCLPtBA graft kopolimerin arayüzey tabaka olarak Schottky diyot parametrelerini iyileştirdiği, doğru ve ters beslem akımını MS diyota göre daha iyi kontrol ettiği bulunmuştur.

Sonuçlara dayanarak graft kopolimerler, monomer, ana ve/veya yan zincirlerin konfigürasyonunun değiştirilebilmesi dolayısıyla diyot parametrelerini iyileştirebileceği, istenen forma dönüştürmek için geniş bir esneklik sağlayabileceğinden arayüzey tabaka için iyi bir adaydır.

6. KAYNAKLAR

- [1] A. Chelkowski, *Dielectric Physics*, 1st edition, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1980, pp. 97-105.
- [2] D. D. Oral, "Silisyum tabanlı organik-inorganik diyotların elektriksel karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2012.
- [3] H. Çulcu, "Poli (linoleik asit)-g-poli (metil metakrilat) graft kopolimerin sentezi ve elektriksel karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2015.
- [4] A. V. Ziel, *Solid State Physical Electronics*, 2nd edition, New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., 1968, pp. 75-152.
- [5] M. Soylu, "Au/n-InP ve Au/Pyronine-B/n-InP Schottky yapıların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu," Doktora tezi, Fizik Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2007.
- [6] S. Çetinkaya, "Al/ZnO/p-Si ve Au/CuO/p-Si Schottky yapıların farklı metotlarla elde edilmesi ve karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye, 2011.
- [7] M. Yıldırım, "Au/SiO₂/n-Si yapıların elektriksel parametrelerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [8] F. Boy, "Organik arayüzeyli gaas Schottky diyodların elektriksel karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2013.
- [9] H. C. Card and E. H. Rhoderick, "Studies of tunnel MOS diodes. Interface effects in silicon Schottky diodes," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 4, no. 10, pp. 1589-1601, 1971.
- [10] Y. S. Ocak, "Organik-inorganik hibrit yapıların elektriksel ve fotoelektriksel karakterizasyonu," Doktora tezi, Fizik Bölümü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2010.
- [11] M. Yıldırım, P. Durmuş and Ş. Altındal, "Analysis of temperature dependent interface states, series resistance and AC electrical conductivity of Al/p-Si and Al/Bi₄Ti₃O₁₂/p-Si structures using admittance spectroscopy method," *Chinese Physics B*, vol. 22, no. 10, 2013.
- [12] M. Saçak, *Polimer Kimyasına Giriş*, 8. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2018, böl. 1, ss. 1-26.
- [13] A. D. Kulak Taştemürlü, "İletken polimer sentezi ve karakterizasyonu," Yüksek lisans tezi, Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [14] K. Coşkun, "Kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle iletken polimerlerin sentezi ve membran uygulamaları," Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Süleyman Demirel

- Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2009.
- [15] T. H. Huang, K. C. Liu, Z. Pei, W. K. Lin and S. T. Chang, “A poly (styrene-co-methyl methacrylate)/room-temperature sputtered hafnium oxide bi-layer dielectrics as gate insulator for a low voltage organic thin-film transistors,” *Organic Electronics*, vol. 12, no. 9, pp. 1527-1532, 2013.
- [16] E. Y. Shin, H. J. Cho, S. Jung, C. Yang and Y. Y. Noh, “A high-k fluorinated P(VDF-TrFE)-g-PMMA gate dielectric for high-performance flexible field-effect transistors,” *Adv. Funct. Mater.*, vol. 28, no. 4, pp. 9, 2017.
- [17] H. Çulcu, A. Allı, S. Allı and M. Gökçen, “Synthesis and characterization of poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) graft copolymer with applying in Au/PLiMMA/n-Si diode,” *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 31, pp. 639-643, 2015.
- [18] M. Yasan, M. Gökçen, A. Allı and S. Allı, “Electrical characterization of Au/poly (linoleic acid)-g-poly (methyl methacrylate) (PLiMMA)/n-Si diode in dark and under illumination,” *Current Applied Physics*, vol. 15, no. 1, pp. 14-17, 2015.
- [19] A. Allı, Y. Arı and M. Gökçen, “Novel poly (linolenic acid) graft copolymers: Synthesis, characterization and electrical properties,” *Journal of the American Oil Chemists Society*, vol. 93, pp. 895-904, 2016.
- [20] L. W. Lim, F. Aziz, F. F. Muhammed, A. Supangat and K. Sulaiman, “Electrical properties of Al/PTB7-Th/n-Si metal-polymer-semiconductor Schottky barrier diode,” *Synth. Met.*, vol. 221, pp. 169-175, 2016.
- [21] M. Gökçen, M. Yıldırım, A. Demir, A. Allı, S. Allı and B. Hazer, “UV illumination effects on electrical characteristics of metal-polymer-semiconductor diodes fabricated with new poly (propylene glycol)-b-polystyrene block copolymer,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 57, pp. 8-12, 2014.
- [22] M. Gökçen and A. Allı, “Investigation of electrical and photovoltaic properties of Au/poly (propylene glycol)-b-polystyrene/n-Si diode at various illumination intensities,” *Philosophical Magazine*, vol. 94, no. 9, pp. 925-932, 2014.
- [23] M. Gökçen, “Dielectric properties of Au/PVA (cobalt-doped)/n-Si photoconductive diodes,” *Journal of Electronic Materials*, vol. 42, no. 1, pp. 103-108, 2013.
- [24] E. H. Rhoderick, *Metal-Semiconductor Contacts*, 1st edition, Oxford, United Kingdom: University Press, 1978, pp. 45-63, 98.
- [25] Ü. Gürsel, M. Gökçen and A. Allı, “Improving effect of poly (linolenic acid)-g-poly (caprolactone)-g-poly (t-butyl acrylate) interfacial layer on Au/n-Si diodes,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 213, pp. 1-5, 2018.
- [26] Y. Arı, “Yeni graft kopolimerlerin sentezi, karakterizasyonu ve diyotlarda arayüz tabaka olarak kullanımının araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [27] S. Öztürk, “Karbazol ve trifenil amin ihtiva eden iletken polimerlerin sentezi ve güneş hücresinde kullanılması,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Kafkas Üniversitesi, Kars, Türkiye, 2016.
- [28] M. F. Khanghah, “Plazma polimerizasyonu tekniği ile elde edilen nano boyutlarda polianilin ince filmlerin, elektronik ve optik özelliklerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Nano Bilim ve Nanomühendislik Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum,

- Türkiye, 2014.
- [29] M. Gökçen, “Au/SiO₂/n-GaAs (MOY) yapıların elektrik ve dielektrik karakteristiklerinin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [30] S. M. Sze, *Semiconductor Devices Physics and Technology*, 2nd edition, New Jersey, USA: John Wiley&Sons, 2002, pp. 85-127, 250-270, 362-390.
- [31] H. Öztürk ve D. Kaya, *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*, 1. baskı, Kocaeli, Türkiye: Umuttepe Yayınları, 2013, böl. 6, ss. 64-75.
- [32] F. Urhan, “Ti/n-GaAs/In Metal/Yarıiletken/Metal kontakların numune sıcaklığına bağlı akım-voltaj ve kapasite-voltaj karakteristiklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [33] F. Ülküer, “Organik yarıiletken kullanarak üretilen Schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2014.
- [34] J. P. Colinge ve C. A. Colinge, *Yarıiletken Devre Elemanları Fiziği*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Yayınları, 2011, böl. 5, ss. 139-150.
- [35] Ş. Aydoğan, *Katıhal Fiziği*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Yayınları, 2011, böl. 5, ss. 283-295.
- [36] A. Kaya, “Metal-Polimer-Yarıiletken (MPS) yapıların elektrik ve dielektrik özelliklerinin geniş frekans aralığında incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [37] T. Soğancı, “Ferrosenil ditiyofosfonat içeren iletken polimerlerin sentezi ve biyosensör uygulamalar,” Yüksek lisans tezi, Kimya Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2014.
- [38] F. Z. Pür, “Au/Si₃N₄/n-Si (MIS) yapıların akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [39] D. A. Neamen, *Semiconductor Physics and Devices*, 2nd edition, New York, USA: McGraw-Hill, 1997, pp. 420-450, 517-523.
- [40] E. H. Nicollian and J. R. Brews, *MOS Physics and Technology*, 1st edition, New York, USA: John Wiley&Sons, 1982, pp. 40-175, 222-226, 423-439.
- [41] M. Gökçen, “MOS yapılarda kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) karakteristiklerinin frekans ve radyasyona bağlı incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [42] S. K. Ghandhi, *VLSI Fabrication Principles*, 2nd edition, New York, USA: John Wiley&Sons, 1983, pp. 401-405.
- [43] H. Uslu, “Au/(Co, Zn-Katkılı) polivinil alkol/n-Si Schottky engel diyotlarının hazırlanması ve elektriksel özelliklerinin aydınlatma şiddetine bağlı incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [44] C. C. Fu, “A Review on conduction mechanisms in dielectric films,” *Advances in Materials Science and Engineering*, pp. 1-18, 2014.
- [45] A. Kaya, “HfO₂ ince filmlerin atomik katman biriktirme tekniği ile büyütülmesi ve akım-iletim mekanizmalarının incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü,

- Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, Türkiye, 2017.
- [46] H. A. Bethe, "Theory of the boundary layer of crystal rectifiers," Radiation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, United Kingdom, Rep. 43-12, 1942.
- [47] W. Schottky, "Halbleiterttheorie der sperrschicht," *Naturwissenschaften*, vol. 26, pp. 843, 1938.
- [48] C. R. Crowell and S. M. Sze, "Current transport in metal-semiconductor barriers," *Solid-State Electron*, vol. 9, pp. 1035, 1966.
- [49] C. R. Crowell and V. L. Rideout, "Normalized thermionic-field emission in metal semiconductor barriers," *Solid State Electronics*, vol. 12, no. 2, pp. 89-105, 1969.
- [50] F. A. Padovani and R. Stratton, "Field and thermionic-field emission in Schottky barriers," *Solid State Electronics*, vol. 9, no. 7, pp. 695-707, 1966.
- [51] C. Y. Chang and S. M. Sze, "Carrier transport across metal-semiconductor barriers," *Solid State Electronics*, vol. 13, no. 6, pp. 727-740, 1970.
- [52] B. L. Sharma, *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Application*, 1st edition, New York, USA: Plenum, 1984, pp. 3-50.
- [53] A. N. Saxena, "Forward current-voltage characteristic of Schottky barriers on n-type silicon," *Surface Science*, vol. 13, no. 1, pp. 151-171, 1969.
- [54] A. Deneuville, "Characterization of the interface states at a Ag/Si interface from capacitance measurements," *Journal of Applied Physics*, vol. 45, pp. 3079-8, 1974.
- [55] İ. Dökme, "Al/p-Si ve Au/n-Si Schottky diyotlarda I-V ve C-V karakteristiklerinin geniş bir sıcaklık aralığında analizi," Doktora tezi, Fizik Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [56] N. F. Mott and R. W. Gurney, *Electronic Processes in Ionic Crystals*, 2nd edition, Oxford, United Kingdom: Clarendon Press, 1948, pp. 172.
- [57] A. Allı, Y. Arı and M. Gökçen, "Novel poly (linolenic acid) graft copolymers: synthesis, characterization and electrical properties," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 93, pp. 895-904, 2016.
- [58] W. Kern and D. A. Puotinen, "RCA review," *Radio Corp. of America*, vol. 31, pp. 187-206, 1970.
- [59] W. Kern, "The evolution of silicon wafer cleaning technology," *Journal of the Electrochemical Society*. vol. 137, no. 6, pp. 1887-1892, 1990.
- [60] D. G. Yu, L. M. Zhu, K. White and C. Branford-White, "Electrospun nanofiber-based drug delivery systems," *Scientific Research.*, vol. 1, no. 2, pp. 67-75, 2009.
- [61] S. K. Cheung and N. W. Cheung, "Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 49, no. 2, pp. 85-88, 1986.
- [62] H. Norde, "A Modified Forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance," *Journal of Applied Physics*, vol. 50, no. 7, pp. 5052-5053, 1979.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ümit GÜRSEL
Doğum Tarihi ve Yeri : 1976 - Almanya/Köln
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : umitgursel@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Fen Bilimleri Ens. Fizik	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Fen Fakültesi Fizik.	Trakya Üniversitesi	1997
Lise		Akçakoca Lisesi	1993

YAYINLAR

1. Uluslararası Yayınlar:

Ü. Gürsel, M. Gökçen and A. Allı, "Improving effect of poly (linolenic acid)-g-poly (caprolactone)-g-poly (t-butyl acrylate) interfacial layer on Au/n-Si diodes," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 213, pp. 1-5, 2018.

2. Poster

M. Gökçen, Ü. Gürsel, A. Allı and S.Allı, "Studies on electrical characterization of new poly(linolenic acid)-g-poly(caprolactone)-g-poly(t-butyl acrylate) thin film", 3rd International research and practice conference NANOTECHNOLOGY and NANOMATERIALS, Lviv, Ukraine (August 26-29, 2015).

3. Projeler

Düzce Üniversitesi BAP-2014.05.02.260 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi.