



**T.C.**

**HİTİT ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANA BİLİM DALI**

**Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn (II) nikotinat/p-Si  
SCHOTTKY FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Muhammet ÜNLÜ**

**Çorum - 2025**

**Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si SCHOTTKY  
FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Muhammet ÜNLÜ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANA BİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**TEZ DANIŞMANI**

**Prof. Dr. D. Esra YILDIZ**

**Çorum-2025**



T.C.  
HİTİT ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN

**Adı ve Soyadı** : Muhammet ÜNLÜ  
**Numarası** : 220425001  
**Ana Bilim Dalı** : Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı  
**Programı** : Polimer Bilimi ve Teknolojileri  
**Danışmanı** : Prof. Dr. Dilber Esra YILDIZ  
**Tez Savunma Tarihi** : 23.05.2025 **Saati**: 11:00  
**Tez Başlığı** : Al/Ni(II) Nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) Nikotinat/p-Si Schottky Fotodiyorların elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği'nin **9. maddesi** uyarınca, yapılmış olan tez savunma sınavı sonunda adayın tezinin **KABULÜNE OY BİRLİĞİ** ile karar verilmiştir.

TEZ SAVUNMA SINAV JÜRİSİ		KARAR	
Ünvanı Adı ve Soyadı	Görevi	Kabul	Ret
Prof. Dr. Hatice KANBUR ÇAVUŞ	Jüri Başkanı	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof. Dr. Dilber Esra YILDIZ	Tez Danışmanı	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doç. Dr. İbrahim BİLİCİ	Üye	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Prof. Dr. Osman ÇUBUK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Muhammet ÜNLÜ

# Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si SCHOTTKY FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammet ÜNLÜ

ORCID: 0009-0007-1440-6019

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Mayıs 2025

## ÖZET

Yarı iletken tabanlı fotodedektörlerin üretilmesi amacıyla, Ni ve Zn merkezli nikotinat (Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat) kompleksleri kimyasal olarak sentezlendi. Sentezlenen Ni(II) ve Zn(II) nikotinatlar, ultraviyole-görünür ışık (UV- $V_{is}$ ) spektrometresi ve termogravimetrik analiz (TGA) teknikleri kullanılarak analiz edildi. Sentezlenen kompleks malzemeler, Al ve p-Si arasına döner kaplama tekniği ile kaplandı ve Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si sandviç yapıları elde edildi. Üretilen cihazların fotoelektrik karakteristikleri, karanlık ve farklı ışık şiddetleri altında fotoakım-zaman (I-t) ve akım-gerilim (I-V) ölçümleri ile analiz edildi. Yapılan ölçümler ışığında, MY/MYY diyotlar için önemli elektriksel parametreler olan seri direnç ( $R_s$ ), idealite faktörü(n) ve bariyer yüksekliği ( $\Phi_{Bo}$ ) değerleri belirlendi. Belirli algılama, duyarlılık ve fotoduyarlılık gibi çeşitli parametreler, ışık şiddetine bağlı I-t analizi kullanılarak hesaplandı. Aynı zamanda farklı dalga boylarında aydınlatma koşulları altında gerçekleştirilen I-t ölçümleriyle harici kuantum verimliliği (EQE) değerleri hesaplandı. Sonuç olarak, Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn (II) nikotinat/p-Si yapıların fotodiyot tasarımı olarak iyi bir performansa sahip olduğu ve optoelektronik teknolojilerde kullanım için geliştirilebilir olduğu belirlendi.

**Anahtar Kavramlar:** Ni (II) nikotinat, Zn (II) nikotinat, Metal-Yarı iletken yapılar, Schottky Fotodiyot

**Bilim Kodu:**91218

# THE INVESTIGATION IN ELECTRICAL PROPERTIES OF Al/Ni (II) nicotinate/p-Si ve Al/ Zn (II) nicotinate/p-Si SCHOTTKY PHOTODIODES

Muhammet ÜNLÜ

ORCID: 0009-0007-1440-6019

HITIT UNIVERSITY

Master of Science Thesis

May 2025

## ABSTRACT

In order to fabricate the semiconductor-based photodetectors, Ni and Zn-centered nicotinate complexes were synthesized chemically. The synthesized Ni and Zn-centered nicotinate (Ni-nicotinate and Zn-nicotinate) were analyzed using ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrometry and thermogravimetric analysis (TGA) techniques. The synthesized complex materials were coated between Al and p-Si by spin coating technique, and Al/Ni (II) Nicotinate/p-Si and Al/Zn (II) Nicotinate/p-Si sandwich structures were obtained. The photoelectrical characteristics of the produced devices were analyzed by photo-transient (I-t) and current-voltage (I-V) measurements under dark and different luminous power intensities. In light of the measurements made, series resistance ( $R_s$ ), ideality factor (n), and barrier height values ( $\Phi_{Bo}$ ), which are very important electrical parameters, were obtained. Various parameters such as specific detectivity, responsivity, and photosensitivity were calculated using I-t analysis based on exposed light power. Also external quantum efficiency (EQE) values were calculated with I-t measurements carried out under lighting conditions at different wavelengths. Last of all, the Al/Ni (II) Nicotinate/p-Si and Al/Zn (II) Nicotinate/p-Si structures have good performance in photodiode designs and can be developed for use in optoelectronic technologies.

**Key Terms :** Ni (II) Nicotinate, Zn (II) Nicotinate, Metal-Semiconductor structures, Schottky Photodiodes

**Science Code:**91218

## TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım boyunca her tŸrlŸ konuda yardımlarını esirgemeyen, tecrŸbeleri ve katkılarıyla beni yŸnlendiren Hitit Ÿniversitesi Fen Edebiyat FakŸltesi Fizik BŸlŸmŸ Ÿğretim Ÿyesi, danıőmanım Prof. Dr. Dilber Esra YILDIZ'a, tez çalıőmam sŸresince katkı sağlayan Prof. Dr. Dursun Ali KŸSE, Prof. Dr. Abdulkirim Karabulut ve Prof. Dr. Murat YILDIRIM'a sonsuz teőekkŸrŸ bir borç bilirim. YŸksek lisans hayatım sırasında maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen sevgili eőim Nur ŸNLŸ'ye ve biricik kızım Almıla İkra ŸNLŸ'ye gŸnŸlden teőekkŸr ederim.

Muhammet ŸNLŸ



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	vi
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
GİRİŞ.....	1

### 1. BÖLÜM

#### TEORİK BİLGİLER

1.1. Metal Yarı iletken Schottky Kontaklar .....	4
1.2. Schottky (Doğrultucu) Kontaklar .....	5
1.3. Omik Kontak.....	8
1.4. MY Schottky Kontaklarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri.....	9
1.5. MY Schottky Fotodiyotlar .....	11
1.6. Temel Fotodiyot Parametreleri.....	13
1.6.1. Fotoduyarlılık.....	13
1.6.2. Dış Kuantum Verimliliği (EQE (%)).....	13

### 2. BÖLÜM

#### DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Malzemelerin Sentezi .....	14
2.2. Fotodiyotların Üretimi.....	15
2.2.1. Kullanılan Yarı iletken .....	15
2.2.2. Yarı iletkenin Temizlenmesi .....	15

2.2.3. Omik Kontak Oluşturulması.....	16
2.2.4. Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat Filmin Oluşturulması .....	17
2.2.4.1. Kimyasal Solisyonun Hazırlanması .....	17
2.2.4.2. Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat filmin oluşturulması .....	17
2.2.5. Schottky Kontakın Oluşturulması .....	18
2.2.6. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri.....	19

### **3. BÖLÜM**

#### **DENEYSEL SONUÇLAR**

3.1. Ni(II) nikotinat $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$ ve Zn(II) nikotinat $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$ Komplekslerin Yapısal Özellikleri .....	20
3.2. Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si Diyotların Elektriksel Özellikleri..	24
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>42</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>45</b>

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 3.1.</b> Metal – Nikotinat merkezli ligandların Termal analiz verileri .....	<b>21</b>
<b>Tablo 3.2.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si diyotlar için ışık şiddetine (0-100 mW/cm <sup>2</sup> ) bağlı olarak hesaplanan idealite faktörü, seri direnç, sıfır beslem bariyer yüksekliği ve doğrultma oranı gibi temel elektriksel parametreler .....	<b>27</b>
<b>Tablo 3.3.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların Ri-V grafiğinden elde edilen Rsh ve Rs değerleri .....	<b>32</b>
<b>Tablo 3.4.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si fotodiyotların ışık şiddeti yoğunluğuna bağlı temel fotodiyot parametreleri .....	<b>38</b>
<b>Tablo 3.5.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si fotodiyotların farklı dalga boyuna bağlı temel fotodiyot parametreleri .....	<b>41</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. MY Schottky diyotun şematik gösterimi.....	5
Şekil 1.2. Metal/ n-tipi MY kontak için $\phi_m > \phi_S$ durumunda enerji – bant diyagramları .....	6
Şekil 1.3. Metal/ n- tipi Y doğrultucu kontak enerji bant diyagramları .....	8
Şekil 1.4. $\phi_m < \phi_S$ durumunda metal n-tipi omik kontağa ait enerji bant diyagramı .....	9
Şekil 1.5. Bir Schottky fotodiyotun ışık altındaki enerji-band diagramı.....	11
Şekil 1.6. MY Schottky fotodiyotun yapısı.....	12
Şekil 2.1. Metal katyon-nikotinat tuzlarının sentez reaksiyon şeması.....	14
Şekil 2.2. Sentez aşamasında Ni(II) ve Zn(II) metal katyon merkezli nikotinat / N, N-dietilnikotinamid karışık ligand kompleksinin reaksiyon şeması .....	15
Şekil 2.3. Omik kontak oluşturulurken kullanılan maske .....	16
Şekil 2.4. Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat filmlerin döner (spin) kaplama tekniği ile P-Si/Al yapı üzerine oluşturulması .....	17
Şekil 2.5. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske .....	18
Şekil 2.6. Omik ve doğrultucu kontakın oluşturulduğu glowbox sistemi .....	18
Şekil 2.7. Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn (II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların şematik gösterimi .....	19
Şekil 2.8. Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn (II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların fotoelektrik ölçümlerinin yapıldığı Fytronix FY-7000 cihazı.....	19
Şekil 3.1. Ni(II) nikotinat $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$ kompleks ve Zn(II) nikotinat $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$ kompleks için TG-DTG ve DTA grafikleri .....	21
Şekil 3.2. Ni(II) nikotinat kompleksi ve Zn(II) nikotinat kompleksinin UV- görünür bölge spektrometre grafikleri.....	22
Şekil 3.3. Ni(II) nikotinat kompleksi ve Zn(II) nikotinat kompleksinin I-V karakteristikleri. 24	
Şekil 3.4. Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların ışık şiddetine bağlı n ve $\Phi_{Bo}$ değerleri değişimi .....	28

<b>Şekil 3.5.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların karanlık I-V verilerinden elde edilen Cheung fonksiyonu grafikleri.....	<b>30</b>
<b>Şekil 3.6.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların karanlık I-V verilerinden elde edilen Ri-V grafikleri.....	<b>33</b>
<b>Şekil 3.7.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların $\ln(I_{ph})-\ln(I)$ grafiği .....	<b>34</b>
<b>Şekil 3.8.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotina /p-Si diyotların $I_{ph} - T$ grafiği.....	<b>35</b>
<b>Şekil 3.9.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si fotodiyotların farklı dalga boylarında ışığa maruz bırakılmasıyla elde edilen $I_{ph}-t$ grafiği.....	<b>37</b>
<b>Şekil 3.10.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat /p-Si fotodiyotların ışık şiddetine bağlı R ve $D^*$ değişimi grafiği.....	<b>39</b>
<b>Şekil 3.11.</b> Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların dış kuantum verimlilik (EQE) profilleri .....	<b>40</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\text{\AA}$	Angstrom
$A^*$	Richardson sabiti
$A^{**}$	Etkin Richardson sabiti
$C$	Kapasitans
$C_o$	İlave kapasitans
$D_n$	Elektron difüzyon sabiti
$D_p$	Deşik difüzyon sabiti
$D_s$	Ara yüzey durum yoğunluğu
$E_g$	Yarı iletken yasak enerji aralığı
$E_c$	İletkenlik bant kenarı enerjisi
$E_v$	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
$E_f$	Fermi enerjisi
$E(x)$	Schottky bölgesindeki elektrik alan
$E_a$	Aktivasyon enerjisi
$\epsilon_o$	Boşluğun dielektrik sabiti
$\epsilon_i$	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
$\epsilon_s$	Yarı iletkenin dielektrik sabiti
Hz	Frekans birimi (Hertz)
h	Planck sabiti
I	Akım

$I_o$	Doyum akımı
$J_{SD}$	Difüzyon teorisi için akımı yoğunluğu
$J_{sm}$	Yarı iletken den metale doğru doyum akımı
$J_{ms}$	Metalden yarı iletkene doğru doyum akımı
$J_o$	Doyum akım yoğunluğu
$J_{Fn}$	Doğru beslem altında metalden yarı iletkene geçen elektron akımı
$J_{Fp}$	Doğru beslem altında metalden yarı iletkene geçen deşik akım yoğunluğu
$K$	Termodinamik sıcaklık (Kelvin)
$K$	Boltzman sabiti
$L$	Nötral bölgenin kalınlığı
$m^*$	Elektron etkin kütlesi
$m_o$	Serbest elektron kütlesi
$M$	Mega
$n(x)$	Elektron yoğunluğu
$p(x)$	Deşik yoğunluğu
$n$	İdealite faktörü
$n_o$	İdealite faktörünün sıcaklık sabiti
$n_i$	Saf elektron yoğunluğu
$Q_m$	Metal üzerindeki yük

$Q_{ox}$	Oksit tabaka yükü
$p_o$	Tüketim tabakası kenarında deşiklerin denge konsantrasyonu
$q$	Elektrik yükü
$R_s$	Seri direnç
Si	Silisyum
T	Mutlak sıcaklık
$T_o$	İdealite faktörünün sıcaklıkla değişim katsayısı
V	Gerilim
$V_d$	Difüzyon gerilimi
$V_F$	Doğru beslem
$u_r$	Yeniden birleşme (rekombinasyon) hızı
$V_R$	Ters beslem
$V_y$	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
$V_{yi}$	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
$W_d$	Tüketim tabakasının kalınlığı
$u_x$	Taşıyıcı hızı
$\Phi_o$	Nötral seviye
$\Phi_B$	Gerilim engel yüksekliği
$\Phi_{Bo}$	Sıfır beslem gerilim engel yüksekliği
$\Phi_s$	Yarı iletkenin iş fonksiyonu
$\Phi_m$	Metalin iş fonksiyonu
$\Phi_{Bn}$	n-tipi yarı iletken için gerilim engel yüksekliği

$\Phi_{Bp}$	p-tipi yarı iletken için gerilim engel yüksekliği
$\Phi_e$	Etkin gerilim engel yüksekliği
$\Phi_n$	n-tipi bir yarı iletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı
$\delta$	Yalıtkan tabaka kalınlığı
$\Omega$	Ohm
$\rho$	Özdirenç
$\chi_s$	Elektron yakınlığı
$\Pi$	pi sayısı
$\tau_o$	Azınlık taşıyıcı ömrü
$\psi_s$	Ara yüzeydeki bant gerilimi
$T$	Ara yüzey tuzaklarının ömrü
$\Psi_s$	Yüzey gerilimi

### Kısaltmalar

AE	Alan emisyonu
MYY	Metal/Yarı iletken/Yalıtkan
MY	Metal/Yarı iletken
TAE	Termiyonik alan emisyonu
TE	Termiyonik emisyon
I-V	Akım/Gerilim

## GİRİŞ

Metal/Yarı iletken (MY) ve Metal/Yalıtkan/Yarı iletken (MYY) Schottky diyotlar kapasitörler, transistorlar, güneş pilleri ve fotodiyotlar gibi uzun ömürlü elektronik sistemlerde yer alırlar. Literatürden de bilindiği gibi, Schottky kontakların 1874 yılında Braun (Rhoderick ve Williams, 1988) tarafından keşfinden beri, MY/MYY yapıların, farklı yarı iletkenler (Ge, SiC, GaAs vb.), ara yüzey tabakaları (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZnO, Organik materyaller vb.) ve kontak metalleri (Au, Ti, Ag, vb.) kullanılarak performansları ve kullanım alanları geliştirildi. Bunun sonucu olarakta MY/MYY yapılar farklı aygıt teknolojilerinde yaygın olarak kullanıldı (Sung, 2017; Tombak, 2014; Yıldız, 2020; Gozeh, 2019). MY/MYY yapıların üretim kolaylığı ve bu yapıların idealite faktörü ( $n$ ), sıfır-beslem barrier yüksekliği ( $\Phi_{Bo}$ ) ve seri direnç ( $R_s$ ) gibi temel elektriksel özelliklerinin hızla ve kolaylıkla tespitinin mümkün olması da bilim insanlarının yaygın olarak Schottky yapıların elektriksel ve optiksel davranışlarının araştırmasına yönelmesine yol açtı. Bu yapılar, ters öngerilim uygulandığında yarı iletkenlerin hareketliliğini kısıtlarken pozitif öngerilim durumunda yük taşıyıcılarının hareketiyle iletim sağlar ve böylece doğrultma ve anahtarlama işlevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirir (Karabulut, 2022; Unal, 2022; Aydoğan, 2022). Ayrıca polarizasyon meydana geldiğinden, yükün, dolayısıyla enerjinin depolanabileceği bir kapasitör olarak da kullanılabilir olmaları nedeniyle avantajlı elektronik aygıtlardır.

Üretilen MY/MYY yapının öncelikle amaca uygun olması, yani istenen özellikleri içermesi gerekmektedir. İstenen özellikleri optimize etmenin en faydalı yollarından biri, yarı iletken ve metal arasında inorganik veya organik bir ara yüzey film kaplamaktır (Sevgili, 2019; Yıldız, 2022; Özcan, 2020). Kullanılabilir malzemeler arasında son yıllarda polimerik yapılar (iletken polimerler, monomerler, ligand grupları vb.) polimerlerin enerji bant aralıklarının basit katılabilir malzemeler (metalik veya organik katılabilir malzemeler) ile değiştirilebilir olması, polimer sentez maliyetlerinin inorganik malzeme üretiminden düşük olması ve kaplama metotlarının kolay uygulanabilir (döner kaplama, sprej vb.) olması nedeniyle araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir (Kaya, 2012; Kocuyigit, 2022; Ünlü, 2024). Özellikle metaller ile katılanmış polimerlerin diğer polimerlere göre daha kolay optimize edilebildiklerinin anlaşılmış olması, birçok araştırmacının inorganik ara yüzey malzemelerine alternatif olarak görülen katılı polimerik materyallerin sentezine ve biosensör, fotodiyot, süperkapasitör gibi farklı uygulama alanlarında bu materyallerin kullanımının araştırılmasına yönelmesine neden oldu (Yıldız, 2012; Apaydın, 2013; Yıldız, 2014; Yıldız, 2022; Ünlü, 2017 ; Yıldız, 2018; Yıldız, 2024; Kocuyigit, 2022; Kim, 2010). Günümüzde fotodetektörler, sensörler, fotodiyotlar, güneş pilleri gibi ara yüzey katmanlı yapılar teknolojinin her alanında kullanılan elektronik cihazların temelini oluşturmaktadır. Önemli fotovoltaj cihazlarından biri olan fotodiyotlar, kullanım amaçları bakımından güneş pillerinden farklılık gösterir ve sinyallerin algılanmasına ile foto duyarlılığına odaklanır. Gelişen malzeme perspektifi (yeni gelişen organik ve inorganik materyaller (Grafen, Borofen

gibi 2D malzemeler)) ve yeni teknolojik gelişmeler ile birlikte fotodiyot teknolojisi günümüzde oldukça yol katetti (Yıldız, 2024; Yıldız, 2024; Orak, 2022). Fotoelektrik etki, yeterli enerjiye sahip fotonların hedef malzemeye gönderilmesiyle yüzeyden elektron koparılması ve koparılan elektronların devreyi tamamlaması sonucunda elektronların akım oluşturması olarak tanımlanır ve bu fotodiyotların temel çalışma prensibidir (Smestad, 2004; Kato, 2002). MY/MYY Schottky fotodiyotlar için anahtar parametre aydınlık ( $I_{açık}$ ) ve karanlık ( $I_{karanlık}$ ) koşullarda ortaya çıkan akım değerleridir. Bu çalışmada, merkezinde Ni ve Zn geçiş metalleri bulunan nikotinat (Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat) kompleksler sentezlenmiştir. Geçiş metalleri sertlik, yüksek erime, kaynama ve yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı cihazın kararlı kalması için teknolojiye yoğun olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, geçiş metallerinin yüksek oranda elektropozitif olmalarında aygıtlarda kullanımının araştırılmasına neden olmaktadır. Bu tür kompleksleri öne çıkaran bir diğer konu ise merkezi katyona elektron bağışlayan organik ligandlarda (nikotinat da) oluşan elektronların hareketliliğidir. Elektron hareketliliğinin artırılabilir olması aygıtlarda tercih edilmelerine ve aygıt teknolojisinde kullanımlarının araştırılmasına yol açmıştır.

Bu tür malzemelerin yarı iletken yüzeyine kaplanması için kullanılacak yöntem de üretilecek katı hal fiziği aygıtları (güneş pili, fotodiyot, biosensör, süper kapasitör ve MY/MYY yapılar) için çok önemlidir. Bu konuda kullanılacak farklı teknikler (sprey kaplama, döner (spin) kaplama, injet, organik evaporatör vb.) ve bu tekniklerin birbirlerine üstün olduğu noktalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmada, Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat kompleks ara yüzeyinin, yarı iletken (p-Si veya n-Si) yüzeye kaplanmasında uygulanmasındaki kolaylık, solüsyon haline getirebilir tüm malzemeler kullanılabilir olması ile düşük maliyet gibi avantajları nedeniyle döner (spin) kaplama yöntemi tercih edildi. Bu yöntemin araştırmacılar tarafından son yıllarda çok tercih edilme nedenleri ise şöyle sıralanabilir: (i)-düzgün yüzey morfolojisi (homojenlik) , (ii)-döner kapla hızına bağlı ara yüzey tabaka kalınlık kontrolüne imkan sağlaması ve (iii)-ince film üretiminde uygulama kolaylığı, (iv)-solüsyon haline getirebilir tüm malzemeler kullanılabilir olması ve (v)- düşük ara yüzey tabaka kaplama maliyeti (Apaydın, 2013; Karabulut, 2021 ; Sevgili, 2020).

Bu çalışmada, optoelektronik teknolojisinde yenilik oluşturma potansiyeli olan metal merkezli kompleksler (Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat) sentezlenerek Silisyum (Si) tabanlı Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn (II) nikotinat/p-Si fotodiyotların üretilmesinde kullanıldı. İlgili malzemeler ile elde edilen fotodiyotun elektriksel özellikleri ilk kez bu çalışmayla literatürde sunuldu ve yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanan Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn (II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların optoelektronik özelliklerinin geliştirilerek farklı optoelektronik uygulamalarda kullanılabilmesi belirlendi.

Bu tez çalışmasında, birinci bölümde, MY/MYY Schottky fotodiyotların kısa tarihi ve MY/MYY Schottky fotodiyotlar ile ilgili teorik bilgi, ikinci bölümde, Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn (II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların üretilmesi, üçüncü bölümde, Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve

Al/ Zn (II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların karanlık ve ışık altında I-V karakteristiklerinden hazırlanan şekil ve tablolar, ve sonuç ve öneriler bölümünde ise tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslamalı olarak sunuldu.



# 1.BÖLÜM

## TEORİK BİLGİLER

### 1.1. Metal-Yarı iletken Schottky Kontaklar

Metaller elektriği ve ısıyı iyi iletir, metallerin diğer metallerle karışımlarından dayanıklı ve kolay şekillendirilebilen malzemeler üretilebilir. Metaller omik ve doğrultucu kontak olarak yarı iletkenler üzerine oluşturulduğunda elektronikte yaygın olarak kullanılan transistörler, dedektörler vb. cihazlar üretilebilmektedir. Metal ile yarı iletkenin kontak yapılması ile elde edilen yapıya Metal- Yarı iletken (MY) Schottky diyot denir. Metal, yarı iletken ile kontak edildiğinde, M/Y ara yüzeyinde yükler ayrışır ve yarı iletken ile metalin iş fonksiyonları arasındaki fark nedeniyle bir potansiyel engeli oluşur (Wilson, 1931; Yıldız, 2008; Gullu, 2021). Bu teoriyi ilk belirten Schottky'ye atfen bu kontaklara Schottky diyotlar denilmiştir.

MY Schottky diyotlarda doğrultucu ve omik olmak üzere iki tip kontak kullanılır. Kullanılan kontak metalin ve yarı iletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır.

Metal/n-tipi yarı iletken kontaklar için;

\*  $\phi_m > \phi_s$  ise kontak doğrultucu

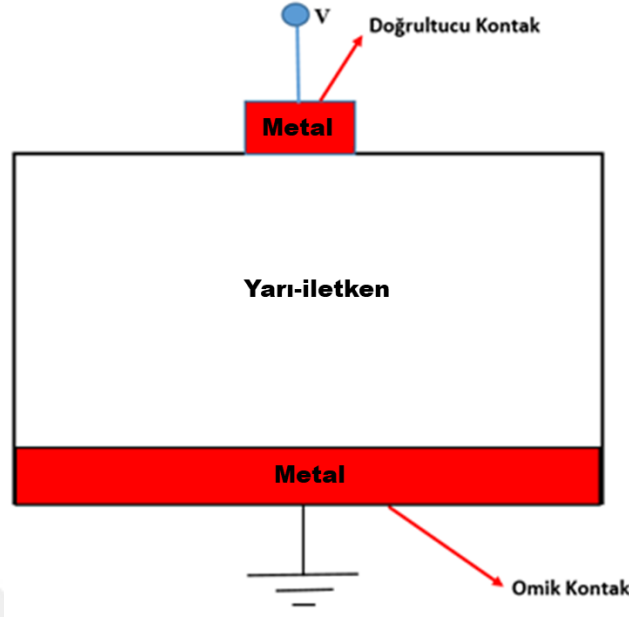
\*  $\phi_m < \phi_s$  ise kontak omik

Metal/ p-tipi yarı iletken kontaklar için;

\*  $\phi_m > \phi_s$  ise kontak omik

\*  $\phi_m < \phi_s$  ise kontak doğrultucu

elde edilir. Burada  $\phi_s$  yarı iletkenin fonksiyonu,  $\phi_m$  ise metalin iş iş fonksiyonudur.



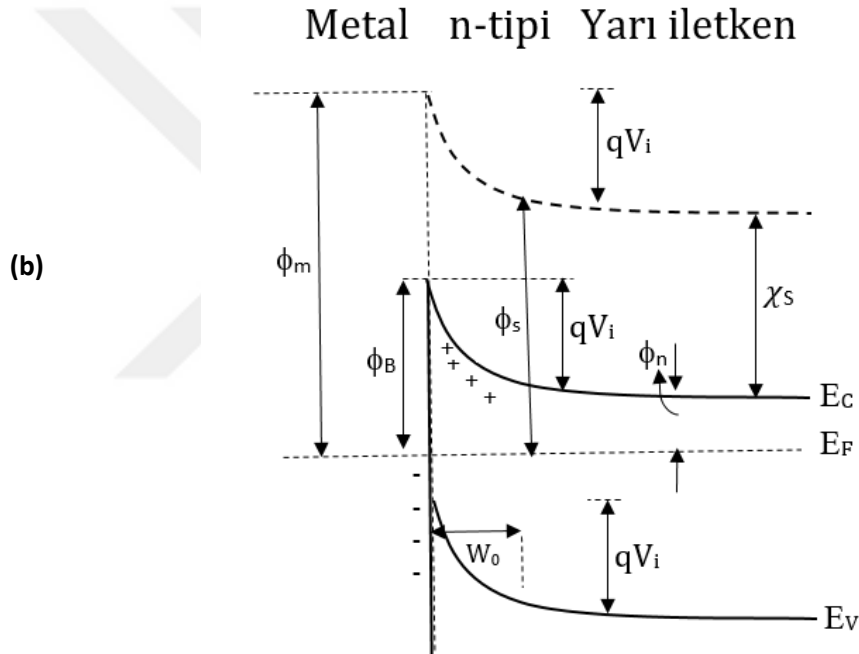
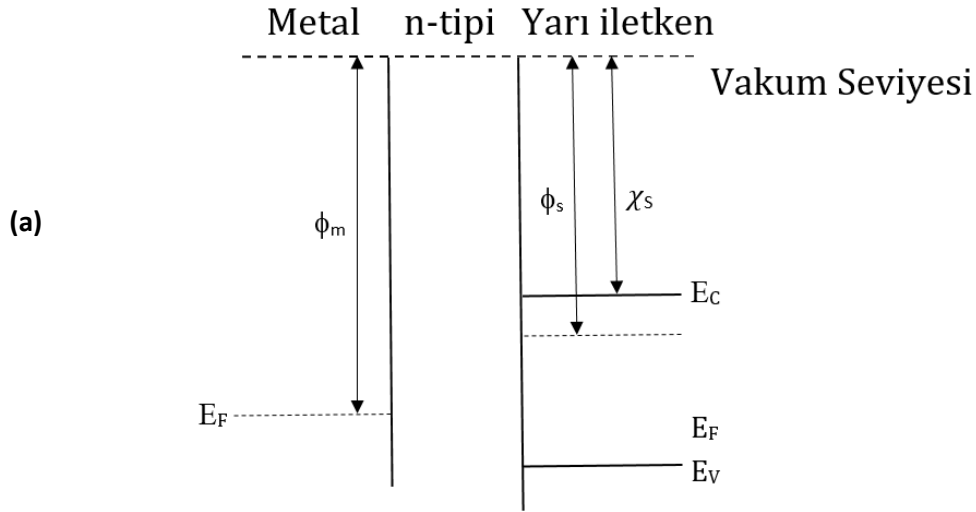
**Şekil 1.1.** MY Schottky diyotun şematik gösterimi (Sze, 1981)

Şekil 1.1 MY Schottky diyotun şematik gösterimidir. Burada  $V$  metale uygulanan gerilimdir. M/p-tipi yarı iletken Schottky diyotun, doğrultucu (Schottky) kontak metali bataryanın pozitif kısmına bağlı ise doğru beslem, negatif kısmına bağlıysa ters beslem oluşur (Sze, 1981). Benzer şekilde, M/n-tipi yarı iletken Schottky diyotun, doğrultucu kontak metali bataryanın negatif kısmına bağlı ise doğru beslem, pozitif kısmına bağlıysa ters beslem oluşur (Ziel, 1968; Albayrak, 2006).

## 1.2 Schottky (Doğrultucu) Kontak

MY kontakta yük taşıyıcıları yarı iletken den metale veya metalden yarı iletkene daha kolay geçişi akımın büyük bir kısmının tek yönde akmasını sağlayan ve bu davranışa ise doğrultma davranışı olarak tanımlanır ve bu tür kontaklar doğrultucu (Schottky) kontak olarak adlandırılır.

Şekil 1.2  $\phi_m > \phi_s$  olan M/n-tipi Y doğrultucu kantağın enerjisi bant diyagramlarını göstermektedir. Burada  $\phi_m$ , metalin iş fonksiyonu,  $\phi_s$ , yarı iletkenin iş fonksiyonudur ve  $\psi_s$ , elektron yakınlığıdır (Sze, 1981).



**Şekil 1.2.** Metal/ n-tipi MY kontak için  $\phi_m > \phi_s$  durumunda enerji-bant diyagramları

- Kontaktan önce metal ve n-tipi yarı iletken
- Kontaktan sonra metal/n- tipi yarı iletken (Sze, 1981; Milnes ve Feucht, 1972; Altındal, 1993)

Şekil 1.2b denge durumunda doğrultucu kontağın enerji bant diyagramını göstermektedir. MY kontak oluşturulduğunda, Fermi enerji seviyesi eşit olana kadar iletkenlik bandındaki elektronlar metale doğru akar ve yarı iletkende  $E_C$ , iletkenlik bant kenarı ile  $E_F$ , Fermi seviyesi arasındaki fark artar ve termal dengede  $E_C$  ve  $E_V$ , valans bant kenarı bükülür böylece M/Y ara yüzeyin Y' de pozitif yükler ve M'de ise negatif yük oluşur ve ara yüzeyde elektrik alan meydana gelir. Yasak enerji aralığı kontakta aynı kalacağı için yarı iletkenin vakum seviyesi de  $E_C$  ve  $E_V$ 'ye

paralel değişir. Bant bükülmesi miktarı,  $\phi_m$  ile  $\phi_s$  arasındaki farka eşittir ve  $qV_i = (\phi_m - \phi_s)$  olarak ifade edilir.

Burada  $V_i$ 'nin birimi volt (V) olup eklemde oluşan potansiyel farkı temsil eder.  $qV_i$  ise yarı iletken den metale geçişte elektronun karşılaştığı engel yüksekliğidir (Sze, 1981). Metalden yarı iletkene geçişte karşılaşılan engel ise yarı iletken den metale geçişte belirlenen engelden farklıdır ve

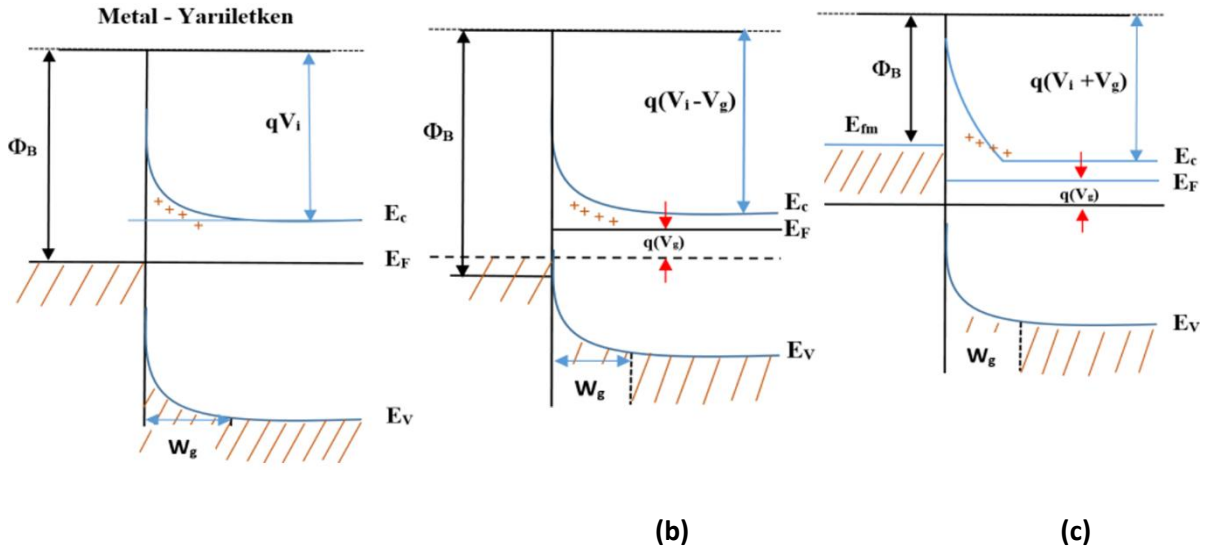
$$\phi_s = (\phi_m - \chi_s) \quad (1.1a)$$

ile verilir (Wilson, 1931).

$\phi_s = \chi_s + \phi_n$  ve  $\phi_m = qV_i + \phi_s$  olduğu için,

$$\phi_B = (qV_i + \phi_n) \quad (1.1b)$$

elde edilir. Burada  $\phi_n = (E_C - E_F)$  olup,  $q$  elektronik yüküdür (Sze, 1981). Eş. (1.1), birbirinden bağımsız olarak Schottky ve Mott tarafından ifade edilmiştir (Sze, 1981). O yüzden Schottky Engeli veya Mott Engeli olarak literatürde tanımlanır (Sze, 1981). Şekil 1.3, M/n-tipi Y kontağın ters ve doğru beslem ile termal denge de enerji bant diyagramı sunulmuştur. Şekil 1.3a'da Schottky kontağın termal dengede, net akım oluşmaz çünkü engelini aşan elektronların oranı, engeli ters yönde aşan elektronların oranı ile aynıdır.



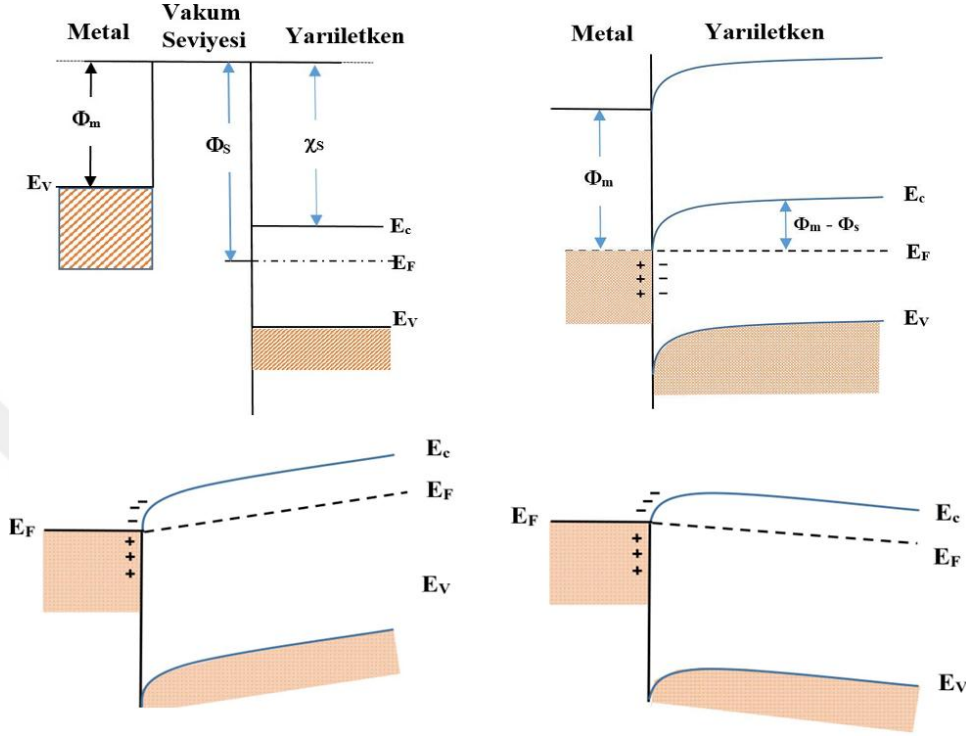
**Şekil 1.3.** Metal/ n- tipi Y doğrultucu kontak enerji bant diyagramları (a) termal denge durumu (b) doğru beslem ve (c) ters beslem (Tuy ve Moizes, 1990; Altındal, 1993; Yıldız, 2008; Sze, 1981)

Dışarıdan uygulanan gerilim ( $V=V_F$ ) tüketim bölgesine düşen gerilimin değişmesine neden olur ve bant bükülmesi gerçekleşir (Şekil 1.3b). Değişimin nedeni doğru beslemde uygulanan gerilimin termal dengedeki  $qV_i$  engelini  $q(V_i - V_F)$ 'ye düşmesi ve tüketim bölgesinin genişliğini azaltmasıdır. Böylece yarı iletken metal elektron geçişi ve aynı zamanda akım artacaktır. Bu durumda metalden yarı iletken elektron geçişi termal dengedekinin aynı kalır. Sonuç olarak ise engel yüksekliği ( $\phi_{B0}$ ) uygulanan gerilimden etkilenmez ve teoriye göre uygulanan gerilimden bağımsızdır. Sonuç olarak, Metal/ n- tipi Y kontak doğru beslemde ise net akım  $V_F$  ile üstel olarak artar (Rhoderick ve Williams, 1988). Metal/ n- tipi Y kontak ters beslemdeki enerji bant diyagramı Şekil 1.3c'de sunulmuştur. Ters beslemde Y pozitif, M negatif olacak şekilde gerilim ( $V= - V_R$ ) uygulanır. Böylece tüketim bölgesinin genişliğini artırır ve termal dengedeki  $qV_i$ 'den  $q(V_i + V_R)$ 'ye çıkar.

### 1.3. Omik Kontak

Şekil 1.4'te  $\phi_m < \phi_s$  olan M/n-tipi Y omik kontakta ait enerji bant diyagramı Şekil 1.4a'da kontakdan önce, Şekil 1.4b'de omik kontak oluşturulduktan sonraki durum için sunulmuştur. Şekil 1.4b'den görüleceği gibi M/n-tipi Y termal denge durumuna kadar metalden yarı iletkenin iletkenlik bandına doğru elektron geçişi olur ve yarı iletken sınırında elektron birikimi oluşur. Şekil 1.4b'de gösterildiği gibi  $E_F$  seviyesi ( $\phi_s - \phi_m$ ) kadar yükselir ve yarı iletken içinde tüketim bölgesi oluşur. Yarı iletken metal geçiş kolay ve elektronların karşılaştığı bir gerilim engel yoktur ve ara yüzeyde elektron konsantrasyonu yüksektir. Şekil 1.4c ve Şekil 1.4d'de sırasıyla ters ve doğru beslemde M/n-tipi Y omik kontakın enerji bant

diyagramını sunulmuştur. Akım her iki durumda da uygulanan gerilimin yönünden bağımsızdır. Bu tip akım davranışı omik kontak olarak tanımlanır.



**Şekil 1.4.**  $\phi_m < \phi_s$  durumunda metal n-tipi omik kontak için enerji bant diyagramı a) kontak öncesi b) termal dengede kontak c) ters beslem altında ( $V < 0$ ) ve d) doğru beslemde (Altındal, 1993; Yıldız, 2008; Sze, 1981)

#### 1.4. MY Schottky Kontaklarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri

MY Schottky kontaklar yüksek mobilitelere sahip (elektronların daha hızlı hareket edebildiği) yarı iletkenlerden yapılmaktadır. Schottky diyota ait akım-gerilim (I-V) karakteristikleri TE teorisine dayanmaktadır (Chattopadhyay ve Raychaudhuri, 1992; Türüt ve ark., 1996). Bu durum küçük gerilimler için doğru beslem bölgesinde geçerlidir. TE teorisine göre elektronlar sahip oldukları termal enerji sayesinde gerilim engeli aşarak yarı iletkenden metale veya metalden yarı iletkene geçtiği varsayılır. M/p-tipi Y kontaklarda holler, M/n-tipi Y kontaklarda elektronlar çoğunluk taşıyıcılarıdır. TE teorisine göre MY kontaklarda J-V (akım yoğunluğu-gerilim) arasındaki bağıntı,

$$J = J_0 \left[ \exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1.2)$$

şeklindedir. Burada diyot üzerine düşen gerilim  $V_D$  dir ve  $(V - IR_s)$ 'ye eşittir. İdeal MY kontakların idealite faktörü ( $n$ ) 1'e eşit isede deneysel J-V karakteristiklerinden belirlenen

değeri bundan fazladır ( $n > 1$ ) (Willson, 1932 ). Bu durumda J-V ifadesi n parametresi Eş. (2.2) de dikkate alındığında,

$$J = J_0 \left[ \exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1.3)$$

Olur ve J-V ifadesi,

$$J = A_n^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] \quad (1.4)$$

şeklinde verilir. Burada  $A^*$  ise TE olay için etkin Richardson sabiti, V uygulanan dış gerilim dir ve

$$A^* = \frac{4\pi m^* k^2}{h^3} \quad (1.5)$$

ifadesiyle teorik olarak hesaplanır. Burada h planck sabiti, k boltzman sabiti ve  $m^*$  etkin kütedir.

MY kontaklarda seri direnci belirlemek için Norde ve Cheung's metodları kullanılabilir (Karadeniz, 2025; Kocuyigit, 2024). Bu metodlardan özellikle seri direnç belirlemede güvenilir olan Cheung's fonksiyonları araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılır (Karadeniz, 2025; Yıldız, 2023).

$$V = R_s A I + n\Phi_{Bn} + \left(\frac{n}{\beta}\right) \text{Ln}\left(\frac{I}{A_n^* T^2}\right) \quad (1.6)$$

ifadesi tanımlanmıştır (Norde, 1979). Burada  $\beta = q/kT$  ve A kontak alanıdır. Eş. (1.6)'nin I'ye göre türevi alındığında

$$\frac{dV}{d \ln I} = IR_s + \left(\frac{nkT}{q}\right) \quad (1.7)$$

olur.  $dV/d(\ln I)$ - I grafiğinin y eksenini kestiği noktadan n, eğiminden ise  $R_s$  hesaplanır. Eş. (1.6)'deki  $(IR_s + n\Phi_{Bn})$  ifadesi H(I) fonksiyonu ile tanımlanırsa,

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \text{Ln}\left(\frac{I}{A_n^* T^2}\right) \quad (1.8)$$

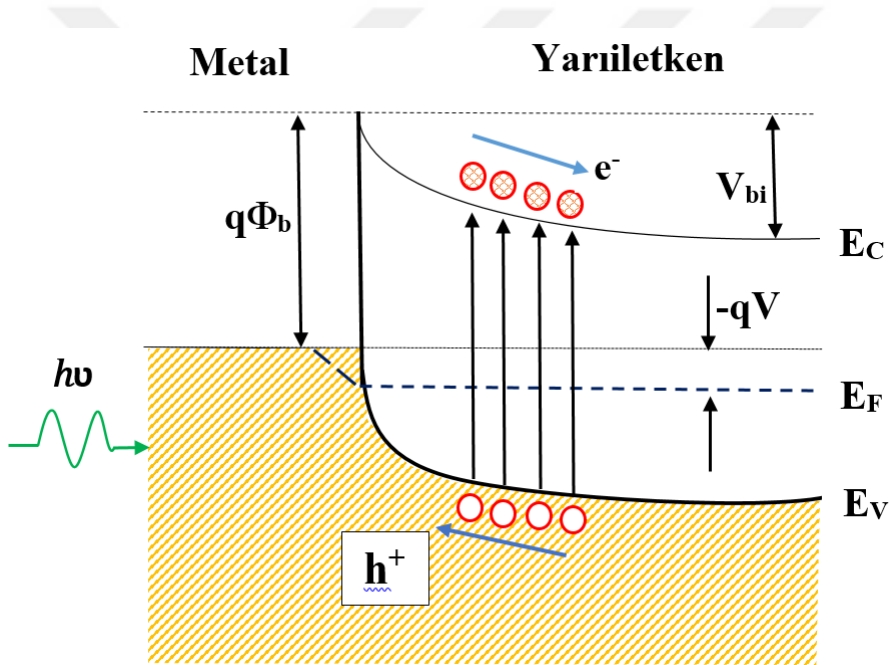
olur. Eş. (1.8), Eş. 1.6) ile birlikte değerlendirilirse

$$H(I) = IR_s + n\phi_{Bn} \quad (1.9)$$

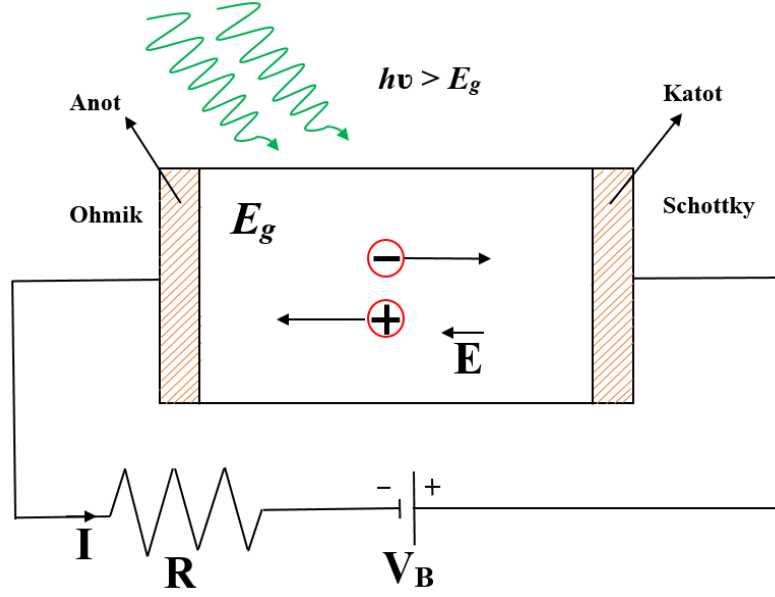
şeklinde daha sade bir fonksiyon haline gelir. Eş.(1.9)'den görüldüğü gibi  $H(I)$ -  $I$  grafiğinin eğiminden  $R_s$ , y eksenini kestiği noktadan  $\Phi_{Bn}$  elde edilir. Seri direnci hesaplamasının ikinci yolu ohm kanunudur ( $R=V/I$ ).

### 1.5. MY Schottky Fotodiyotlar

Bir fotodiyot, elektronik işlemler esnasında optik sinyaller oluşturan bir sensördür ve yüksek bir elektrik alanı ile boşaltılmış yarı iletken bölgesinde serbest yük taşıyıcılarına sahiptir. Tükenim bölgesinde oluşan foto taşıyıcılar, yüksek alanın varlığından dolayı malzemenin uç kısmında toplanırlar. Bir MY Schottky fotodiyotun ışık altında enerji-band diyagramını Şekil 1.5'de sunuldu. Bir metal-yarı iletken fotodiyot, yüksek verimli fotodedektörler için kullanılabilir.



Şekil 1.5. Bir Schottky fotodiyotun ışık altındaki enerji-band diagramı



**Şekil 1.6.** MY Schottky fotodiyotun yapısı

Bir Schottky fotodiyodun elektriksel yapısı Şekil 1.6 sunuldu. Schottky fotodiyota ışık uygulandığında yeterli enerjiye sahip fotonlar tükenim bölgesinde soğrulur bunun sonucunda elektron boşluk çiftleri meydana gelir. Oluşan elektronlar katoda doğru, boşluklarda anoda doğru sürüklenir ve foto akım ( $I_{ph}$ ) ortaya çıkar. Fotonların soğrulması ve elektron-hol çiftlerinin oluşumu kullanılan yarı iletkene, kullanılan kontak metaline, ışığın dalga boyuna bağlıdır. Işığın dalga boyu foton soğrulmasını doğrudan etkiler çünkü dalga boyu düşük olan ışınlar (ultraviyole) yüzeyde emilirken, kızılötesi ışınlar ise yarı iletkenin derinliklerine kadar ilerler (Bhattacharya, 1994; Gündüz, 2007). Schottky fotodiyotları, görünür ışık UV'nin dedeksiyonu için mükemmeldir bu nedenle tez de Schottky fotodiyotlar tercih edilmiştir. Bilindiği gibi Schottky fotodiyotlar mevcut yarı iletken foto dedektörlerin en hızlı olanıdır. Ancak bu diyotların ince soğurma bölgelerine sahip olması ve kullanılan yüksek katkılı metal tabakanın performansı düşürmesinden dolayı düşük verimleri vardır (Bıyıklı, 1998; Gündüz, 2007).

## 1.6. Temel Fotodiyot Parametreleri

### 1.6.1. Fotoduyarlılık

Bir fotodiyodun duyarlılığı(R), fotoakımın ( $I_{ph}$ ), verilen dalga boylarındaki fotodiyot üzerine düşen ışığın gücüne (P) oranı olarak tanımlanır(Karadeniz ,2025;Yıldız , 2023).

Fotodiyotlar için duyarlılık,

$$R = \frac{I_{ph}}{P} = \frac{\eta e}{h\nu} \quad (1.10)$$

ile tanımlanır. Burada P, fotodiyoda gelen ışığın gücü ve  $\eta$ , spektral kuantum verimidir. Fotoduyarlılığın birimi A/W'dir.

### 1.6.2. Dış Kuantum Verimliliği (EQE (%))

Bir MY fotodiyotta, fotoakıma katkı sağlayan, yani elektron-boşluk çiftini oluşturarak fotoakım oluşturan, foton sayısı yüzdesi (%) dış kuantum verimi (E.Q.E) olarak tanımlanır. Kuantum verimi aşağıdaki matematiksel bağıntıyla tanımlanır.

$$E. Q. E (\%) = R \frac{hc}{\lambda q} \times 100 \quad (1.11)$$

Burada, h Planck sabiti, R fotoduyarlılık, q elektron yükü, c ışık hızı, ve  $\lambda$  ise dalga boyudur (Gündüz, 2007; Karadeniz, 2025; Yıldız, 2023).

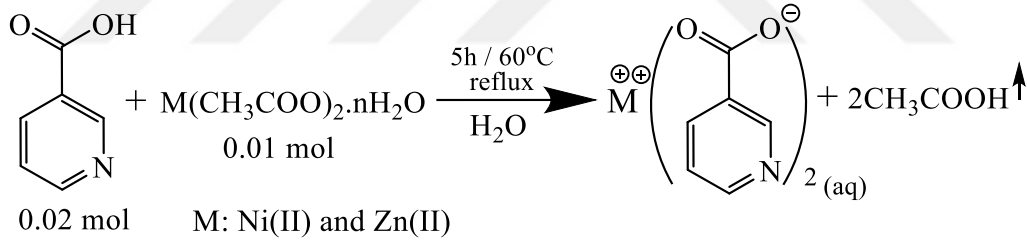
## 2.BÖLÜM

### DENEYSSEL YÖNTEM

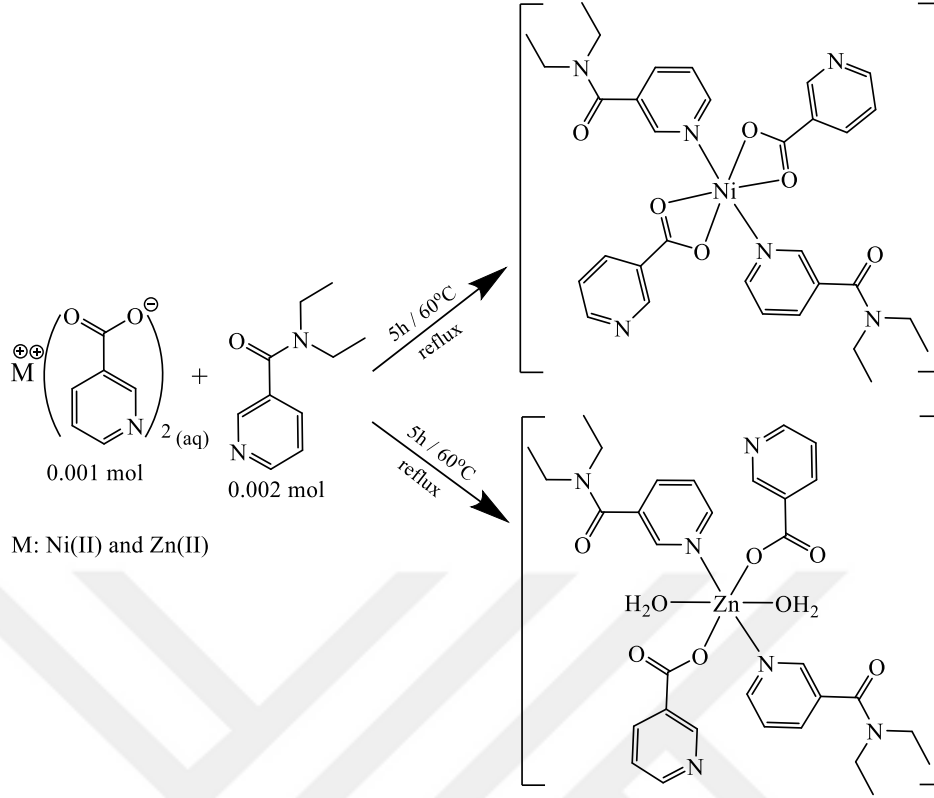
#### 2.1. Malzemelerin Sentezi

Geçiş metal kompleksleri nikotinik asit ( $C_6H_5NO_2$ ), N, N-dietilnikotinamid ( $C_{10}H_{14}N_2O$ ), çinko asetat ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) ve Nikel asetat ( $Ni(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$ ) sentezinde kullanılan reaktifler Sigma-Aldrich'ten satın alındı ve sentez reaksiyonları deiyonize çözücüde gerçekleştirildi.

Metalik nikotinat tuzları, metal katyonlarının asetat tuzlarının sulu çözeltide, nikotinik asitle ayrı ayrı reaksiyona sokulmasıyla hazırlandı (Şekil 2.1). Metal katyon ve nikotinik asidin stokiyometrik molar oranları 1:2 olarak ayarlandı. 0.01 mol nikel asetat (2.488 g) veya çinko asetat (2.195 g) tuzları, 100 mL'lik deiyonize suda çözülmüş 0,02 mol (2.462 g) nikotinik aside eklendi. Tamamen berrak çözeltiler oluştuğunda, her metal-nikotinat çözeltisine 0.02 mol N, N-dietilnikotinamid (3.565 g) eklendi (Şekil 2.2). Oluşan toplam reaksiyon çözeltileri, yaklaşık beş saat boyunca  $60^\circ C$ 'de manyetik karıştırıcı sıcak plaka üzerinde karıştırıldı (Şahin, 2021; Yurdakul, 2020). Son çözeltilerin aktarıldığı kaplar delikli parafin filmle kapatıldı ve kristal oluşana kadar oda sıcaklığında tutuldu. 20-25 gün sonra, metal katyonlarının kompleksleri Ni(II) için parlak yeşil kristaller ve Zn(II) için beyaz kristaller olarak toplandı.



Şekil 2.1. Metal katyon-nikotinat tuzlarının sentez reaksiyon şeması.



**Şekil 2.2.** Sentez aşamasında Ni(II) ve Zn(II) metal katyon merkezli nikotinat / N, N-dietilnikotinamid karışık ligand kompleksinin reaksiyon şeması.

## 2.2. Fotodiyotların Üretimi

### 2.2.1 Kullanılan Yarı iletken

Tez çalışmasında, yarı iletken olarak  $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  taşıyıcı konsantrasyonlu, (100) kristal yönelimli, bir tarafı parlatılmış p tipi-Silisyum (p-Si) kullanıldı.

### 2.2.2. Yarı iletkenin Temizlenmesi

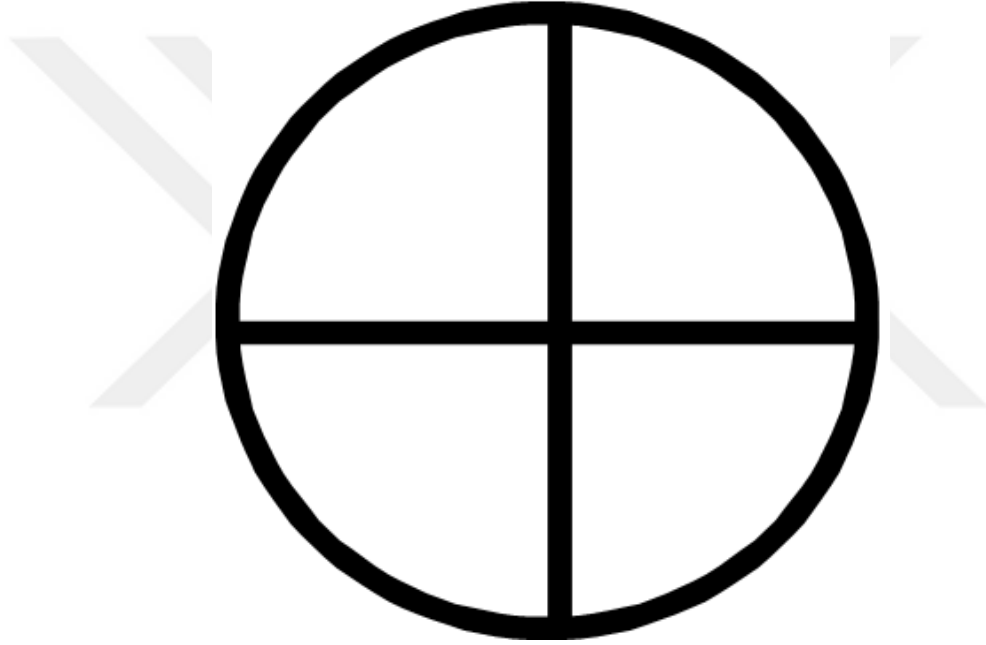
Fotodiyot üretimden önce 1 inç p-Si küçük parçalara elmas yardımıyla kesildi ve kesilen p-Si parçaları, kimyasal temizlik için sırasıyla;

1. Ultrasonik banyo içinde gerçekleştirilen tüm temizlik aşamalarında  $\sim 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$  özdirençli deiyonize su kullanıldı. Temizleme sırasında kullanılan cımbız, beherler vb. araçlar önce bir etüv içinde yaklaşık  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıtılarak sterilize edildi. Daha sonra sırasıyla aseton, izopropanol ve deiyonize su ile 5 dakika ultrasonik banyoya da temizlendi.

2. Bu işlemten hemen sonra, kurutulmuş substrat malzemesi üzerinde oluşmuş olabilecek doğal oksit tabakasını sıyırmak için 5 dak. HF: H<sub>2</sub>O (1:9) karışımında tutuldu
3. Ardından deiyonize su ile durulanmış ve azot gazı yardımıyla kurutulmuştur.

### 2.2.3. Omik kontak oluşturulması

Temizleme işlemi tamamlanan kesilmiş p-Si lar, omik kontak oluşturmak üzere termal buharlaştırma ünitesine yerleştirildi ve uygun basınç koşullarında ( $\approx 1 \times 10^{-7}$  Torr ) yaklaşık 150 nm alüminyum metal ile kaplanmış ve oksidasyonu önlemek için argon gazı akışı altında 450 °C'de 4.5 dakika tavlanaştır. Böylece p-Si/Al (omik kontak) yapı oluşturulmuştur.



**Şekil 2.3.** Omik kontak oluşturulurken kullanılan maske

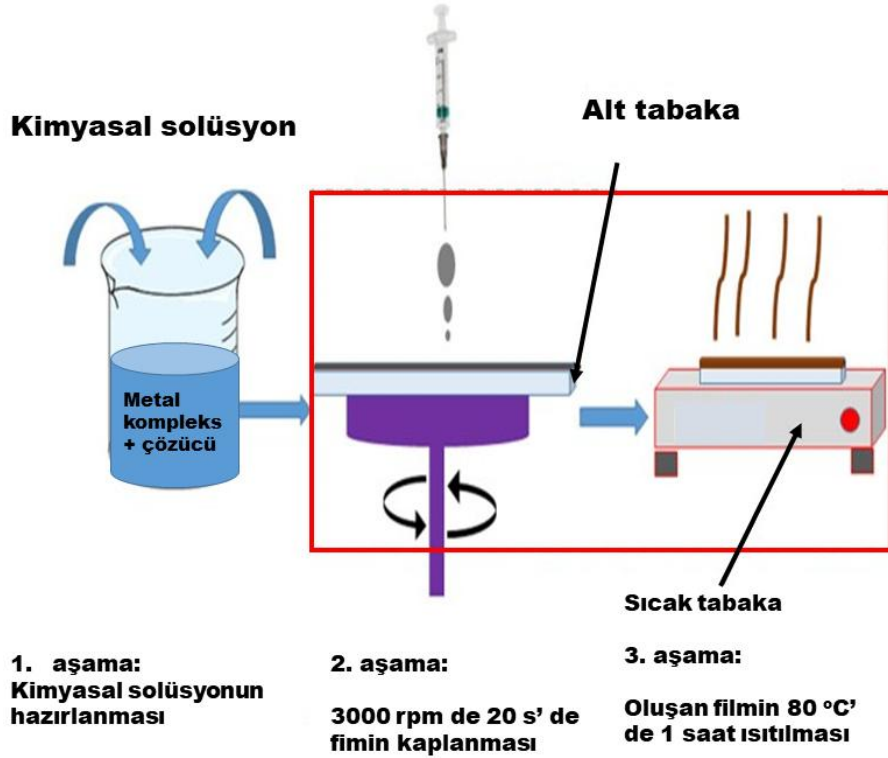
## 2.2.4 Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat filmin oluşturulması

### 2.2.4.1. Kimyasal solüsyonların hazırlanması

Öncelikle sentezlenen Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat metalik kompleksler 1:1 oranında çözücü 10 ml deiyonize su ile karıştırıldı. Daha sonra bu karışım homojen bir kimyasal solüsyon oluşturabilmek için karıştırıcı yardımıyla 24 saat karıştırıldı. Sonrasında ise 2 saat bekletilerek Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat içeren 2 farklı kimyasal solüsyon hazırlandı.

### 2.2.4.2. Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat filminin oluşturulması

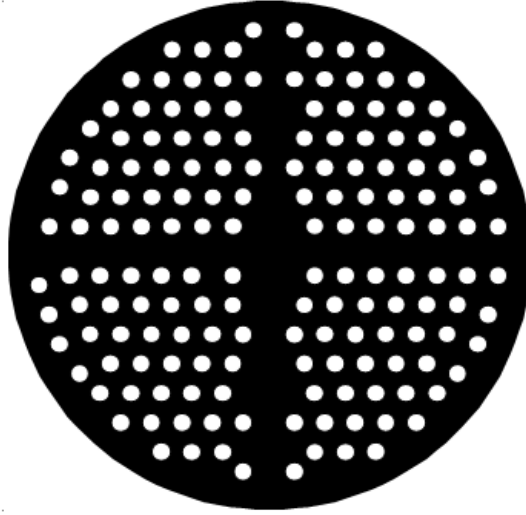
Daha sonra hazırlanan her iki kimyasal solüsyon omik kontak oluşturulmuş p-Si (p-Si/Al) yapı üzerine, döner (spin) kaplama tekniği ile ince film olarak oluşturuldu. Film kaplama işlemi 3000 rpm'de 20 saniye de gerçekleştirildi ve ardından kaplanmış parçalar (Ni(II) nikotinat/p-Si/Al ve Zn(II) nikotinat/p-Si/Al) sıcak bir plaka üzerine yerleştirilerek 80 °C'de 1 saat boyunca ısıtıldı. Şekil 2.2.'de Ni(II) nikotinat ve Zn-nikotinat filmlerin p-Si/Al (omik kontak) yapının üzerine döner kaplama tekniği ile oluşturulma aşamaları gösterildi.



**Şekil 2.4.** Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat filminin döner (spin) kaplama tekniği ile p-Si/Al yapı üzerine oluşturulması

### 2.2.5 Schottky kontak oluşturulması

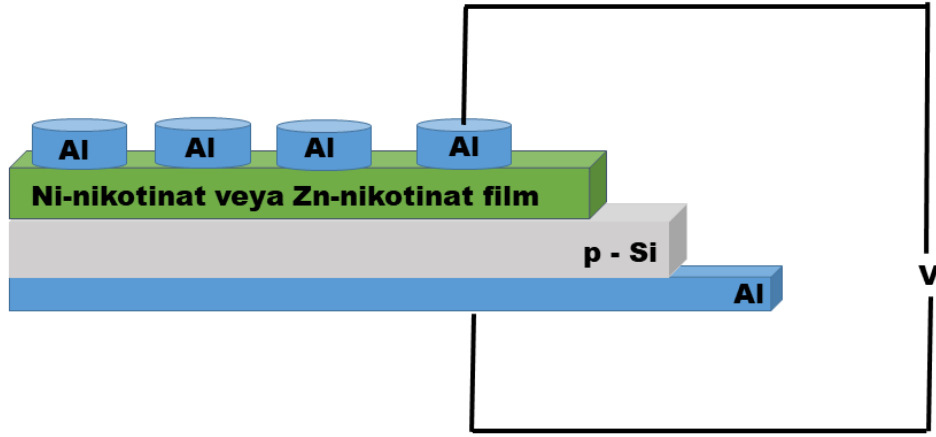
Bu işlem den sonra, termal buharlaştırma tekniği yardımıyla, çapı 1 mm olan bir dizi daireden oluşan bakır maskesi (Şekil 2.3) kullanılarak doğrultucu Al Schottky metal kontaklar oluşturuldu ve Al/Ni(II) nikotinat (Ni(II) nikotinat)/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat (Zn(II) nikotinat)/p-Si fotodiyotların üretim süreci tamamlandı. Şekil 2.4'de omik ve doğrultucu kontağın oluşturulduğu glowbox sistemi, Şekil 2.5'de ise Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların Şematik gösterimi verildi.



Şekil 2.5. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske



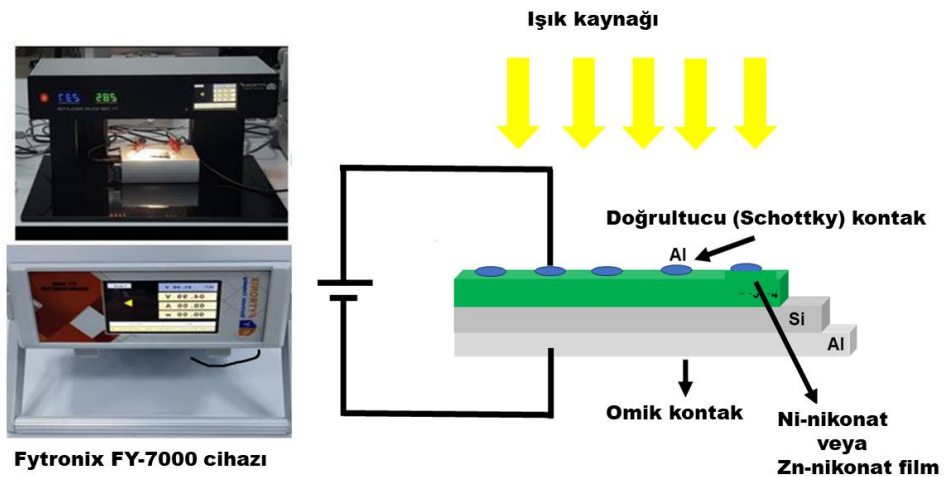
Şekil 2.6. Omik ve doğrultucu kontağın oluşturulduğu glowbox sistemi



**Şekil 2.7.** Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların şematik gösterimi

### 2.2.6 Kullanılan Ölçüm Düzenekleri

Komplekslerin kimyasal içerikleri Korloerva 1106 model element analizörü ile belirlendi. Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat komplekslerin TGA analizini gerçekleştirmek için Shimadzu TG60H cihazı kullanıldı. UV-Vis spektrometre ölçümleri için Shimadzu UV-3600i Plus UV-Vis-NIR Spektrofotometresi yardımıyla alındı. Fotoelektrik ölçümleri ise Fytronix FY-7000 cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların farklı dalga boylarındaki ışıkla yapılan ölçümleri için ev yapımı bir ışık yayan diyot (LED) sistemi kullanıldı. Şekil 2.6.'da Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların fotoelektrik ölçümlerinin yapıldığı Fytronix FY-7000 cihazı verildi.



**Şekil 2.8.** Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si Schottky fotodiyotların fotoelektrik ölçümlerinin yapıldığı Fytronix FY-7000 cihazı

## 3.BÖLÜM

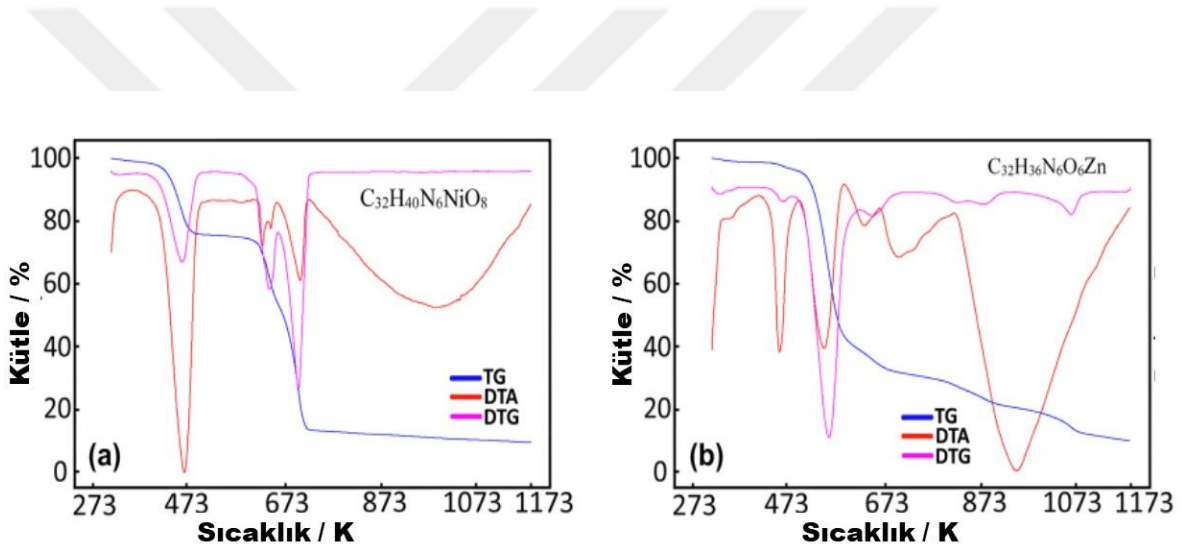
### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 3.1 Ni(II) nikotinat $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$ ve Zn(II) nikotinat $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$ Komplekslerin Yapısal Özellikleri

Sentezlenen Ni(II) nikotinat  $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$  kompleks ve Zn(II) nikotinat  $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$  kompleks için element analizi teorik ve deneysel olarak yapıldı. Ni(II) nikotinat  $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$  kompleks için teorik ve deneysel değerler sırasıyla C: %58.63; H: %5.97; N:12.67%, ve C:58.29%; H:5.50%; N:12.75% hesaplandı (Ünlü, 2024). Zn(II) nikotinat  $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$  kompleks için ise teorik ve deneysel değerler sırasıyla C:54.33%; H:5.18%; N:11.89% ve C:54.74%; H: %5.74; N: %11.97 hesaplandı (Ünlü, 2024). Sonuçlardan da görüleceği gibi her iki kompleks için elde edilen teorik ve deneysel element analiz değerleri birbiriyle uyumludur. Şekil 3.1a ve Şekil 3.1b'de, Ni(II) nikotinat  $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$  kompleks ve Zn(II) nikotinat  $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$  kompleksin TG (ağırlık kaybını gösteren eğri), DTG (ağırlık kaybı eğrisinin türevi) ve DTA (termal bozunmanın endotermik veya ekzotermik olduğunu gösteren eğri) termal analiz eğrileri sunuldu. Tablo 3.1'de ise termal analiz verileri ve elde edilen ürünler ile bozunma basamaklarını görebilirsiniz. Komplekslerin termal analiz grafiklerinde gözlenen farklılıklar, Ni(II) ve Zn(II) metal katyonları için önerilen, yapısal özelliklerle örtüşmektedir. Zn(II)'de bulunan ancak Ni(II) kompleksinde bulunmayan iki kristal suyu yapısı bu farklılığın nedenidir. Ni(II) kompleksinin yapısında kristal suyu yapısının bulunmaması nedeniyle Ni(II) metal katyonu oktahedral geometrisine sahip karboksilat grubu nedeniyle şelat bağı gösteren nikotinat ligandı oluşturur (Şekil 3.1).

**Tablo 3.1.** Metal – Nikotinat merkezli ligandların Termal analiz verileri

Kompleks	Sıcaklık Aralığı (°C)	DTA <sub>max</sub> (°C)	Uzaklaşan Grup	Ağırlık Kaybı (%)		Kalıntı Ürün (%)		Ayrışma Ürünü	Renk	
				Den.	Teo.	Den.	Teo.			
[Ni(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> ]										
C <sub>32</sub> H <sub>36</sub> N <sub>6</sub> NiO <sub>6</sub>	1	40-96	89	H <sub>2</sub> O	1.07	-				Parlak yeşil
659,37 g/mol	2	115-220	175	2N(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	19.69	20.19				
	3	287-373	340,356	2C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> N	23.18	23.68				
	4	374-460	416	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> CO	35.97	36.43				
	5	463-877	704	CO <sub>2</sub>	5.89	6.68	16.92	16.45	NiO	Siyah
[Zn(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> ]										
(C <sub>32</sub> H <sub>40</sub> N <sub>6</sub> O <sub>8</sub> Zn)	1	77-226	171	2H <sub>2</sub> O	5.29	5.12				
702,09 g/mol	2	228-303	264	2C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O	51.26	50.71				
	3	305-528	345,421	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NO	15.11	15.11				
	4	530-862	664,781	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NO <sub>2</sub>	17.77	17.39	12.18	11.59	ZnO	Siyah

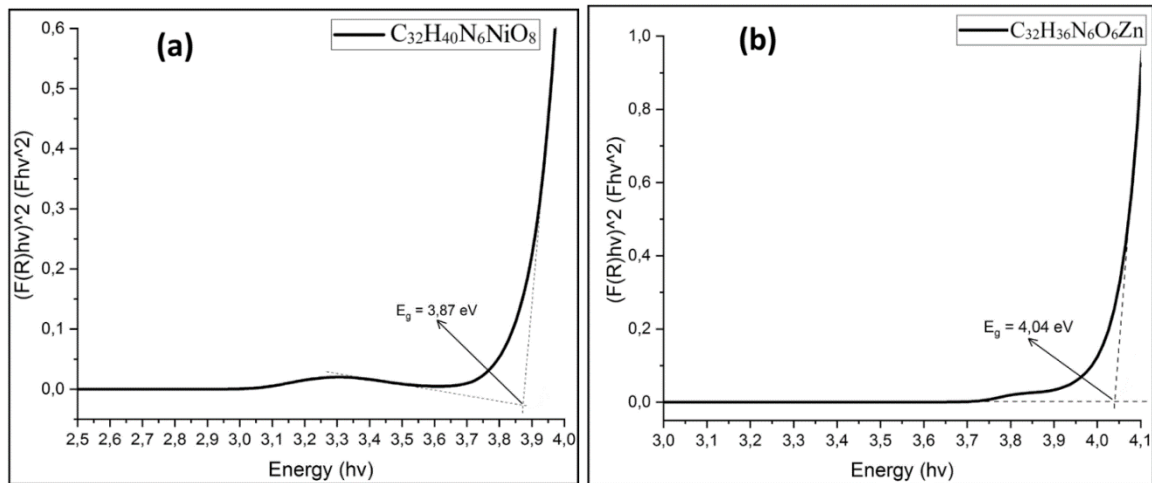


**Şekil 3.1.** Ni(II) nikotinat [Ni(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>] kompleks ve Zn(II) nikotinat [Zn(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>] kompleks için TG-DTG ve DTA grafikleri

Ni(II) nikotinat kompleksinin termal ayrışması, organik ligandların ayrışması ile başlamış ve kompleksin tam bozunması beş adımda gerçekleşmiştir. İlk adımda gözlemlenen ağırlık kaybı molekülün tam olarak kurutulmamasına bağlı olarak yapıda adsorbe durumda bulunan nem suyunun uzaklaşmasına yorumlanabilir. Yapıda mevcut olan iki adet nötr olarak bağlı N, N-dietilnikotinamid (dena) ligandlarının 115-220 °C sıcaklık aralığında bozunduğu önerilmiş olup, bu bozunma adımına ait deneysel ve teorik ağırlık kayıplarının uyumlu oldukları bulunmuştur (den. %23.18; teo. %23.68). Bir sonraki bozunma adımı, metal katyonuna monoanyonik- bidentat (çift dişli) olarak bağlı iki adet nikotinat ligandından birinin piridin halkasının bozunması olarak yorumlanmıştır. Dördüncü bozunma adımında, diğer nikotinat ligandının parçalandığı belirlenmiştir. Son nikotinat ligandı ile birlikte CO gazı çıkışı,

hesaplanan ağırlık kaybı yüzdesi ile uyumlu olarak bulunmuştur. 463-877 °C'de sıcaklık aralığında, molekülün yapısında kalan organik kalıntının CO<sub>2</sub> gazı formu şeklinde yapıdan ayrıldığı iddia edilmektedir. Reaksiyon kabında son bozunma ürünü olarak kalan NiO kalıntısına ait deneysel ve teorik ağırlık kayıplarının (den. %12.13; teo. %11.33) uyumlu olması ve kalıntı ürünü için kaydedilen toz XRD analizi deseninin NiO kalıntısını desteklemesi de son bozunma ürünü hakkındaki iddiamızı desteklemiştir. Son bozunma ürününün renginin siyah olması ve deneysel ağırlığının kaybının teorik ağırlık kaybından yaklaşık %1 daha fazla olması, termal analiz işleminin inert azot atmosferinde yapılmasına bağlı olarak, yetersiz oksijen nedeniyle tam yanmanın gerçekleşmemesine yorumlanmıştır. Tam olarak yanamayan bir miktar organik kalıntının metal oksit kalıntısı üzerine karbonize karbon olarak çökmesinden kaynaklanmaktadır (Ünlü, 2024).

Zn(II) nikotinat kompleksin termal bozunması dört adımda gerçekleşmiştir. Bozunma 77-226 °C sıcaklık değerleri arasında, metal merkezine koordineli durumda olan iki adet kristal suyunun ayrışmasıyla başlamıştır. İkinci adımda 228 ile 303 °C sıcaklık değerleri arasında metal katyonuna nötral koordine olan iki tane N, N-dietilnikotinamid (dena) ligandının yanarak bozunması gerçekleşmiştir. Üçüncü ve dördüncü aşamalarda, monoanyonik-monodentat (tek dişli) olarak yapıya koordinasyon sağlamış iki adet nikotinat ligandın ayrı ayrı bozunması meydana gelmiştir. Bu adımların teorik ve deneysel ağırlık kayıplarının (den. %15.11; teo. %15.11) ve (den. %17.77; teo. %17.19) birbiriyle uyumlu olması da önerilen iddiayı güçlendirmektedir (Tablo 3.1). Zn(II) nikotinat kompleksinin termal ayrışmasının kalıntı ürününün ZnO olduğu toz XRD analizi ile doğrulanmıştır. Yine diğer komplekste (Ni(II) nikotinat) olduğu gibi, yanamayan karbonize karbon son kalıntı ürünü metal oksidin üzerinde birikerek renginin beyaz yerine siyah olması ve deneysel ağırlık kaybının teorik ağırlık kaybına göre biraz daha yüksek olmasına neden olmuştur (Aybirdi, 2008).

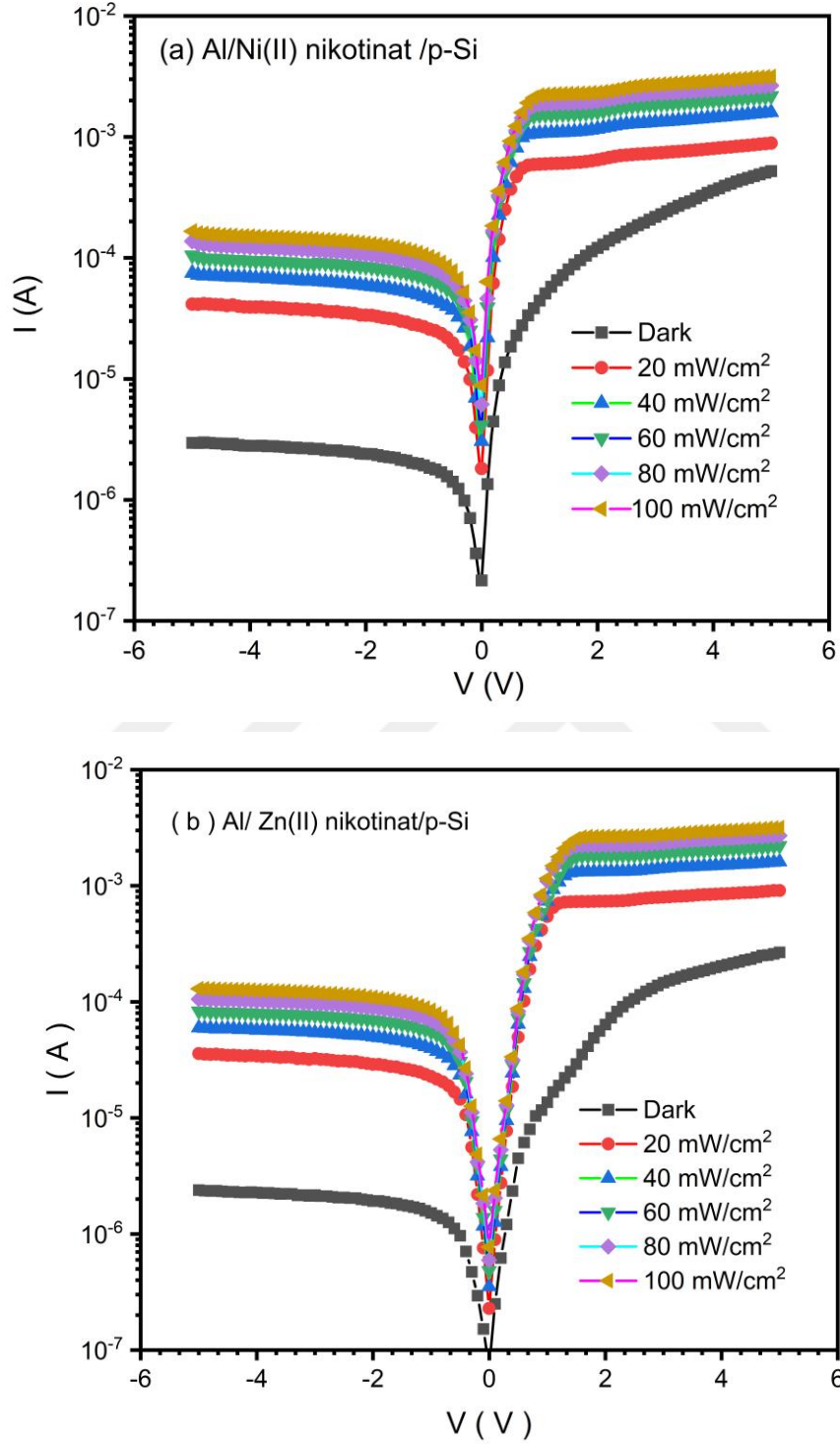


**Şekil 3.2.** a) Ni (II) nikotinat kompleksi ve b) Zn (II) nikotina kompleksinin UV-görünür bölge spektrometre grafikleri

Şekil 3.2a ve Şekil 3.2b’de sırasıyla Ni (II) nikotinat kompleks ve Zn (II) nikotinat kompleksinin UV-görünür bölge spektrometre grafikleri verildi. Bu grafiklerden Ni (II) nikotinat kompleksin ve Zn (II) nikotinat kompleksin bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri sırasıyla 3.87 ve 4.04 eV olarak bulundu. Elde edilen bu  $E_g$  değerlerinden, sentezlenen metal merkezli nikotinat komplekslerin, enerji bant aralığı değerinin güneş pili uygulamalarında kullanılmak için yüksek olduğu ancak UV fotodetektör üretiminde kullanılabileceği görüldü. UV dedektörlerinde kullanılan malzemelerin enerji band aralığı, ultraviyole ışığın algılanabilmesi için geniş bant aralığına sahip olmalıdır. Genellikle 3 eV ve üzeri enerji band aralığına sahip yarı iletkenler tercih edilir. Örneğin, galyum nitrür (GaN), çinko oksit (ZnO) ve silikon karbür (SiC) gibi malzemeler UV dedektörlerinde yaygın olarak kullanılır.



### 3.2 Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si Diyotların Elektriksel Özellikleri



**Şekil 3.3.** a) Al/Ni(II) nikotinat kompleks/p-Si ve b) Al/ Zn(II) nikotinat kompleks/p-Si diyotların I-V karakteristikleri

Şekil 3.3a ve Şekil 3.3b'de Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların karanlık ve farklı ışık şiddeti altında (0 -100 mW/cm<sup>2</sup>) I-V karakteristikleri verildi. Şekilde 3.3a ve Şekil 3.3b de görüldüğü gibi her iki diyot için ± 5 V aralığında akım ölçüldü. Ters beslem bölgesindeki farklı ışık şiddetlerinde akım gerilim karakteristikleri kullanılarak her iki yapının fotodiyot özellikleri, ileri beslem bölgesindeki akım gerilim karakteristikleri incelenerek diyotların ışık altındaki seri direnç ( $R_s$ ), bariyer yüksekliği ( $\Phi_{B0}$ ) ve idealite faktörü ( $n$ ) gibi temel elektriksel parametrelerinin değişimi belirlendi.

İleri beslem bölgesinden temel elektriksel özelliklerin belirlenmesi için aşağıda kısaca teorisi açıklanan Termiyonik Emisyon (TE) teorisi kullanıldı (Sze, 1981).

TE teorisine göre

$$J_{sm} = \int_{E_F + q\phi_B}^{\infty} qv_x dn \quad (3.1)$$

olarak ifade edilir ve burada  $E_F + q\phi_B$  metalden TE için gerekli minimum enerji,  $V_x$  ise iletim yönündeki taşıyıcı hızıdır.  $dn$ , küçük bir enerji aralığında enerji yoğunluğudur. Bu ifadeden hareketle metal/p-tipi yarı iletken kontaklarda metalden yarı iletkene geçen elektronlar için akım denklemi,

$$J_{sm} = \left( \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-q(\Phi_B)}{kT} \right] \exp\left( \frac{qV}{kT} \right) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. İfade de  $m^*$  taşıyıcının etkin kütlesi,  $k$  ve  $h$  sırasıyla Boltzmann ve Planck sabitleridir. Buradan

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left( \frac{-q\Phi_B}{kT} \right) \exp\left( \frac{qV}{kT} \right) \quad (3.4)$$

ifadesi tanımlanır. Burada  $A^*$ , TE için Richardson sabitidir.

Metalden yarı iletkene hareket eden elektronlar için engel yüksekliği aynı kaldığı için yarı iletkene akan akım yoğunluğu uygulanan gerilimden etkilenmez. Bu akım yoğunluğu dengede ( $V=0$ ), yarı iletkenden metale geçen akım yoğunluğuna eşittir. Buna göre metalden yarı iletkene doğru iletilen akım

$$J_{ms} = -A^* T^2 \exp\left( \frac{-q\Phi_B}{kT} \right) \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilir.

Toplam akım yoğunluğu Eş. (3.4) ve Eş. (3.5) denklemlerinin toplamı olup,

$$J_n = \left[ A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right) \right] \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.6)$$

elde edilir. Burada  $A^*T^2\exp(-q\phi_B/kT)$  terimi, doyum akım yoğunluğu ise

$$I = I_o \left[ \exp\left(-\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.7)$$

olur ve  $I_o$  doyum akımı formüsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir (Turut, 2020).

$$I_o = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_b}{kT}\right) \quad (3.8)$$

Bu ifade  $q$ ,  $T$ ,  $\phi_{Bo}$ ,  $A$ ,  $k$  ve  $A^*$  sırasıyla yükü, sıcaklığı, bariyer yüksekliğini, diyot alanı, Boltzmann sabitini ( $k= 1.380649 \times 10^{-23}$  J/K) ve Richardson sabitini (p-tipi Si için  $32$  A/cm<sup>2</sup>K<sup>-2</sup>) ifade etmektedir.

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

(3.9)

ve

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

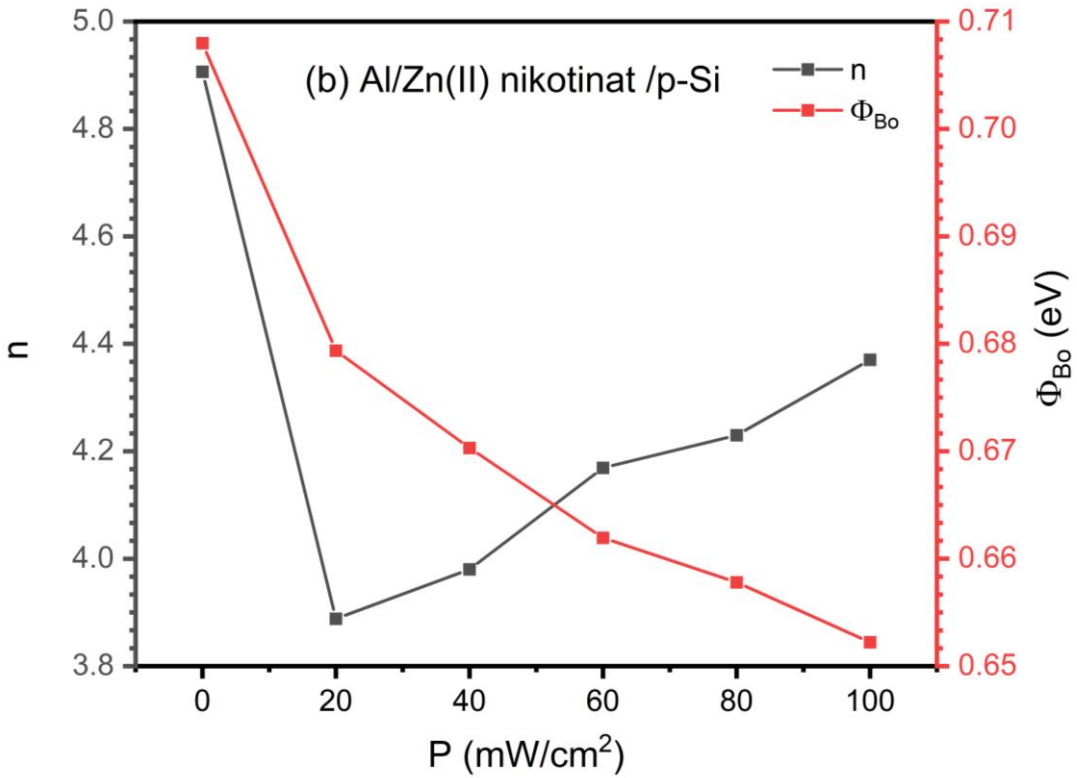
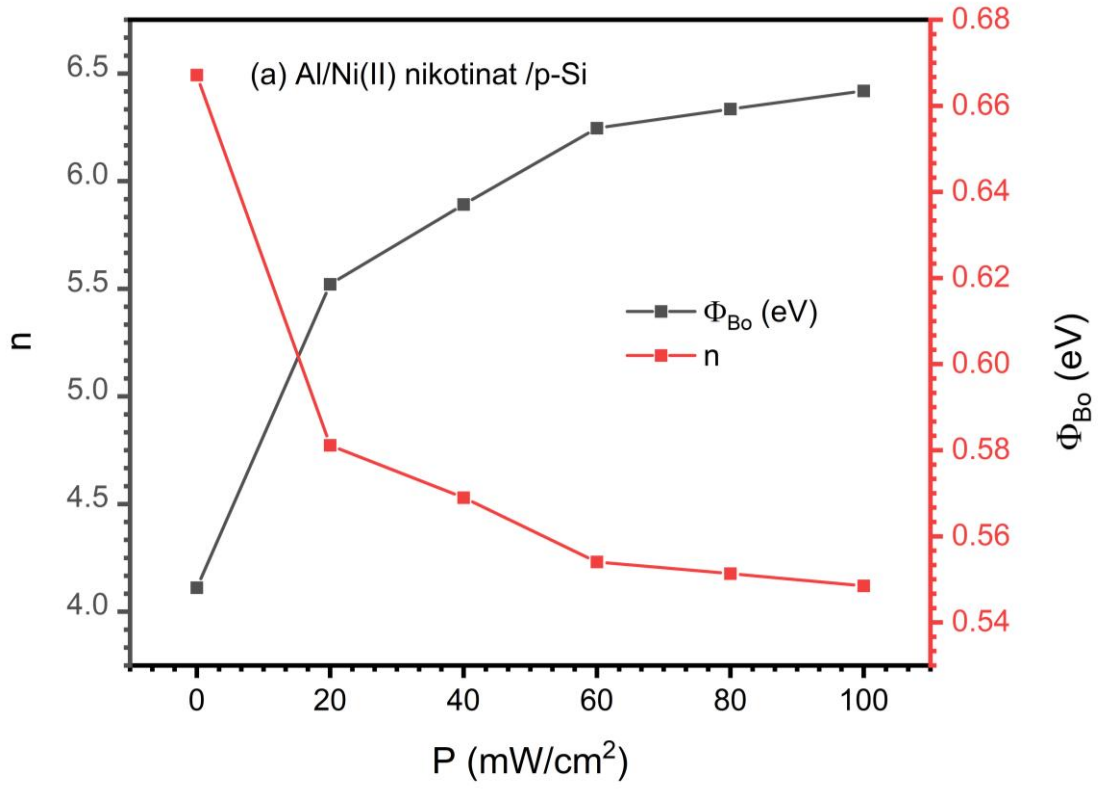
(3.10)

Eş.3.9 ve Eş. 3.10'dan sırasıyla  $n$  ve  $\phi_{Bo}$  değerleri Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotlar için belirlendi (Yıldız, 2020).

Şekil 3.3a ve b'den her iki diyotta da doğrultuculu özelliğinin (RR) var olduğu görüldü. Tablo 3.2'den de anlaşılacağı gibi karanlık I-V karakteristiklerinden doğrultma oranları Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotlar için sırasıyla 176.11 ve 111.65 belirlendi ve Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si fotodiyotun doğrultma oranının daha yüksek olduğu tespit edildi. Ayrıca her iki diyot için artan ışık şiddetiyle doğrultma oranının azaldığı görüldü. Şekil 3. 3a ve Şekil 3. 3b'de görülen Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların I-V karakteristiğinden ileri beslem (pozitif gerilim bölgesi) kullanılarak ışık şiddetine bağlı olarak  $n$  ve  $B_o$  Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotlar için belirlendi ve bu değerler Tablo 3.2'de sunuldu.

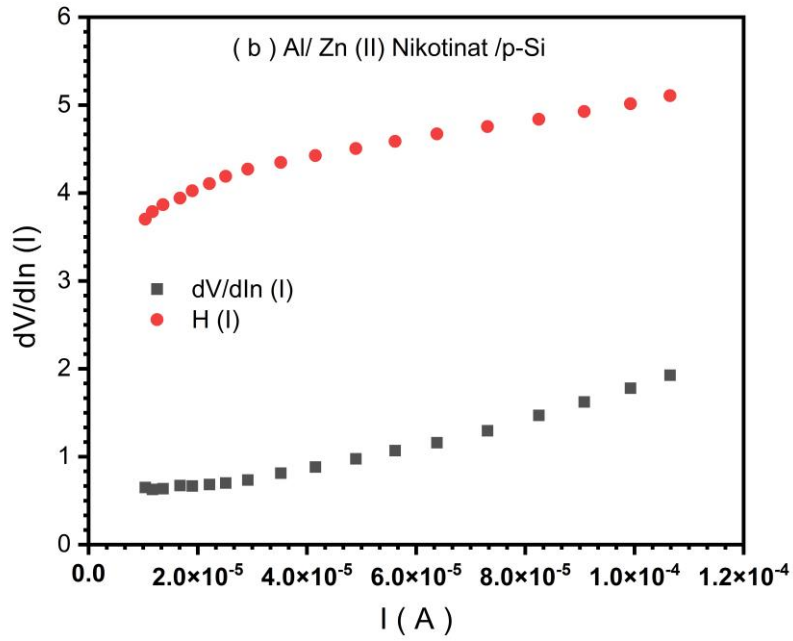
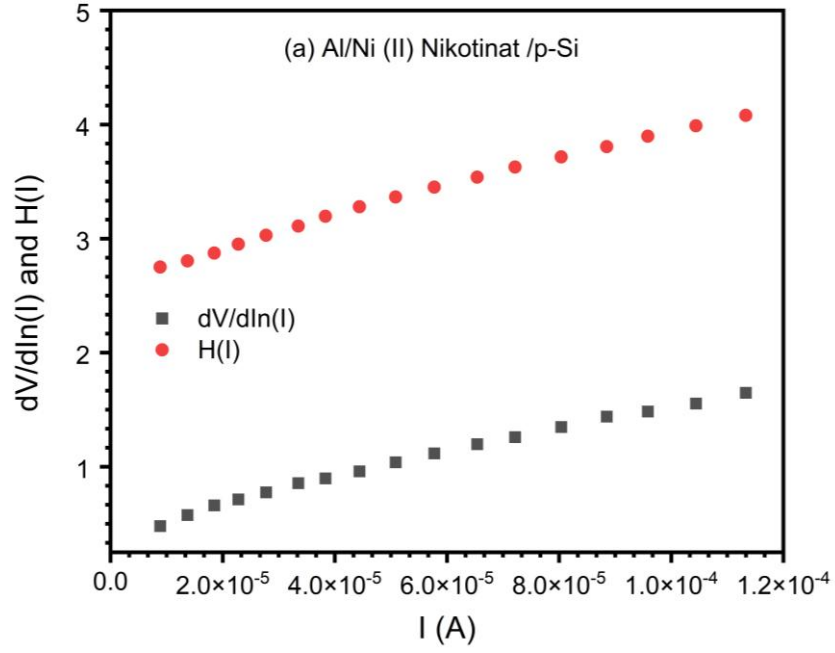
**Tablo 3.2.** Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotlar için ışık şiddetine (0-100 mW/cm<sup>2</sup> ) bağlı olarak hesaplanan idealite faktörü, seri direnç, sıfır beslem bariyer yüksekliği ve doğrultma oranı gibi temel elektriksel parametreler

	n	$\Phi_B$ (eV)	RR	$R_s(k\Omega)$			
<b>Ni-</b>							
<b>Komplex</b>							
<b>0</b>	4.111	0.667	176.11	<b>dV/dln(I)</b> 10.830	<b>H(I)</b> 11.695	<b>dV/dln(I)</b> 0.792	<b>H(I)</b> 0.761
<b>20</b>	5.521	0.581	21.41				
<b>40</b>	5.891	0.569	21.34				
<b>60</b>	6.246	0.554	20.74				
<b>80</b>	6.336	0.551	19.31				
<b>100</b>	6.419	0.548	18.93				
<b>Zn-</b>							
<b>Komplex</b>							
<b>0</b>	3.606	0.708	111.65	<b>dV/dln(I)</b> 13.164	<b>H(I)</b> 13.310	<b>dV/dln(I)</b> 0.834	<b>H(I)</b> 0.796
<b>20</b>	3.888	0.679	27.37				
<b>40</b>	3.390	0.670	26.94				
<b>60</b>	4.169	0.662	26.61				
<b>80</b>	4.230	0.658	25.68				
<b>100</b>	4.370	0.652	24.41				



**Şekil. 3.4.** a) Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve b) Al/ Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların ışık şiddetine bağlı n ve  $\Phi_{Bo}$  değerleri değişimi

Eş. 3.9 ve Eş. 3.10'dan hesaplanan ve Tablo 3.2 de sunulan  $n$  ve  $\Phi_{Bo}$  değerleri kullanılarak Al/Ni(II) nikotinat /p-Si ve b) Al/ Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların ışık şiddetine bağlı  $n$  ve  $\Phi_{Bo}$  değişimi grafiği Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b verildi. Literatürden bilindiği gibi artan ışık şiddetiyle sıfır beslem bariyer yüksekliği ( $\Phi_{Bo}$ ) azalır ve bu durum da idealite faktörünün artmasına neden olur (Ünlü, 2024; Yıldız, 2008; Yıldız,2018; Yıldız, 2008; Yıldız, 2020; Koçyiğit, 2024). Üretmiş olduğumuz Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların hesaplanan  $n$  ve  $\Phi_{Bo}$  değerlerine Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b yardımıyla bakıldığında ise  $\Phi_{Bo}$ 'nin artan ışık şiddeti ile azaldığı,  $n$  değerinin artan ışık şiddeti ile arttığı görülmektedir. Schottky bariyer fotodiyota uygulanan ışık yoğunluğu arttığında karanlık durumda baskın olmayan rekombinasyon ve taşıma mekanizmalarının artan ışık yoğunluğu ile davranış değişikliğine uğraması özellikle rekombinasyon sürecinin yüzey ve arayüzey rekombinasyonu ile artması, bariyer yüksekliği ve metal-yarıiletken arayüzeyindeki yük dağılımının değişmesi eklemem TE davranışından sapmasına ve idealite faktöründen uzaklaşmasına neden olmaktadır. Jia ve ark. yüksek yoğunluklu ışık altında GAN tabanlı LED'de yüzey rekombinasyonun arttığını bunun ise  $n$  değerinin artışına neden olduğunu rapor etmiştir (Jia ve ark., 2023). Aynı zamanda  $n$  değerindeki bu sapma arayüzey durumları, malzeme özellikleri ve kusurlardan da etkilenir (Ryu ve ark., 2019).  $n$  ve  $\Phi_{Bo}$  değerlerinin Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si fotodiyotta 0-100 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti aralığında 4.111-6.419 ile 0.667-0.548 eV aralığında değiştiği Tablo 3.2 ve Şekil 3.4a'dan görülmektedir. Aynı zamanda da  $n$  ve  $\Phi_{Bo}$  değerlerinin Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotta 0-100 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddeti aralığında 3.606-4.370 ile 0.708-0.652 eV aralığında değiştiği Tablo 3.2 ve Şekil 3.4b'den görülmektedir. Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotlara ait elektriksel parametreler değerlendirildiğinde ise daha düşük idealite faktörüne sahip olan Al/Zn(II) nikotinat/p-Si diyotun daha iyi elektriksel özelliklere sahip olduğu belirlendi. Her iki diyot içinde elde edilen  $n$  değeri ideal diyot değeri olan 1'den oldukça yüksektir. Bu durum metal/yarı iletken arasına yerleştirilen ara yüzey tabakası etkisinin bir sonucudur. Au/indigo/n-Si diyot için de idealite faktörü 4.39 belirlenmiş ve bu değer ideal diyot değeri olan 1'den çok büyük olması ara yüzey katmanına atfedilmiştir (Manthrammel, 2019). Pek çok araştırmacı ara yüzey tabakasına sahip metal/yarı iletken Schottky diyotlar (MY veya MYY) için 1'den büyük idealite faktörünün elde edilmesinin literatüre uygun olduğu belirtilmiştir (Manthrammel, 2019; Yıldız,2018; Yıldız, 2008; Yıldız, 2020; Gullu, 2021; Yiğiterol, 2018). Karabulut ve ark. (Karabulut, 2019), Rutenyum kompleks ara katmanına sahip silikon bazlı bir fotodetektör için elektriksel parametreleri araştırmış ve bu diyot için  $\Phi_{Bo}$  ve  $n$  değerlerini sırasıyla 0.59 eV ve 9.42 olarak belirtmiştir.



**Şekil 3. 5.** a) Al/Ni (II) Nikotinat /p-Si ve b) Al/ Zn (II) Nikotinat /p-Si diyotların karanlık I-V verilerinden elde edilen Cheung fonksiyonu grafikleri

Fotodiyotların performansının belirlenmesinde seri direnç ( $R_s$ ) de  $n$  ve  $\Phi_{Bo}$  değeri kadar önemlidir. Bu nedenle Metal/Yarı iletken (MY) ve Metal/Yalıtkan/Yarı iletken (MYI) diyotlarda seri direncin belirlenmesi için güvenli bir metot olarak kabul edilen Cheungs fonksiyonları kullanılarak Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların seri dirençleri belirlendi (Çaldıran, 2014; Taşyürek, 2021). Şekil 3.5a ve Şekil 3.5b'de Al/Ni(II) Nikotinat /p-Si ve Al/ Zn(II) Nikotinat/p-Si diyotların karanlık I-V verilerinden elde edilen Cheung fonksiyonu grafikleri sunuldu.

Cheung fonksiyonları yöntemi aşağıdaki iki temel denklemi içermektedir (Çaldıran, 2014);

$$\frac{d(V)}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (3.11)$$

$$H(I) = n\Phi b + IR_s \quad (3.12)$$

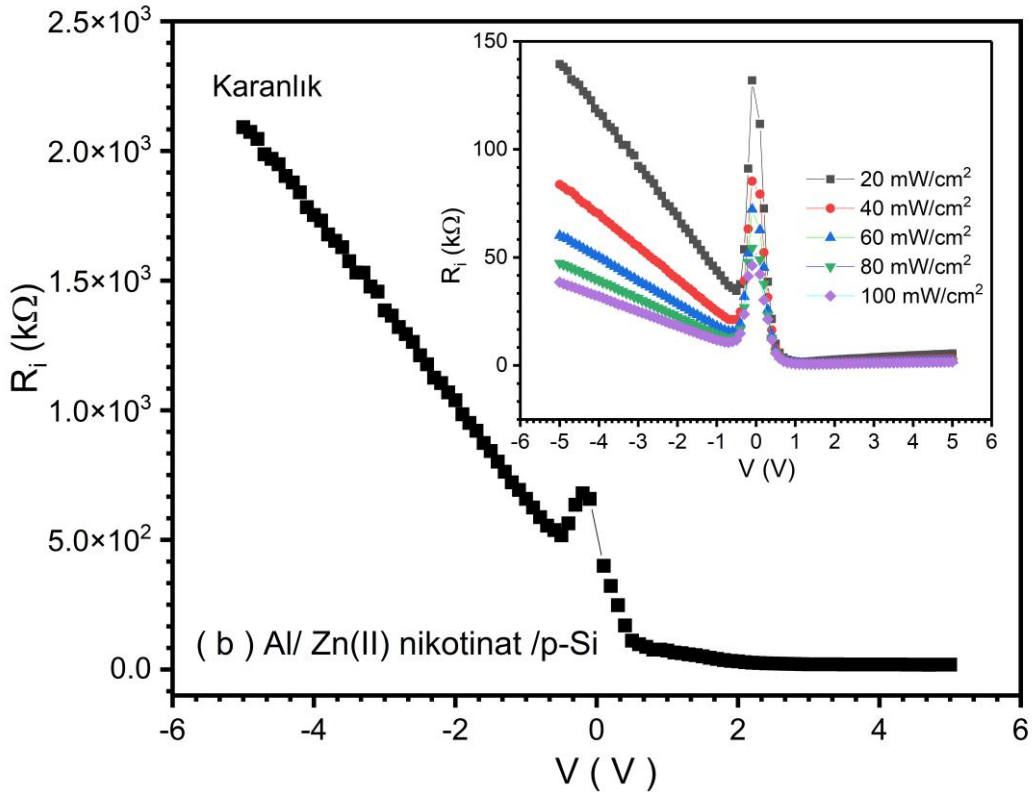
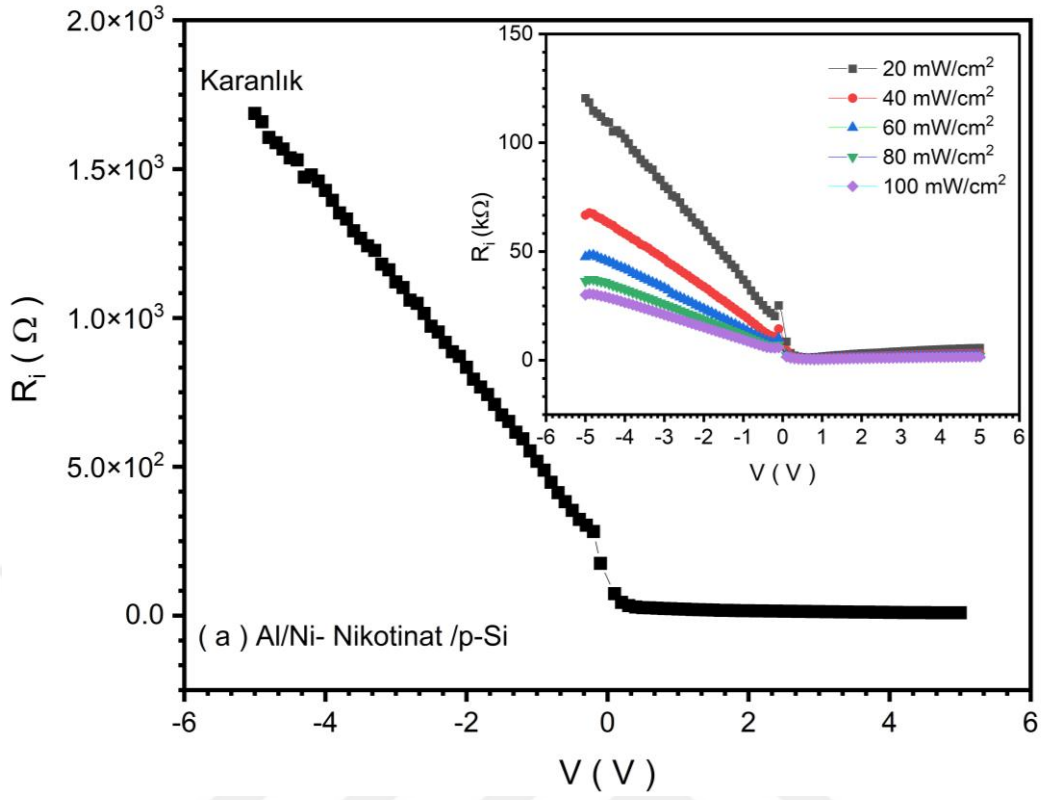
Eş. 3.11 ve Eş. 3.12 kullanılarak elde edilen  $dV/d\ln(I) -I$  ve  $H(I)-I$  grafiklerinin doğrusal olması gerekir. Bu grafiklerin eğiminden diyotların seri dirençleri elde edilir (Çaldıran, 2014; Taşyürek, 2021). Aynı zamanda  $dV/d\ln(I)-I$  grafiğinin kesme noktasından  $n$ ,  $H(I)-I$  grafiğinin kesme noktasında ise  $\Phi_{Bo}$  değeri belirlenir(Çaldıran, 2014). Eş. 3.11 ve Eş. 3.12 de verilen Cheungs fonksiyonları kullanılarak Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların için elde edilen  $R_s$  değerleri Tablo 3.2'de sunuldu. Tablo 3.2'den görüldüğü gibi Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat /p-Si diyotların için karanlık altında  $R_s$  değerleri  $dV/d\ln(I) -I$  grafiğinden sırasıyla 10.830 k $\Omega$  ve 13.164 k $\Omega$ ,  $H(I)-I$  grafiğinden sırasıyla 11.695 k $\Omega$  ve 13.310 k $\Omega$  belirlendi. Görüldüğü gibi her iki diyot içinde  $dV/d\ln(I)-I$  ve  $H(I)-I$  fonksiyonlarından belirlenen seri direnç değerleri birbirine çok yakın elde edildi. Her iki diyot için  $R_s$  değerlerinin birbirine yakın olması Cheungs fonksiyonlarının güvenilirliğini bizlere gösterdi (Ünlü, 2024; Taşyürek, 2021).

Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların seri direncinin belirlenmesi için kullanılabilecek bir başka metot ise Ohm yasasına göre karanlık I-V verilerinden  $R_i$  ( $R_i = \partial V / \partial I$ ) değerinin belirlenmesidir. Ters beslemdeki  $R_i$  değeri şönt direnci ( $R_{sh}$ ), ileri beslemdeki  $R_i$  değeri ise seri direncin ( $R_s$ ) belirlenmesini sağlar (Chattopadhyay,1996). Aynı zamanda  $R_{sh}$  ve  $R_s$ , ters I-V karakteristiğinin ve ileri beslemdeki TE teorisi ile uyumlu I-V karakteristiğinin açıklanmasında yardımcı olur. Diyotun iyi bir performans göstermesi için  $R_s$ 'nin düşük olması gerekmektedir.  $R_s$  aynı zamanda diyot kontak alanı ( $A$ ), diyotu oluşturan ara yüzey tabakaları (Ni(II) nikotinat/p-Si ve Zn(II) nikotinat/p-Si) ve diyot yapısına (Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si) bağlıdır. Lokalize arayüz durumlarına neden olabilen yüzeydeki homojensizlikler ve kontak metali yüksek  $R_{sh}$  değerlerine neden olabilir. (Gullu, 2019). Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b'deki grafik ışık şiddetine bağlı seri direnç değişimini ( $R_i-V$ ) -5 V ile +5 V aralığında göstermektedir. Tablo 3.3'de ise ışık şiddetine bağlı olarak her iki diyotun  $R_s$  ve  $R_{sh}$  değerleri sunuldu. Bilindiği gibi ileri beslem bölgesin için Al/Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn (II)

nikotinat/p-Si diyotlar için  $R_i$ ,  $R_s$  değeridir. Şekil 3.6 ve Tablo 3.3'den görüleceği gibi her iki diyot için de artan ışık şiddetiyle  $R_s$  ve  $R_{sh}$  değerleri azalmaktadır. Aynı zamanda Şekil 3.6a ve Şekil 3.6b'den görüldüğü gibi artan gerilim ile de  $R_s$  değeri azalmaktadır. Tablo 3. 3'ten de görülebileceği gibi ışık şiddetindeki artış her iki bölgede de (pozitif ve negatif gerilim bölgeleri)  $R_i$ 'yi azaltıcı bir etkiye sahiptir. Buradaki direnç düşüşü, ışık şiddetindeki artış sayesinde ara yüzeydeki yük hareketliliğinin artması ve yüklerin hapsedilemeyişi ile artan gerilimle ara yüzeydeki kimyasal bağların kopmasının sonucudur (Coşkun, 2015).

**Tablo 3.3.** Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların  $R_i$ -V grafiğinden elde edilen  $R_{sh}$  ve  $R_s$  değerleri

P	Ni (II) nikotinat		Zn (II) nikotinat	
	$R_{sh}(k\Omega)$	$R_s(k\Omega)$	$R_{sh}(k\Omega)$	$R_s(k\Omega)$
	-5V	5V	-5V	5V
<b>Karanlık</b>	1686.932	9.579	2092.147	18.738
<b>20 mW/cm<sup>2</sup></b>	120.495	5.628	139.477	5.498
<b>40 mW/cm<sup>2</sup></b>	66.724	3.127	83.764	3.109
<b>60 mW/cm<sup>2</sup></b>	47.578	2.294	60.147	2.260
<b>80 mW/cm<sup>2</sup></b>	36.355	1.883	47.379	1.845
<b>100 mW/cm<sup>2</sup></b>	30.069	1.589	38.537	1.579

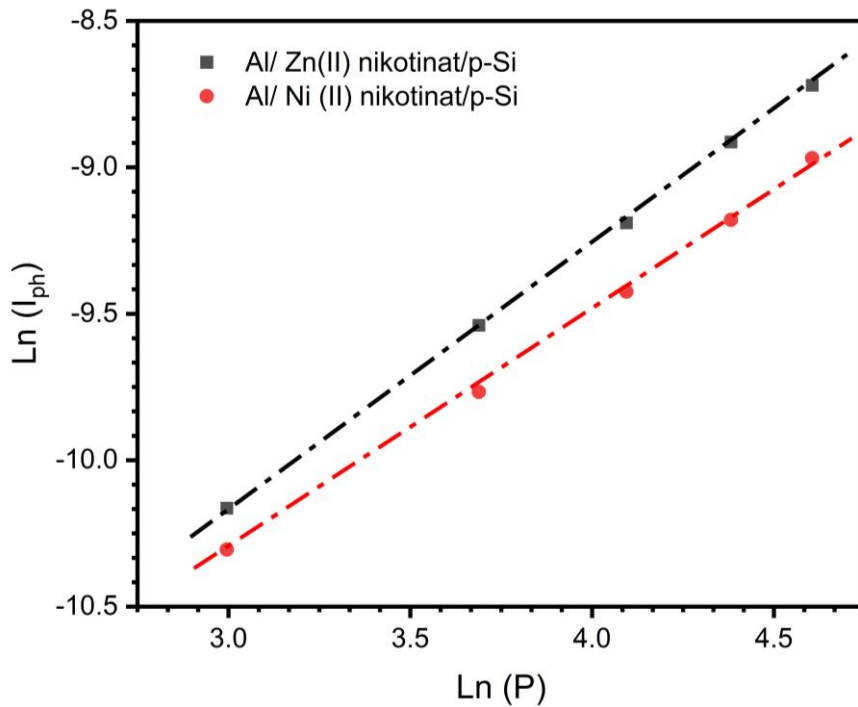


**Şekil 3.6.** a) Al/Ni (II) Nikotinat /p-Si ve b) Al/ Zn (II) Nikotinat /p-Si diyotların karanlık I-V verilerinden elde edilen  $R_s$ -V grafikleri

Fotodiyotlar için fotodiyot parametrelerin belirlenmesi ve fotoiletkenlik oranlarının açıklanması önemli bir konudur. Bu nedenle Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn- Nikotinat /p-Si diyotlarda bunu belirlemek için öncelikle  $\ln(I_{ph})-\ln(P)$  grafiği (Şekil 3.7) çizildi ve ışık şiddetine bağlı olarak  $I_{ph}$  değişimi logaritmik olarak incelendi. Literatürden de bilindiği gibi

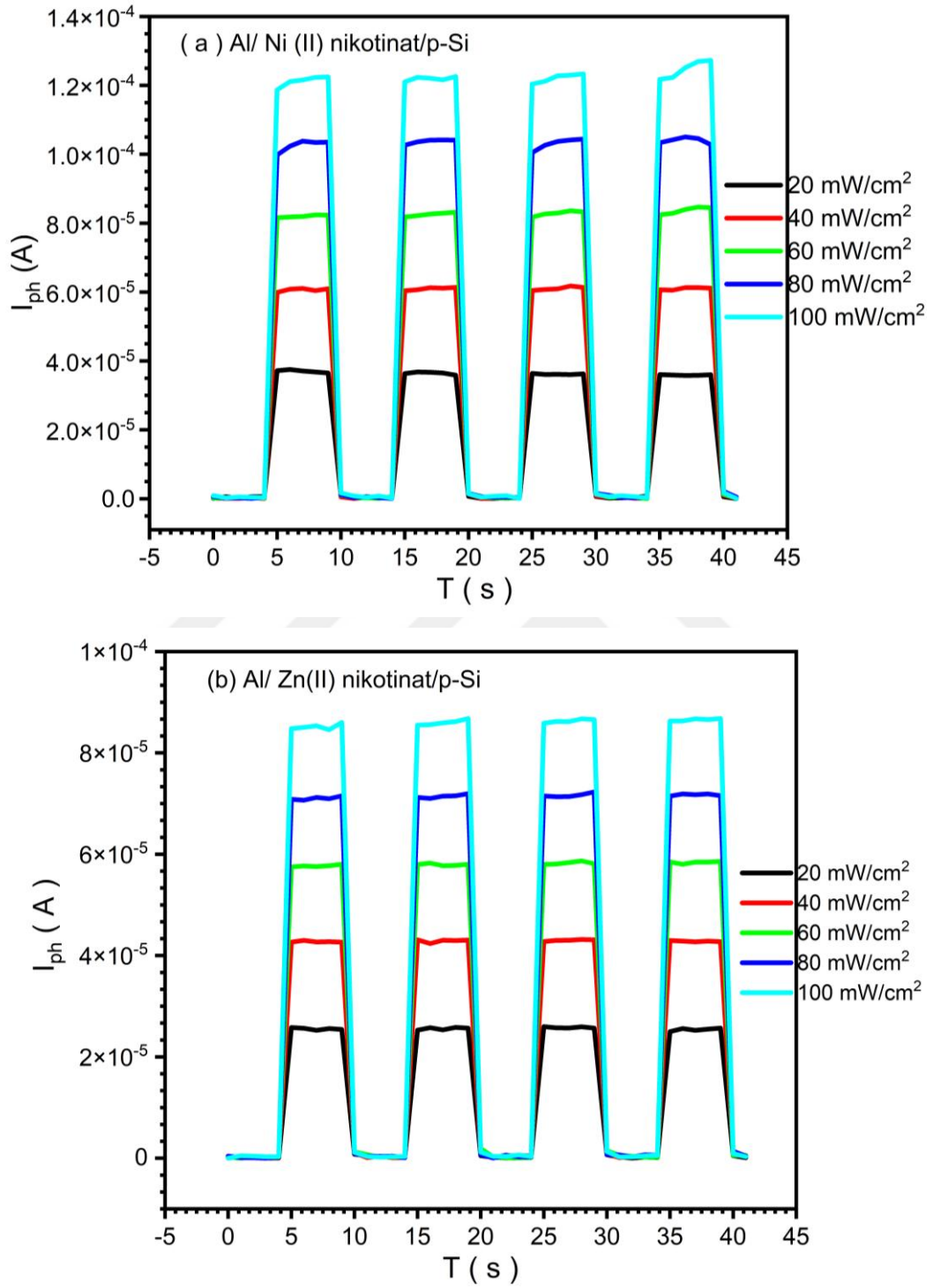
$$I_{ph} = GP^m \quad (3.13)$$

olup Eş.3.13'de, G, m, P ve  $I_{ph}$  sırasıyla bir sayısal sabit değer, üs sayısı, ışık yoğunluğu ve foto akımdır (Demirbilek, 2021; Gozeh, 2018; Soylu, 2014; Cavas, 2013, Karadeniz, 2025; Yıldız, 2023). Fotokondüktivite mekanizmasını değerlendirmek için kullanılan terim m'nin değeri, Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotlar için sırasıyla 0.811 ve 0.902 olarak bulundu. Belirlenen m değerinin 1'den az olması lokalize tuzak seviyelerinin sürekli bir dağılım göstermesine atfedilir (Gozeh,2018; Soylu,2014; Cavas,2013). Gozeh ve ark. (Gozeh,2018) silikon üzerine Cd ve La katkılı ZnO filmini ara yüzey katman kullanarak fotodiyot üretmişler ve m değerini 0.93 olarak belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise ara katman olarak GaFeO<sub>3</sub> malzemesi kullanılarak üretilen bir fotodiyot için m değeri 0.49 olarak elde edilmiştir (Soylu, 2014). Ayrıca literatürde m değerinin 1'den yüksek olması yerleştirilmiş arayüz durumlarının mobilite boşluğu üzerinde eşit olarak dağıldığına atfedilmektedir (Cavas, 2013; Karadeniz, 2025; Yıldız, 2023).



Şekil 3.7. a) Al/ Ni (II) nikotinat/p-Si ve b) Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların  $\ln(I_{ph})-\ln(I)$  grafiği

Şekil 3. 8’de, Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların 20 -100 mW/cm<sup>2</sup> ışık yoğunluğu aralığında, foto-tepki karakteristikleri ( $I_{ph}$ - t) verildi.

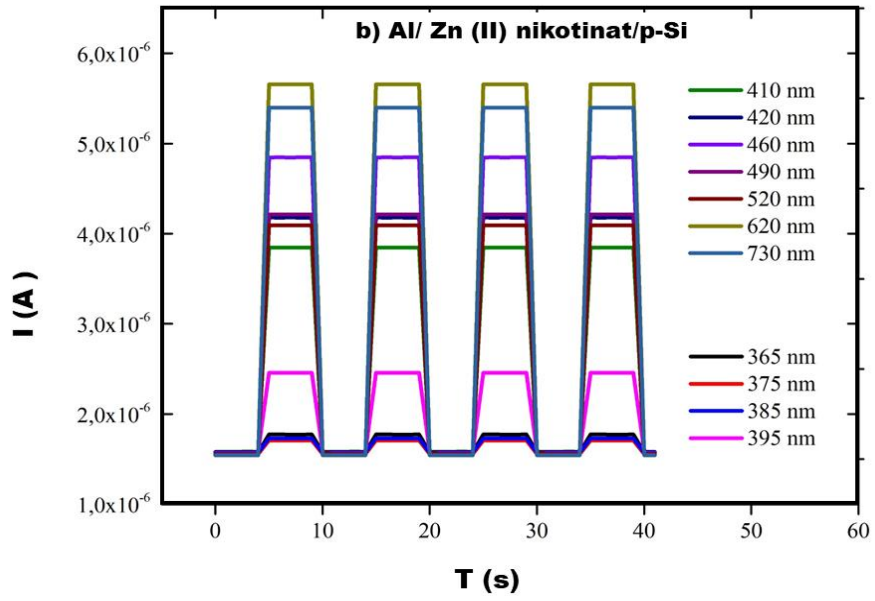
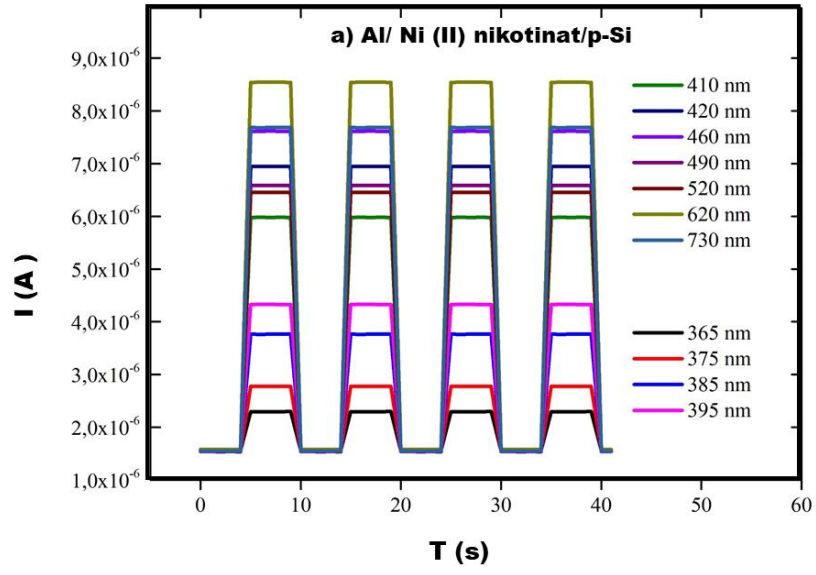


Şekil 3.8. a) Al/ Ni (II) nikotinat/p-Si ve b) Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotların  $I_{ph}$ -T grafiği

Şekil 3.8'den artan ışık yoğunluğuyla  $I_{ph}$ ' in hızlı bir akım artışıyla belirli bir maksimum değere ulaştığı (0-4.5 s içinde) ve sonrasında (4.5-9.5 s) boyunca bu maksimum değerinde kalarak ilerleyen süreçte 0-4.5 s'deki davranışını devam ettirerek zamanla birbirini tekrar eden periyodik davranış gösterdiği tespit edildi. Yani anahtar aç/kapa hareketiyle fotoakımın ilk değerine geri döndüğü gözlemlendi. Bu gözlem tüm fotodiyotların  $I_{ph}$ -t davranışı için geçerlidir ve literatüre uygundur (Ünlü, 2024; Yıldız, 2024; Sürücü, 2024; Yıldız, 2023; Kocyigit, 2024).

Bir fotodiyotun ışık yoğunluğuna duyarlılığının ifadesi olan  $I_{açık}/I_{kapalı}$  oranı her iki fotodiyot için hesaplandı ve bu oranın Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si fotodiyotta Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyottan daha yüksek olduğu tespit edildi. Işık fotodiyot üzerine uygulandığında, ışık şiddetiyle uyarılan arayüzeyde rekombinasyon artacağı için taşıyıcı yükleri artar dolayısıyla da foto akım artar. Diyot üzerine uygulanan ışık şiddeti ortamdan kaldırıldığında (aydınlatma kesildiğinde) ise fotodiyot üzerindeki serbest elektronlar azalır ve fotodiyot üzerindeki akım düşer. Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si diyotun fotodiyot özellikleri metal merkezli nikotinat komplekslerin içerisinde yer alan ara yüzey tuzaklarıyla ilişkilidir (Gozeh,2018; Cavas,2013) ve oluşan fotoakım ışık şiddetinin uygulanıp uygulanmaması durumu arasında yani ışığın açık durumdan kapalı duruma geçişi sürecinde değişmektedir. Bu değişim ise uygulanan ışık şiddeti ile derin tuzak seviyelerinde yer alan taşıyıcıların uygulanan ışık şiddetine göstermiş olduğu tepkisinin sonucudur (Orak, 2022; Cavas,2013; Ünlü, 2024). Uygulanan ışık şiddeti yoğunluğu ile akımın düşme ve yükselme zamanları dijital osiloskop kullanılarak belirlenebilmektedir. Yükselme (düşme) süreleri Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyot için sırasıyla, 0.048 (0.037) s ve 0.057 (0.043) s belirlendi. Aynı zamanda buna ek olarak Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyot için  $I_{açık}$  ve  $I_{kapalı}$  süreleri sırasıyla 12 ve 1 s olarak belirlenmiştir (Ünlü, 2024).

Bu tezde yapılan bir diğer önemli araştırma ise dalga uzunluğunun fotoakım üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Şekil 3.9'da, farklı dalga boylarında ışığa maruz diyotların fotoakım yanıtı zamana göre gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde dalga boyu arttıkça fotoakım değerinin genel olarak arttığı, ancak bu artışın düzenli olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, değişen ışık şiddeti yoğunluğu ile değişen tuzak seviyelerinin ve ara yüzey durumlarının etkisine atfedilir (Cavas, 2013; Kocyigit, 2022; Ünlü,2024; Yıldız,2024; Sürücü,2024; Yıldız, 2023; Kocyigit, 2024). Aynı zamanda Şekil 3.9'dan görülen her iki fotodiyot için  $I_{ph}$  değerlerinin, ışık şiddeti yoğunluğunun artırılmasıyla (yani farklı dalga boylarında ışığa maruz bırakıldığında) arttığı görüldü. Bu durum fotodiyotlara gelen ışık şiddeti yoğunluğunun artırılmasıyla, tükenim bölgelerindeki taşıyıcıların sayısının artmasına ve derin tuzak yüklerindeki hareketliliğinin artışına bağlanabilir (Kocyigit, 2022; Ünlü,2024; Yıldız,2024; Sürücü,2024; Yıldız, 2023; Kocyigit, 2024). Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların performansları arasındaki farklılık ise diyotların yapımında kullanılan Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat malzemelerin sahip olduğu ara yüzey tuzak sayısı farklılığı nedeniyle ışık şiddeti yoğunluğu ile oluşan yük taşıyıcıları miktarına atfadelebilir (Yıldız,2024; Sürücü,2024; Yıldız, 2023).



**Şekil 3.9.** a) Al/ Ni (II) nikotinat/p-Si ve b) Al/ Zn (II) nikotinat/p-Si fotodiyotların farklı dalga boylarında ışığa maruz bırakılmasıyla elde edilen  $I_{ph}$ -t grafiği

Temel fotodiyot parametreleri; duyarlılık ( $R_p$ ), spesifik algılama ( $D^*$ ) ve foto akım ( $I_{ph}$ ) dır ve bu parametreler I-t grafikleri yardımıyla belirlenir. Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların temel diyot parametreler aşağıdaki eşitliklerle belirlendi (Karabulut,2022; Wang,2024; Son,2021).

$$I_{ph} = I_{ışık\ altı} - I_{karanlık} \quad (3.14)$$

$$R_p = \frac{I_{ph}}{PA}$$

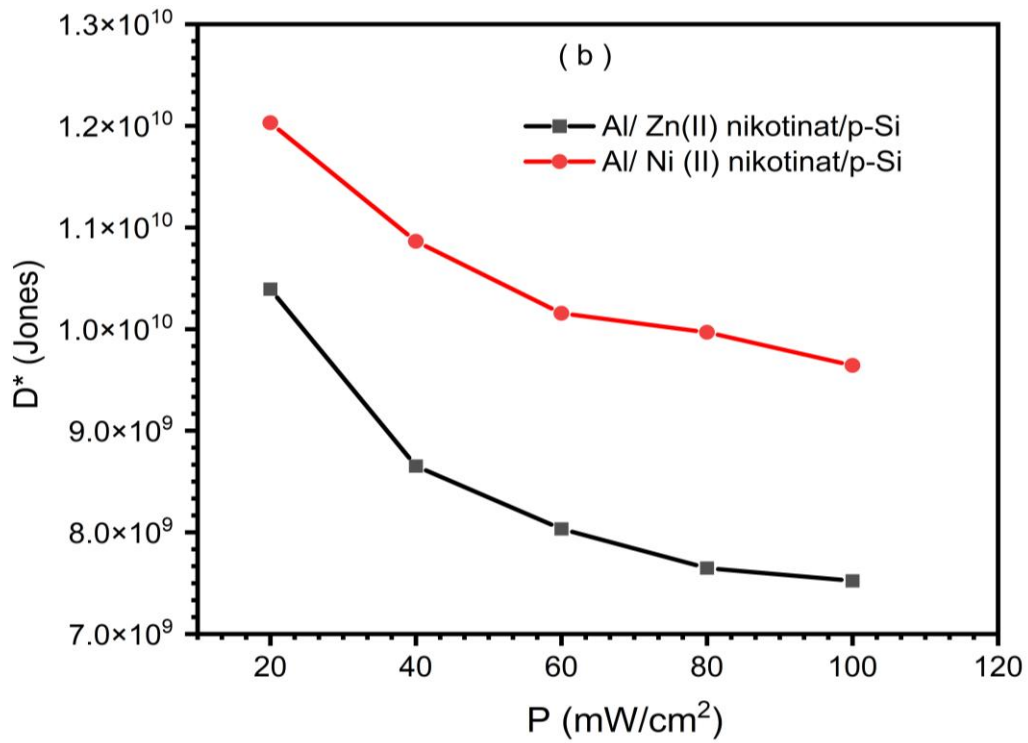
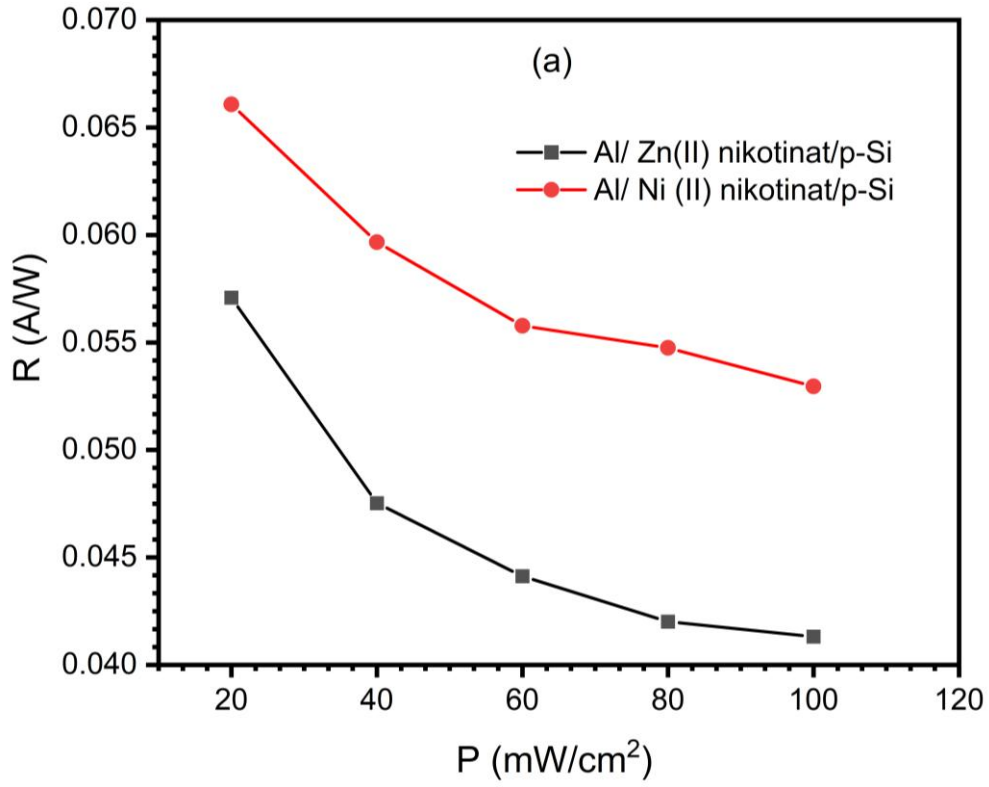
(3.15)

$$D^* = R_p \sqrt{\frac{A}{2qI_{karanlık}}} \quad (3.16)$$

Son üç eşitlikte yer alan, A ve P kısaltmaları sırasıyla aktif fotodiyot alanı ve gelen ışığın ışık şiddeti yoğunluğunu göstermektedir. Işık şiddeti yoğunluğuna bağlı olarak Eş. 3.14, Eş. 3.15 ve Eş. 3.16'dan hesaplanan temel diyot parametreleri Tablo 3.4 de verildi. Aynı zamanda değişen ışık şiddetine bağlı olarak Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların duyarlılık ( $R_p$ ) ve spesifik algılama ( $D^*$ ) değişimi sırasıyla Şekil 3.10a ve Şekil 3.10b'de gösterildi. Şekil 3.10'dan ise  $R_p$  ve  $D^*$  değerlerinin her iki foto diyotta da artan ışık şiddeti yoğunluğu ile azaldığı görüldü.

**Tablo 3.4.** Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların ışık şiddeti yoğunluğuna bağlı temel fotodiyot parametreleri

	$I_{ph}$ (A)	R(W/A)	D (Jones)
<b>Zn-Kompleks</b>			
<b>20</b>	$3.35 \times 10^{-5}$	$5.33 \times 10^{-2}$	$1.08 \times 10^{10}$
<b>40</b>	$5.73 \times 10^{-5}$	$4.56 \times 10^{-2}$	$9.24 \times 10^9$
<b>60</b>	$8.07 \times 10^{-5}$	$4.29 \times 10^{-2}$	$8.68 \times 10^9$
<b>80</b>	$1.03 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-2}$	$8.32 \times 10^9$
<b>100</b>	$1.27 \times 10^{-4}$	$4.06 \times 10^{-2}$	$8.22 \times 10^9$
<b>Ni-Kompleks</b>			
<b>20</b>	$4.15 \times 10^{-5}$	$6.61 \times 10^{-2}$	$1.20 \times 10^{10}$
<b>40</b>	$7.49 \times 10^{-5}$	$5.97 \times 10^{-2}$	$1.09 \times 10^{10}$
<b>60</b>	$1.05 \times 10^{-4}$	$5.58 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{10}$
<b>80</b>	$1.38 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-2}$	$9.97 \times 10^9$
<b>100</b>	$1.66 \times 10^{-4}$	$5.30 \times 10^{-2}$	$9.64 \times 10^9$

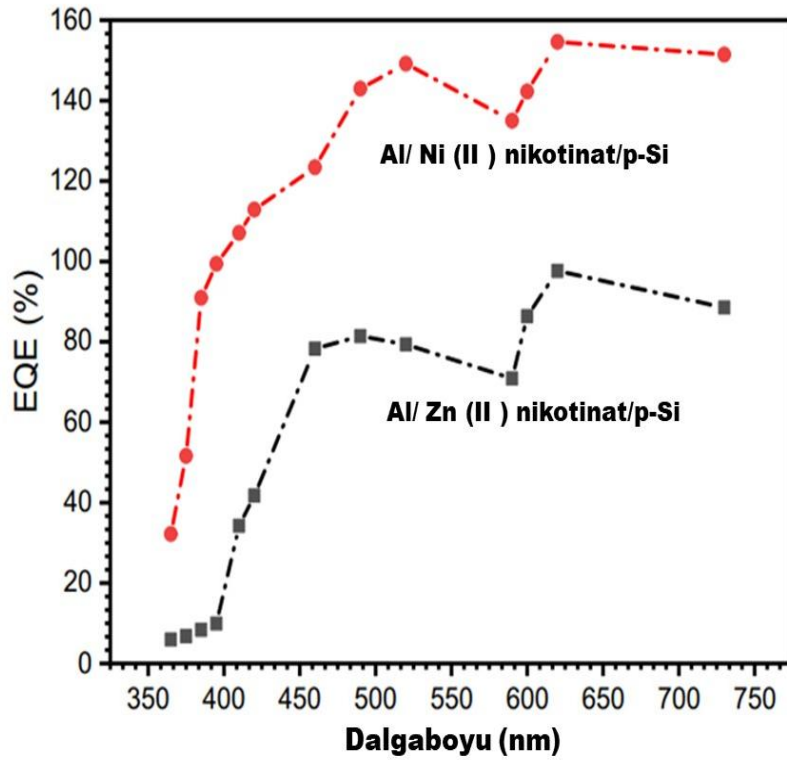


**Şekil 3.10.** Al/ Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların ışık şiddetine bağlı a) R ve b) D\* değişimi grafiği

Tez de fotodiyotlar için belirlenen bir diğer önemli değer ise aşağıdaki formül kullanılarak elde edilen dış kuantum verimliliği (EQE) değeridir (Kocyigit, 2022).

$$EQE = R \left( \frac{hc}{q\lambda nm} \right) \quad (3.17)$$

EQE değeri foto taşıyıcıların toplanma verimliliğini etkileyen en önemli parametredir ve cihazla etkileşime giren her fotonun ortaya çıkardığı elektron sayısını ifade eder (Kocyigit,2022; Pierre, 2015). Uygulanan farklı dalga boyundaki aydınlatmalar için Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların EQE değerleri Eş. 3.17' den hesaplandı ve bu değerler Tablo 3.5'te sunuldu. Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların dış kuantum verimlilik (EQE) profilleri ise Şekil 3. 11' de verildi.



**Şekil 3.11.** Al/ Ni (II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların dış kuantum verimlilik (EQE) profilleri

Tablo 3.5'den görüldüğü gibi Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların hesaplanan dış kuantum verimlilik (EQE) değerleri sırasıyla 5.94–88.33% ve 32.18–151.45% aralığındadır. Üretilen Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların ara yüzlerindeki taşıyıcıların tünellenmesi veya bir foton tarafından birden fazla elektronun uyarılması gibi nedenlerden dolayı EQE değerleri %100 değerini geçebilmektedir (Dhoble, 2023; Ünlü,2024). 400 nm'nin üzerindeki dalga boylarında Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si fotodiyot için EQE %100'ün üzerindedir, bu neredeyse görünür bölgenin tamamını içerir. Bu durum üretilen Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si fotodiyotun görünür bölge için fotodiyotör olarak

kullanılabileceğini gösterir (Dhoble, 2023; Ünlü,2024). Tablo 3.5’de Al/ Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların dalga boyuna bağlı fotodiyot parametreleri ve EQE değerleri görülebilir.

**Tablo 3.5.** Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların farklı dalga boyun bağlı temel fotodiyot parametreleri

	$I_{ph}(A)$	K	R(W/A)	D(Jones)	EQE(%)
<b>Ni-Kompleks</b>					
365 nm	$7.43 \times 10^{-7}$	0.48	$9.46 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^8$	$3.218 \times 10^{-3}$
375 nm	$1.22 \times 10^{-6}$	0.79	$1.56 \times 10^{-3}$	$1.96 \times 10^8$	$5.164 \times 10^{-3}$
385 nm	$2.21 \times 10^{-6}$	1.43	$2.82 \times 10^{-3}$	$3.55 \times 10^8$	$9.095 \times 10^{-3}$
395 nm	$2.48 \times 10^{-6}$	1.6	$3.16 \times 10^{-3}$	$3.98 \times 10^8$	$9.939 \times 10^{-3}$
410 nm	$2.78 \times 10^{-6}$	1.79	$3.54 \times 10^{-3}$	$4.45 \times 10^8$	$1.071 \times 10^{-2}$
420 nm	$3.00 \times 10^{-6}$	1.94	$3.82 \times 10^{-3}$	$4.81 \times 10^8$	$1.129 \times 10^{-2}$
460 nm	$3.59 \times 10^{-6}$	2.32	$4.57 \times 10^{-3}$	$5.75 \times 10^8$	$1.234 \times 10^{-2}$
490 nm	$4.43 \times 10^{-6}$	2.86	$5.64 \times 10^{-3}$	$7.10 \times 10^8$	$1.430 \times 10^{-2}$
520 nm	$4.91 \times 10^{-6}$	3.17	$6.25 \times 10^{-3}$	$7.86 \times 10^8$	$1.492 \times 10^{-2}$
590 nm	$5.04 \times 10^{-6}$	3.25	$6.42 \times 10^{-3}$	$8.07 \times 10^8$	$1.350 \times 10^{-2}$
600 nm	$5.40 \times 10^{-6}$	3.48	$6.87 \times 10^{-3}$	$8.67 \times 10^8$	$1.422 \times 10^{-2}$
620 nm	$6.06 \times 10^{-6}$	3.91	$7.72 \times 10^{-3}$	$9.72 \times 10^8$	$1.546 \times 10^{-2}$
730 nm	$6.99 \times 10^{-6}$	4.51	$8.91 \times 10^{-3}$	$1.12 \times 10^9$	$1.515 \times 10^{-2}$
<b>Zn-Kompleks</b>					
365 nm	$1.37 \times 10^{-7}$	0.09	$1.75 \times 10^{-4}$	$2.19 \times 10^7$	$5.95 \times 10^{-4}$
375 nm	$1.61 \times 10^{-7}$	0.10	$2.05 \times 10^{-4}$	$2.56 \times 10^7$	$6.78 \times 10^{-4}$
385 nm	$2.04 \times 10^{-7}$	0.13	$2.60 \times 10^{-4}$	$3.25 \times 10^7$	$8.38 \times 10^{-4}$
395 nm	$2.47 \times 10^{-7}$	0.16	$3.15 \times 10^{-4}$	$3.94 \times 10^7$	$9.90 \times 10^{-4}$
410 nm	$8.88 \times 10^{-7}$	0.57	$1.13 \times 10^{-3}$	$1.41 \times 10^8$	$3.42 \times 10^{-3}$
420 nm	$1.11 \times 10^{-6}$	0.71	$1.41 \times 10^{-3}$	$1.77 \times 10^8$	$4.18 \times 10^{-3}$
460 nm	$2.28 \times 10^{-6}$	1.45	$2.90 \times 10^{-3}$	$3.63 \times 10^8$	$7.83 \times 10^{-3}$
490 nm	$2.52 \times 10^{-6}$	1.61	$3.21 \times 10^{-3}$	$4.02 \times 10^8$	$8.14 \times 10^{-3}$
520 nm	$2.61 \times 10^{-6}$	1.66	$3.32 \times 10^{-3}$	$4.15 \times 10^8$	$7.93 \times 10^{-3}$
590 nm	$2.64 \times 10^{-6}$	1.68	$3.37 \times 10^{-3}$	$4.21 \times 10^8$	$7.09 \times 10^{-3}$
600 nm	$3.28 \times 10^{-6}$	2.09	$4.18 \times 10^{-3}$	$5.22 \times 10^8$	$8.64 \times 10^{-3}$
620 nm	$3.83 \times 10^{-6}$	2.44	$4.88 \times 10^{-3}$	$6.10 \times 10^8$	$9.76 \times 10^{-3}$
730 nm	$4.09 \times 10^{-6}$	2.60	$5.21 \times 10^{-3}$	$6.51 \times 10^9$	$8.85 \times 10^{-3}$

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ni(II) nikotinat  $[\text{Ni}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2]$  ve Zn(II) nikotinat  $[\text{Zn}(\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2)_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O})_2]$  kompleksler kimyasal olarak sentezlendi ve Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schottky fotodiyotlarında aktif ara yüzey olarak kullanıldı. Sentezlenen Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat kompleks malzemelerin TGA analizi ile sıcaklığa bağlı olarak kütle kayıpları incelendi ve böylece sentezlenmiş olan metal katkılı nikotinat komplekslerin kimyasal içeriği doğrulandı. Aynı zamanda UV-Vis spektrometresi kullanılarak önemli optik özelliklerden biri olan enerji bant aralığı Ni(II) nikotinat ve Zn(II) nikotinat kompleksler için 3.87 eV ve 4.04 eV olarak hesaplandı.

Üretilen Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schottky fotodiyotların önce karanlık ortamda ve farklı ışık şiddeti yoğunluğundaki (20, 40, 60, 80, 100 mW/cm<sup>2</sup> akım-gerilim (I-V) ve akım-zaman (I-t) ölçümleri yapıldı. Daha sonra yapılan ölçümlerden Schottky fotodiyotların, karanlık ortamda temel elektriksel parametreleri ve ışık uygulandığında gösterdiği optiksel özellikleri belirlendi.

Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schottky fotodiyotların karanlık ortamda gerilime bağlı akım karakteristikleri incelendiğinde üç farklı bölgeye sahip olduğu görüldü. Bu bölgeler, literatür de düşük, orta ve yüksek gerilim (beslem) bölgesi olarak adlandırılır (Divigalpitiya,1989; Cova,1990) ve orta gerilim bölgesinde mevcut olan lineer bölge yardımıyla Schottky fotodiyotların temel diyot parametreleri (idealite faktörü, doyma akımı ve sıfır beslem engel yüksekliği) hesaplandı. Yüksek gerilim bölgesinde ise Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schottky fotodiyotların I-V karakteristiğinin seri direnç etkisiyle doğrusallıktan saptığı görüldü (Sze, 1981; Norde, 1979). Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, hazırlanan fotodiyotlar, doğrultma özelliğine sahiptirler. Işık şiddetinin artırılmasıyla, diyotun doğru besleme bölgesindeki akım, fazla değişmemesine rağmen, ters besleme bölgesinde akım artmaktadır. Bu davranış, diyotların fotodiyot etkiye sahip olduğunu gösterdi.

Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schotky fotodiyotların karanlık I-V karakteristiklerinden idealite faktörü ( $n$ ) ve sıfır beslem engel yüksekliği ( $\Phi_{Bo}$ ) sırasıyla 4.11 ve 3.66 ve 0.67 ve 0.71 eV olarak belirlendi. Aynı zaman da doyma akımı ( $I_o$ ), seri direnç ( $R_s$ ) ve şönt direnci ( $R_{sh}$ ) olarak adlandırılan elektronik parametreler tartışıldı.

MY/MYY diyotlarda, seri direncin belirlenmesi için güvenli bir metot olan cheung fonksiyonları ( $dV/d\ln(I)$  ve  $H(I)$  fonksiyonları) kullanılarak Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schottky fotodiyotların  $R_s$  değerleri belirlendi. Ayrıca  $R_s$ 'nin Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schottky fotodiyotların performansı üzerindeki etkisi tartışıldı.

Hesaplanan idealite faktörü değerleri 1'den büyüktür ve bu da ideal durumdan ( $n=1$ ) sapma olduğunu gösterir. Bu durum ara yüzey durum yoğunluğuna, tükenim bölgesinde yüksek

ihтимalli elektron ve boşluk rekombinasyonuna, tünelleme akımının varlığına ve ara yüzey tabakasına atfedilmektedir (Singh, 1985; Cova, 1990). Böyle bir ara yüzey tabakası yüzey hazırlama ve metal buharlaştırma sırasında oluşabilir (Sze, 1981). Daha ideal olan diyotların n idealite faktörü düşük olur, yani 1'e daha yakın olur ve bu durum, uygulanan gerilimin neredeyse tamamının Schottky bölgesine düştüğü anlamına gelmekte ve bu durum termiyonik emisyon teorisine uymaktadır (Sze, 1981). Fotodiyotlarda fotoakım, 1) organik yarı iletken/metal ara yüzeyine gelen fotonların ayrışmasıyla, 2) aktif tabaka içindeki serbest yük taşıyıcıların taşınması ve 3) serbest yük taşıyıcıların elektroda transferinden oluşur. Düşük fotoakım değerleri, gelen düşük ışık şiddetlerinden kaynaklanır.

Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schotky fotodiyotların hem farklı ışık yoğunlukları hem de farklı dalga boyları için akım-zaman ve akım-dalgaboyu ölçümleri yapıldı ve her ki diyot için temel fotodiyot parametreleri duyarlılık ( $R_p$ ), spesifik algılama ( $D^*$ ) ve foto akım ( $I_{ph}$ ) değerleri belirlendi.  $R_p$  ve  $D^*$  değerlerinin her iki fotodiyotta da artan ışık şiddeti yoğunluğu ile azaldığı görüldü. Farklı dalga boyundaki (365-730 nm) aydınlatmalar için Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/ Zn(II) nikotinat/p-Si fotodiyotların EQE değerleri sırasıyla 5.94–88.33% ve 32.18–151.45% aralığın da bulundu. İncelenen fotodiyot parametreleri literatürle karşılaştırıldığında, üretilen Al/Ni(II) nikotinat/p-Si ve Al/Zn(II) nikotinat/ p-Si Schotky fotodiyotların bir fotodiyot olarak iyi performans gösterdiği ve optoelektronik teknolojilerde kullanım için geliştirilebileceği tespit edildi.

Bilindiği gibi saf polimerler yüksek özdirenç ve zayıf iletkenliğe sahiptir. Polimerlerin p veya n tipi iletkenlik davranışını iyileştirmek için 2D malzemeler, metal oksitler, metaller ve metal katkılı ligandlar gibi doping (katkı) malzemeleri kullanılır. Böylece, polimerlerin biosensör, fotodiyot, güneş pili gibi cihazlarda kullanımında kolaylık sağlayan iletkenlik değerinin artırılması, polimer film oluşturmada yüzey morfolojisinin iyileştirilmesi, polimerin elektriksel ile mekaniksel özelliklerinin isteğe bağlı ayarlanabilmesi ve polimerlerin yasak enerji bant aralıklığının değiştirilebilmesi mümkün olmaktadır. Literatürde, metal içeren ligandla elde edilen polimerik bileşikler, bireysel muadillerinin özelliklerini güçlendirmek için umut vadeden alternatifler olarak büyük ilgi görmektedir. Özellikle, metal içeren karmaşık polimerik bileşikler, optoelektronik ve sensör uygulamalarının olası kullanımında inorganik bileşiklere alternatifler olarak görülmekte ve büyük ilgi görmektedir. Metal katkılı bir polimer arayüzey tabakası olarak kullanıldığında, metal/metal katkılı polimer arayüzey/yarıiletken cihazlarda elektriksel ve optik olarak iyi sonuçlar verir. Ayrıca, metal iyonları ve organik ligandlar arasındaki metal-organik çerçevelerin gözenekli karakteristiği tarafından desteklenen geniş yüzey alanı, enerji ve gaz algılama cihazı uygulamaları için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Polivinilalkol, polietan, polianilin, polipirol gibi çeşitli polimer yapıları vardır ve bunların türevleri, hafif, esnek ve düşük maliyetli diyotlar elde etmek için bir arayüz tabakası olarak laboratuvar ve büyük ölçekli teknolojik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Elde ettiğimiz sonuçlardan farklı metal katkılı nikotinat komplekslerin elektriksel davranışının kararlı olması bu metal katkılı ligand komplekslerin polimer katkılama kullanılması, metal/metal katkılı polimer arayüzey/yarıiletken cihazların kararlılığını artırmak için kullanılabileceği gibi metal ligand ile katkılanan polimerlerin arayüzey film morfolojisine, karakteristik optik aralığına, taşıyıcı hareketliliği ve krozyona karşı dirence katkı sağlamaktadır. Tüm bu avantajlar onların sensör,

fotodiyot, güneş pili ve kapasitör gibi aygıt üretiminde kullanımını avantajlı hale getirmektedir. Örneğin, biyosensörler, enzimler, antikorlar veya reseptörler gibi biyolojik tanıma elemanları olarak çalışır ve hedef molekül ile etkileşime girerek ölçülebilir bir sinyal üretirler. Nikotinat liganları, hücrel metabolizma ve enerji üretimi süreçlerinde yer aldıkları için, özellikle sağlık ve biyomedikal alanlarında kullanılacak polimer tabanlı sensörlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilirler. Nikotinat liganların katkılıandığı polimerler elektrokimyasal ve optik biyosensörler gibi farklı biyolojik sistemlerde önemli roller oynayabilirler.



## KAYNAKÇA

- Apaydın, D.H., Yıldız, D.E., Cirpan, A., Toppare, L., (2013). Optimizing the organic solar cell efficiency: role of the active layer thickness. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 113, 100-105. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024813000652>
- Aybirdi, Ö., Köse D.A., Necefoğlu, H. (2008). Synthesis of the 4-N,N-dimethylaminobenzoic acid complexes of Mn(II), Co(II), Ni(II), and Cu(II). spectroscopic and thermal characterization. *Hacettepe J. Biol. Chem.* 36(1), 31-39.
- Aydoğan, S., Kocyigit, A., Cirak, B.B., Erdogan, E., Yilmaz, M., (2022). The electrical and dielectric characterization of the Co/ZnO-Rods/p-Si heterostructure depending on the frequency. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 33(9), 6059-6069. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-07784-y>
- Bhattacharya, P., (1994) *Semiconductor Optoelectronic Devices*, Prentice Hall, New Jersey.
- Bıyıklı, N., (1998). *Design, Fabrication and Characterization of High Performance Resonant Cavity Enhanced Photodetectors*, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara.
- Bıyıklı, N., (2004). *High-Performance Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N-Based UV Photodetectors for Visible/Solar-Blind Applications*, Doktora Tezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara.
- Cavas M., Farag, A.A.M., Alahmed, Z.A., Yakuphanoglu F. (2013). Photosensors based on Ni-doped ZnO/p-Si junction prepared by sol-gel method. *J. Electroceram.* 31(3), 298-308. <https://doi.org/10.1007/s10832-013-9839-3>
- Chattopadhyay, P. (1996). The effect of shunt resistance on the electrical characteristics of Schottky barrier diodes. *J. Phys. D* 29(3), 823. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/29/3/047>
- Cheung, S.K., Cheung, N.W. (1986). Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, 49(2), 85-91. <https://doi.org/10.1063/1.97359>
- Coşkun, E., Güllü, H.H., Candan, İ., Bayraklı, Ö., Parlak, M., Ercelebi, C. (2015). Device behavior of an In/p-Ag (Ga, In) Te<sub>2</sub>/n Si/Ag heterojunction diode. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 34, 138-145. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.02.043>
- Cova, P. and Singh, A., (1990). Temperature dependence of I-V and C-V characteristics of Ni/n-CdF<sub>2</sub> Schottky barrier type diodes, *Solid-State Elec.*, 33, 11-19.
- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Coşkun, F.M., Aydoğan, Ş., Yeşildağ, A., Ekinci, D. (2014). I-V-T (current-voltage-temperature) characteristics of the Au/Anthraquinone/p-Si/Al junction device. *J. Alloys Compd.* 584, 652-657. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.09.006>
- Çavaş, M., (2011). *Nano Yapılı Metal Oksit Yarı iletkenler Kullanılarak Foto Diyotların Üretilmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Metalürji Eğitimi Anabilimdalı, Elazığ.
- Demirbilek, N., Yakuphanoglu, F., Kaya, M. (2021). Structural and optical properties of pure ZnO and Al/Cu co-doped ZnO semiconductor thin films and electrical characterization of photodiodes. *Mater. Test.* 63(3), 279-285. <https://doi.org/10.1515/mt-2020-0042>
- Dhoble, S.J., Kalyani, N.T., Vengadaesvaran, B., Arof, A.K. (2023). *Energy Mater.: Fundam. Appl.* <https://doi.org/10.3390/ma16145068>.
- Divigalpitiya, W.M.R., (1989). Temperature dependence of the photovoltaic characteristics of silicon MIS solar cells, *Solar Energy Mater.*, 5, 253-262.
- Dugan, S., (2019). "CdO/p-Si Heteroeklem Fotodedyektörlerin Üretilmesi ve Elektriksel Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi: Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <http://79.123.216.36/xmlui/handle/20.500.11857/1440>
- Erlık O., Ünlü, N.A., Hizalan, G., Hacıoglu S.O., Comez, S., Yıldız, D.E., Toppare, L., Cirpan, A., (2015). Silafluorene-based polymers for electrochromic and polymer solar cell applications. *Journal of Polymer*

Gozeh, B.A., Karabulut, A., Yildiz, A., Yakuphanoglu, F. (2018). Solar light responsive ZnO nanoparticles adjusted using cd and La Co-dopant photodetector. *J. Alloys Compd.* 732, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.10.167>

Gullu, H.H., Sirin Seme D., Yildiz, D.E. (2021). Analysis of Double Gaussian Distribution on Barrier Inhomogeneity in a Au/n-4H SiC Schottky Diode. *Journal of Electronic Materials*, <https://doi.org/10.1007/s11664-021-09254-3>

Gullu, H.H., Yildiz, D.E. (2019). Analysis of forward and reverse biased current–voltage characteristics of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/n Si Schottky diode with atomic layer deposited Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin film interlayer. *J. Mater. Science: Mater. Elect.* 30(21), 19383–19393. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02300-1>

Gullu, H.H., Yıldız, D.E., Hacıoğlu S.O., Cirpan, A., Toppare, L., (2023). Dark conduction mechanisms of PTQBDT based heterojunction diode *Physica Scripta* 98 (1), 015819. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1402-4896/aca727/meta>

Gündüz, B., (2007). Organik yarı iletken fotodiyotların hazırlanması ve optoelektronik özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi <https://platform.almanhal.com/Details/Thesis/2000043018>

Hacıoğlu, S.O., Ünlü, N.A., Aktas, E., Hizalan, G., Yildiz, D.E., Toppare, L., Cirpan, A., (2017). A triazoloquinoxaline and benzodithiophene bearing low band gap copolymer for electrochromic and organic photovoltaic applications. *Synthetic Metals* 228, 111-119. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379677917301169>

Hovel, H. J., (1975). *Solar Cells, Semiconductors and Semimetals*, (Eds., R.K. Willardson ve A.C. Beer), Academic Press, New York Vol. 11.

Istanbuloğlu, C., Göker, S., Hizalan, G., Hacıoğlu, S.O., Udum, Y.A., Yildiz, D.E., Toppare, L., Cirpan, A., (2015). Synthesis of a benzotriazole bearing alternating copolymer for organic photovoltaic applications. *New Journal of Chemistry* 39 (8), 6623-6630 <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/nj/c5nj01026h/unauth>

Jia, Y., Chu, C., Hang, S., Chen, Y., Zhang, Y., Zhang, Z., (2023). Impact of the Surface Recombination on the Thermal Properties for GaN-Based  $\mu$ LEDs, *IEEE Photonics Technology Letters*, 35(20) 2023 p. 1111-1114. Doi:10.1109/lpt.2023.3298842

Kaminski, A., Marchand, J.J. and Laugier, A., (1998). Non ideal dark I-V curves behavior of silicon solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 51, 221-231.

Karabulut, A., Dere, A., Dayan, O., Al-Sehemi, A.G., Serbetci, Z., Al-Ghamdi, A.A., Yakuphanoglu, F. (2019). Silicon based photodetector with Ru(II) complexes organic interlayer. *Mater. Sci. Semi Proces.* 91, 422–430. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.11.035>

Karabulut, A., Lafzi, F., Bayindir, S., Sevgili, Ö., Orak, İ., (2021). The synthesis, current transformer mechanism and structural properties of novel rhodanine-based Al/Bis (Rh)-Ph/p-Si and Al/Bis (Rh)-TPE/p-Si heterojunctions. *J. Mol. Struct.* 1231, 129699. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129699>

Karabulut, A., Yıldız, D.E., Köse, D.A., Yıldırım, M. (2022). Photosensing performances of heterojunctions-based photo diodes with novel complex interlayers. *Mater. Sci. Semi conduct. Process.* 146, 106647. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2022.106647>

Karadeniz, S., Yıldız, D. E., Yıldırım, M., Mirza, S., Durmaz, F., Barıs, B., (2025). Investigation of illumination effects on photovoltaic features of Al/p-Si Schottky diode with different amount of mixed PANI: Rubrene interface, *J. Mater. Sci: Mater. Electron* 36:522. <https://doi.org/10.1007/s10854-025-14558-9>

- Kato, K., Tsuruta, H., Ebe, T., Shinbo, K., Kaneko, F., Wakamatsu, T., (2002). Enhancement of optical absorption and photocurrents in solar cells of Merocyanine Langmuir–Blodgett films utilizing surface plasmon excitations. *Mater. Sci. Engineering: C* 22(2), 251–256. [https://doi.org/10.1016/S0928-4931\(02\)00174-1](https://doi.org/10.1016/S0928-4931(02)00174-1)
- Kaya İ., (2010). Metal-yarı iletken schottky diyotların elektriksel karakteristiklerin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaya, E., Apaydın, D.H., Yıldız, D.E., Toppare, L., Cirpan, A., (2012). Solution processable benzotriazole and fluorene containing copolymers for photovoltaic applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 99, 321-326. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024811007173>
- Kim, J., Lee, U., Koo, B.K., (2010) Synthesis and 1D chain crystal structure of zinc(II) terephthalate complex: [Zn(tp)(py)(H<sub>2</sub>O)]<sub>n</sub>. *Bull. Korean Chem. Soc.* 31, 1743–1746. <https://doi.org/10.5012/bkcs.2010.31.6.1743>
- Koçyiğit, A., Hussaini, A.A., Yıldırım, M., Kose, D.A., Yıldız, D.E. (2022). Schottky type photodiodes with organic co-complex and Cd-complex interlayers. *Appl. Organomet. Chem.* 36(11), e6879. <https://doi.org/10.1002/aoc.6879>
- Koçyiğit, A., Yıldırım, M., Kose, D.A., Yıldız, D.E., (2022). Synthesis and characterization of Co-complex as interlayer for Schottky type photodiode. *Polym. Bull.* <https://doi.org/10.1007/s00289-021-04021-0>
- Koçyiğit, A., Yıldız, D.E., Erdal M.O., Tataroğlu, A., Yıldırım, M. (2024). Investigation of AlN-based Schottky type photodetector in visible light detection. *Physica B: Condensed Matter* 690,416286. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921452624006276?via%3Dihub>
- Koçyiğit, A., Yıldız, D.E., Taştaltın, N., Yıldırım, M., (2024). Role of interfacial layer as PANI-silicene in Si-based Photodiodes, *J. Mater. Sci.* 59:9437–9454. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-09782-3>
- Manthrammel, M.A., Yahia, I.S., Shkir, M., AlFaify, S., Zahran, H.Y., Ganesh, V., Yakuphanoglu, F. (2019). Novel design and microelectronic analysis of highly stable Au/Indigo/n-Si photodiode for optoelectronic applications. *Solid State Sci.* 93, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.solidstateci.2019.04.007>
- Norde, H. (1979). A modified forward I-V plot for schottky diodes with high series resistance. *J. Appl. Phys.*, 50, 5052-5056. <https://doi.org/10.1063/1.325607>
- Orak, İ., Karabulut, A., Yiğit, E., Sevgili, Ö., Ruşen, A., Ozel, F. (2022). The diode and photodiode performances of BaZrO<sub>3</sub> perovskite-based device under the influence of thermal and light external stimuli. *Sens. Actuators A: Phys.* 337, 113413. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113413>
- Özcan, E., Aksoy, B.T., Eçik, E.T., Dere A., Karabulut, A., Yakuphanoglu, F., Çoşut, B., (2020). Fabrication of hybrid photo diode systems: BODIPY decorated cyclotriphosphazene covalently grafted graphene oxides. *Inorg. Chem. Front.* 7(16), 2920–2931 (2020). <https://doi.org/10.1039/D0QI00468E>
- Pierre, A., Deckman, I., Lechêne, P.B., Arias, A.C. (2015). High detectivity all-printed organic photodiodes. *Adv. Mater.* 27(41), 6411–6417. <https://doi.org/10.1002/adma.201502238>
- Rhoderick, E.H. and Williams R.H. (1988). *Metal-Semiconductor Contacts* 2nd ed.(s.257-264). Oxford: Oxford University Press.
- Rhoderick, E.H. (1982). *Metal-Semiconductor Contacts*. IEE Proc., 29(1), 1-14.
- Ryu, S., Nguyen, D.C., Ha, N.Y., Park, H. Y., Ahn, Y.H., Park, J., Lee, S., (2019). Light Intensity-dependent Variation in Defect Contributions to Charge Transport and Recombination in a Planar MAPbI<sub>3</sub> Perovskite Solar Cell, *Scientific Reports*, 9-19846. Doi: 10.1038/S41598-019-56338-6
- Sevgili, Ö., Lafzi, F., Karabulut, A., Orak, I., Bayındır, S., (2019). The synthesis of new bola-amphiphile TPEs and the comparison of current transformer mechanism and structural properties for Al. *Compos.*

Part. B: Eng. 172, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.compo sitesb.2019.05.020>. /Bis (HCTA)-TPE/p-Si and Al/Bis (HCOA)-TPE/p Si heterojunctions

Sevgili, Ö., Canlı, S., Akman, F., Orak, İ., Karabulut, A., Yıldırım, N., (2020). Characterization of aluminum 8-hydroxyquinoline microbelts and microdots, and photodiode applications. J. Phys. Chem. Solids. 136, 109128. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.109128>

Singh, A., (1985). Characterization of interface states at Ni/n Schottky barrier type diodes and the effect of surface preparation. Solid-State Electronics, 28, 223-232.

Smestad, G.P., (2004) Conversion of heat and light simultaneously using a vacuum photodiode and the thermionic and photoelectric effects. Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 82(1-2), 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.01.020>

Son, B., Zhou, H., Lin, Y., Lee, K.H., Tan, C.S. (2021). Gourd-shaped hole array germanium (Ge)-on-insulator photodiodes with improved responsivity and specific detectivity at 1,550 nm. Opt. Express. 29(11), 16520–16533. <https://doi.org/10.1364/OE.422931>

Soylu, M., Cavas, M., Ahmed, A., Al-Ghamdi, Z.H., Cafer, F., El-Tantawy F., Yakuphanoglu, F. (2014) Photoelectrical characterization of a new generation diode having GaFeO<sub>3</sub> interlayer. Solar Energy Mater. Solar Cells. 124, 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.01.045>

Sung, M.J., Kim, K., Kwon, S.K., Kim, Y.H., Chung, D.S.,(2017). Phenanthro [110,9,8-cdefg] carbazole-thiophene, donor donor copolymer for narrow band green-selective organic photodiode. J. Phys. Chem. C 121, 15931–15936.

Sürücü, Ö., Yıldız, D.E., Yıldırım, M. (2024). A study on the dark and illuminated operation of Al/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/p-Si Schottky photodiodes: optoelectronic insights. Applied Physics A 130,103. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00339-024-07284-2>

Sze, S.M. (1981). Physics of Semiconductor Devices 2nd ed. (s.245-300) New York: Wiley.

Şahin, Z.S., Demir, M., Yıldırım, T., Yurdakul, Ö., Köse, D.A., (2021). Novel mixed ligand complexes of Co(II), Ni(II), Cu(II), and Zn(II) with 1,10-phenanthroline and acesulfame. Synthesis, structural analysis and hydrogen adsorption study. Int. J. Hydrogen Energy. 46, 27631–27642. <https://doi.org/10.1016/j.ijhyd ene.2021.06.026>

Taşyürek, L.B., Aydoğan, Ş., Sevim, M., Çaldıran, Z. (2021). Synthesis of nickel nanoparticles-deposited strontium titanate nanocubes (Ni-STO) and heterojunction electrical applications over a wide temperature range. Mater. Sci. Engineering: B 274, 115479. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115479>

Tombak A., Selim, Y., Asubay, S., Kilicoglu, T.,(2014). Fabrication and electrical properties of an organic-inorganic device based on coumarin 30 dye. Mater. Sci. Semicond. Process. 24, 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.03.004>

Turut A., Yıldız, D.E., Karabulut, A., Orak, I., (2020). Electrical characteristics of atomic layer deposited Au/Ti/HfO<sub>2</sub>/n-GaAs MIS diodes in the wide temperature range. Sci.: Mater. Electron. 31(10), 7839–7849. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-03322-w>

Türkmen, C., (2002). AIII BIV Kristallerinde Fotoiletkenlik ve GaS, GaSe, GaTe ve GaSe<sub>1-x</sub>Tex Kristallerle Metal-Yarı iletken-Metal Eklemler, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.

Unal, F., Kurt, M.S., Aktas, S., Kabaer, M., (2022). Synthesis and optoelectronic characterization of coronene/CdO self-powered photodiode. J. Mater. Sci.: Mater. Electron. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-09237-y>

Ünlü, N.A., Hacıoğlu, S.O., Hizalan, G., Yıldız, D.E., Toppare, L., Cirpan, A., (2017). Benzodithiophene and benzotriazole bearing conjugated polymers for electrochromic and organic solar cell applications.

Ünlü, M., Karabulut, A., Yıldırım M., Köse, D.A., Erdal, M.O., Yıldız, D.E. (2024). Semiconductor-based photodiodes with Ni and Zn-centered nicotinate interfacial layers, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 35, 1-16.

Wang, Y., Yang, S., Ballesio, A., Parmeggiani, M., Verna, A., Cocuzza, M., Pirri, C.F., Marasso, S.L. (2024). The fabrication of Schottky photodiode by monolayer graphene direct transfer-on-silicon. *J. Appl. Phys.* 128(1), 014501 (2020). <https://doi.org/10.1063/5.00042>

Willson, A.H. (1932). A note of the theory of rectification. *Proc. R. Soc. London, Ser. A.*, 136, 487-498. <https://doi.org/10.1098/rspa.1932.0097>

Yiğiterol, F., Güllü, H.H., Bayraklı, Ö., Yıldız, D.E. (2018). Temperature-Dependent Electrical Characteristics of Au/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/4H n-SiC MIS Diode. *Journal of Electronic Materials*, 47(5), p. 2979-2987. <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-018-6155-3>

Yıldız, D.E., Gullu, H.H., Cavus, H.K., (2022). Effect of TiO<sub>2</sub> Thin Film with different dopants in bringing Au-metal into a contact with n-Si. *J. Inorg. Organomet. Polym Mater.* 32(3), 1067-1077. <https://doi.org/10.1007/s10904-021-02201-z>

Yiğiterol, F., Güllü, H.H., Yıldız, D.E. (2018) Influence of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> layer on the electrical properties of Au/n-4H SiC diodes. *Bulletin of Materials Science*, 41(66), 66-9. <https://doi.org/10.1007/s12034-018-1586-2>

Yıldız, D.E. (2008). Al/SiO<sub>2</sub>/p-Si (MY) yapıların akım iletim mekanizması ve elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi. (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yıldız, D.E. (2018). Electrical properties of Au-Cu/ZnO/p-Si diode fabricated by atomic layer deposition. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(20), 17802-17808. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10854-018-9889-z>

Yıldız, D.E., Altındal, Ş. (2008). Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Al/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diodes. *J. Appl. Phys.*, 103(12), 124502. <https://doi.org/10.1063/1.2936963>

Yıldız, D.E., Altındal, Ş., Kanbur, H., (2008). Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Al/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diodes. *Journal of Applied Physics*, 103, 124502-1-7. <https://doi.org/10.1063/1.2936963>

Yıldız, D.E., Apaydın, D.H., Toppare, L., Cirpan, A., (2012). Dielectric and electrical properties of an organic device containing benzotriazole and fluorene bearing copolymer. *Journal of applied polymer science* 128 (3), 1659-1664. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.38315>

Yıldız, D.E., Cevher, D., Yasa, M., Toppare, L., Cirpan, A., (2022). Selenophene-containing conjugated polymers for supercapacitor electrodes *Journal of Polymer Science* 60 (1), 109-121. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pol.20210746>

Yıldız, D.E., Gullu, H.H., Sarilmaz, A., Ozel, F., Kocyigit, A., Yildirim, M. (2020). Dark and illuminated electrical characteristics of Si-based photodiode interlayered with CuCo<sub>5</sub>S<sub>8</sub> nanocrystals. *J. Mater. Science: Mater. Elect.* 31(2), 935-948. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02603-3>

Yıldız, D.E., Gullu, H.H., Toppare, L., Cirpan, A., (2020). Analysis of temperature-dependent forward and leakage conduction mechanisms in organic thin film heterojunction diode with fluorine-based PCBM blend. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 31, 15233-15242. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10854-020-04088-x>

Yıldız, D.E., Karadeniz, S., Yıldırım, M., Tasaltın, N., Gulsaran, A., Azer B.B., Yavuz, M., (2024). Novel PANI: Borophene/Si Schottky device for the sensitive detection of illumination and NaCl salt solutions. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 35 (7), 469. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10854-024-12243-x>

- Yıldız, D.E., Karakus, M., Toppare, L., Cirpan, A. (2014). Leakage current by Frenkel-Poole emission on benzotriazole and benzothiadiazole based organic devices. Mater. Sci. Semicond. Process., 28, 84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2014.06.038>
- Yıldız, D.E., Karakuş, M., Toppare, L., Cirpan, A., (2014) Leakage current by Frenkel–Poole emission on benzotriazole and benzothiadiazole based organic devices. Materials science in semiconductor processing 28, 84-88. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369800114003606>
- Yıldız, D.E., Koçyiğit, A., Yıldırım, M.(2023). Comparison of Al/TiO<sub>2</sub>/p-Si and Al/ZnO/p-Si photodetectors, Optical Materials 145. 114371. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114371>
- Yıldız, D.E., Koçyiğit, A., Yıldırım, M. (2023). Investigation of Ag/ZnO/p-Si heterostructure for diode and photodiode applications in visible spectrum. Physica Scripta 99, 1. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1402-4896/ad0d6e>
- Yıldız, D.E., Sürücü, Ö., Balaban, H., Bilici, İ. , Yıldırım, M. (2024). Performance enhancement of silicon photodiodes through the integration of green synthesized reduced graphene oxide variants. Physica Scripta 99,9437-9454. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-024-09782-3>
- Yıldız, D.E., Unal, F., Tasaltın, N., (2024). Non-enzymatic electrochemical voltammetric sensors based on thulium: zinc oxide for dopamine detection Journal of Materials Science: Materials in Electronics 35 (7), 475. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10854-024-12155-w>
- Yurdakul, Ö., Şahin, Z.S., Köse , D.A., Şahin O., Akkurt F., (2020). Novel monoanionic diphenate-nicotinamide/N,N-diethylni cotinamide complexes of NiII, ZnII. Synthesis, structural investigations and hydrogen adsorption study. J. Mol. Struct. 1218, 128514. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128514>

