



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

FARKLI KALINLIKLARDA SOL JEL YÖNTEMİ
İLE ÜRETİLEN NiO İNCE FİLMLERİNİN NiO/n-
Si HETEROEKLEM YAPISININ ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS
Kadir NERGİZ

Danışman
Doç. Dr. Şerif RÜZGAR

Haziran-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kadir NERGİZ tarafından hazırlanan “**FARKLI KALINLIKLARDA SOL JEL YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN NiO İNCE FILMLERİNİN NiO/n-Si HETEROEKLEM YAPISININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Seval Aksoy PEHLİVANOĞLU

.....

Danışman

Doç. Dr. Şerif RÜZGAR

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Enise ÖZERDEN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kadir NERGİZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FARKLI KALINLIKLARDA SOL JEL YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN NiO İNCE FİLMLERİNİN NiO/n-Si HETEROEKLEM YAPISININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Kadir NERGİZ

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Şerif RÜZGAR

2022, 43 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Şerif RÜZGAR

Dr. Öğr. Üyesi Seval Aksoy PEHLİVANOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Enise ÖZERDEN

Bu çalışmada NiO ince filmleri, sol jel döndürme kaplama yöntemi farklı kaplama sayılarına göre n-Si alttaşlar üzerine büyütülerek heteroeklem uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İnce film kalınlığının heteroeklem yapıların elektriksel ve optoelektriksel özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Heteroeklem yapıların seri direnç (R_s), düzeltme oranı (RR), idealite faktörü (n) ve bariyer yüksekliği (Φ_B) gibi önemli bağlantı parametreleri I-V verileri analiz edilerek hesaplandı. Üretilen heteroeklem yapıların karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altında akım-gerilim (I-V) karakteristikleri incelendi. Tüm yapıların ışığa duyarlı olduğu ve doğrultma davranışı sergilediği gösterildi. Diyotların idealite değerleri 3,29-7,05 arasında değişirken, bariyer yükseklikleri 0,67-0,76 arasında ve seri direnç değerleri 270-4436 arasında değişmiştir. Üretilen cihazların elektriksel davranışları farklı frekanslarda kapasite-gerilim (C-V), iletkenlik-gerilim (G-V) ve Seri direnç (R_s -V) ölçümleri ile incelenmiştir. Artan frekansla kapasitenin, iletkenliğin ve seri direncin sırasıyla azaldığı, arttığı ve arttığı belirlendi. Bu davranış, üretilen numunelerin arayüz durumlarının varlığından kaynaklanmaktadır. Elektriksel karakterizasyon sonuçları, üretilen tüm cihazların optoelektronik alanlarda optik sensörler veya fotodiyotlar olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel Özellikler, Heteroeklem Yapılar, İnce Filmler, NiO, n-Si, Sol Jel Yöntemi

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF NiO THICKNESS ON ELECTRICAL PROPERTIES OF THE NiO/n-Si HETEROJUNCTION STRUCTURES

Kadir NERGİZ

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN PHYSICS**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Şerif RÜZGAR

2023, 43 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Şerif RÜZGAR

Asst. Prof. Dr. Seval Aksoy PEHLİVANOĞLU

Asst. Prof. Dr. Enise ÖZERDEN

In this study, heterojunction structures were carried out by deposition of NiO thin films on n-Si substrates according to different coating times by sol gel spin coating method. The effect of thin film thickness on electrical and optoelectrical properties of heterojunction structures was investigated. The crucial electrical parameters such as series resistance (R_s), rectification ratio (RR), ideality factor (n) and barrier height (Φ_B) of heterojunction structures were calculated by analyzing I-V data. The current-voltage (I-V) characteristics of the fabricated heterojunction structures were investigated under dark and different illumination intensities. All structures were shown to be photo sensitive and exhibit a rectification behavior. While the ideality values of the diodes varied between 3.29 and 7.05, the barrier heights varied between 0.67-0.76 and the series resistance values between 270-4436.

Keywords: Electrical Properties, Heterojunction Structures, NiO, n-Si, Sol Gel Coating, Thin Films

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda ölçümlerin alınmasında, laboratuvardaki deneysel çalışmalarda ve elektriksel ölçüm sonuçlarının alınmasında; bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım değerli danışman hocam Doç. Dr. Şerif RÜZGAR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm bu süreç boyunca hep yanımda olan ve benden desteğini hiç eksik etmeyen sevgili eşime çok teşekkür ederim.

Kadir NERGİZ
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER.....	ixi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Şeffaf İletken ve Yarıiletken Oksitler	5
2.2. NiO Özellikleri	5
2.2.1. Yapısal özellikler	6
2.2.2. Optik Özellikleri	7
2.3. Fotodiyotun Tarihçesi	8
2.4. Fotodiyotların Çalışma Prensipleri	11
2.5. Fotodiyot Türleri.....	12
2.5.1. PN Bağlantı Fotodiyodu	12
2.5.2. PIN Bağlantı Fotodiyodu	12
2.5.3. Schottky Fotodiyot.....	13
2.6. Fotodiyotun Özellikleri.....	14
2.6.1. Akım ve Gerilim Özellikleri	14
2.6.2. Duyarlılık	16
2.7. Fotodiyot Uygulaması.....	17
2.8. Heteroeklem Türleri.....	17
2.9. İnce Film Üretim Yöntemi.....	19
2.9.1. Sol Jel Yöntemi.....	19
2.9.2. Spin Kaplama Tekniği.	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Çözeltilerin Hazırlanması	22
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
4.1. I-V Karakteristikleri Yardımıyla Elektriksel Parametrelerin Hesaplanması	26
4.2. Üretilen Diyotların Işığa Duyarlılık karakteristikleri	26
4.3. Norde Modeli Yardımı ile Engel Yüksekliği ve Seri Direncin Hesaplanması	29
4.4. Üretilen Diyotların Kapasitans-Gerilim Karakteristikleri	31
4.5. Üretilen Diyotun Kondüktans-Gerilim Karakteristikleri	33

4.6. Üretilen Diyotların Direnç-Gerilim Karakteristikleri	34
4.7. Üretilen Diyotların Akım-Zaman Karakteristikleri	36
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
5.1. Sonuçlar	38
5.2. Öneriler	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Diyot kontak alanı
A^*	: Richardson sabiti
C	: Kapasitans
C_m	: Ölçülen kapasitans
d	: Uzay yükünün bölge genişliği
e	: Elektron yükü
E_f	: Fermi enerji seviyesi
E_v	: Valans bandı
G_m	: Ölçülen iletkenlik
h	: Planck sabiti
J_0	: Doygunluk akım yoğunluğu
J	: Akım yoğunluğu
I_0	: Doyma akımı
I_d	: Karanlık akımı
I_{ph}	: Fotoakımı
P	: Optik yoğunluk
k_B	: Boltzmann sabiti
m	: Kütle
η	: İdealite faktörü
q	: Elektrik yükü
R	: Duyarlılık
R_s	: Seri direnç
T	: Kelvin derecesi cinsinden sıcaklık
V_0	: Doğru beslem değerindeki minimum akıma karşılık gelen voltaj ölçüsü
ω	: Açısal frekans
Ω	: Direnç birimi
Φ_B	: Bariyer yüksekliği
m^*	: Taşıyıcının etkin kütlesidir
γ	: Norde yönteminde bir sabit
δ	: Arayüzey kalınlığı

Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım
C_2H_7NO	: Monoetanolamin
$C_3H_8O_2$	: Metoksietanol
CBM	: İletim bandı minimumu
Cu_2O	: Bakır oksit
C-V	: Kapasite gerilim
G-V	: Kondüktans gerilim
HF	: hidroflorik asit
In_2O_3	: İndiyum oksit
I-V	: Akım-gerilim
LED	: Işık yayan diyot
MEA	: Monoetanolamin
MOS	: Metal oksit yarı iletkenler
NBS	: N-bromosüksinimit
$Ni(CH_3CO_2)_2 \cdot 4H_2O$	: Asetat tetrahidrate
$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	: Nikel nitrat
NiO	: Nikel Oksit
PEC	: Foto elektrokimyasal
RR	: Doğrultma oranı
R_s-V	: Seri direnç gerilim
SnO_2	: Kalay oksit
TE	: Termiyonik Emisyon
TiO_2	: Titanyum dioksit
UV	: Ultraviyole
VBM	: Değerlik bandı maksimumu
$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$	: Çinko asetat dihidrat
ZnO	: Çinko oksit
CeO_2	: Seryum oksit

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. NiO'nun kristal yapısı.....	6
Şekil 2.2. NiO'daki anyon ve katyon boşlukları için oluşum enerjisi.....	8
Şekil 2.3. Bir fotodiyotun çalışmasının tanımı.....	11
Şekil 2.4. p-n bağlantı fotodetektörünün cihaz yapısı.....	11
Şekil 2.5. PIN fotodiyotunun şematik çizimleri.....	13
Şekil 2.6. Bir Schottky fotodiyodunda, ışığın yarı saydam bir metalik filminden geçtikten sonra n-tipi bir yarı iletkenin tükenme bölgesinde soğurulmasının şematik çizimleri.....	14
Şekil 2.7. Doğrusal ve logaritmik ölçekte bir fotodiyotun karakteristik IV eğrisi.....	16
Şekil 2.8. UV fotodetektörlerinin spektral duyarlılık özellikleri.....	17
Şekil 2.9. Üç tip yarı iletken heteroeklemin şematik enerji bant diyagramı.....	18
Şekil 2.10. Spin-kaplamanın dört temel aşaması: (a) Biriktirme, (b) Spin-up, (c) Spin-off ve (d) Buharlaşma.....	21
Şekil 3.1. Hazırlanan Nikel oksit çözücüsünün manyetik karıştırıcı ile karıştırılması...	23
Şekil 3.2. Filmler için prosedürü gösteren akış şeması.....	24
Şekil 3.3. Fotodiyotların şematik görünümü.....	25
Şekil 3.4. Diyot üretim akış şeması ve yapısı (NiO/-Si).....	25
Şekil 4.1. Farklı kalınlıklara sahip diyotların karanlıkta ölçülen Akım-Gerilim grafiği.....	26
Şekil 4.2. Fotodiyotların farklı ışık şiddetleri altında ölçülen akım-gerilim grafikleri.....	27
Şekil 4.3. Farklı kalınlıklara sahip diyotların F(V)-V grafiği.....	30
Şekil 4.4. Üretilen diyotların, 10kHz-1MHz frekans aralığındaki Kapasitans-Gerilim (C-V) grafikleri.....	32
Şekil 4.5. Üretilen diyotların, 10kHz-1MHz frekans aralığındaki Kondüktans-Gerilim (G-V) grafikleri.....	33
Şekil 4.6. Üretilen diyotların, 10kHz-1MHz frekans aralığındaki Direnç-Gerilim (Rs-V) grafikleri.....	35
Şekil 4.7. Farklı aydınlatma güçleri altında NiO / n-si heteroeklem diyotlarının zamana bağlı foto tepkisi.....	37

ÇİZELGELER

Çizelge 1.1. Bazı metal oksit yapıların opto-elektriksel özellikleri.....	2
Çizelge 2.1. Nikel oksidin temel özellikleri.....	6
Çizelge 2.2. Fotodiyot gelişmelerinin tarihçesi.....	9
Çizelge 2.3. Yeni tip gelişmiş fotodiyot.....	10
Çizelge 2.4. Spin kaplama tekniğinin avantajları ve dezavantajları.....	21
Çizelge 4.1. Üretilen diyotların hesaplanan temel elektriksel parametreleri.....	29
Çizelge 4.2. Norde Metodu ile elde edilen seri direnç ve bariyer yüksekliği değerleri.....	31

1. GİRİŞ

UV radyasyonuna aşırı maruz kalma cilt kanserine, bağışıklık sistemi hasarına, yaşlanma sürecine vb. neden olduğundan, UV dedektörleri insanlığın hayatta kalması ve daha iyi bir yaşam sürmesi için kritik öneme sahiptir (Praveen ve ark., 2021; Salunkhe ve ark., 2022). UV foto dedektörleri, radyasyon tespiti, biyolojik analiz, yangın tespiti, UV görüntüleme, kirlilik izleme ve uzay iletişimi dahil birçok uygulama yelpazesine sahip optoelektronik cihazlardır (Guo ve ark., 2017; Zahedi ve ark., 2013). Son yıllarda, klasik silisyum tabanlı Ultraviyole (UV) dedektör birçok uygulama için kullanılmıştır. Dolaylı optik bant aralığına ($E_g \sim 1,1$ eV) sahip olması, pahalı filtreleme ihtiyacı duyulması, performansın düşük olması, karanlık akımın fazla olması gibi dezavantajları vardır (Kumar ve ark., 2017). Bu nedenle, geniş optik bant aralıklı malzemenin fiziksel özelliklerinin keşfedilmesi ve UV foto dedektörlerin üretimi mevcut durum için gereklidir.

Son zamanlarda şeffaf elektronik malzemeler, optoelektronik alanında gelecek vaat eden uygulamalar olarak dikkat çekmektedir. Tanım olarak optoelektronik cihazlar, ışık enerjisini kullanılabilecek bir elektrik sinyaline dönüştüren aygıtlar olarak tanımlanmaktadır. Oksit yarı iletkenlerin çoğu geniş bant aralıklı bir yapıya sahiptir ve bu durum, optoelektronik uygulamalar alanında onları gelecek vadede adaylar haline getirmektedir. Oksit yarı iletkenlerin eşsiz özellikleri onları, delik taşıma tabakası, elektron bloke eden tabaka, organik güneş hücrelerinde tampon tabaka, gaz sensörleri, UV foto dedektörleri, ışık yayan diyotlar (LED'ler), bellek cihazları, ince film transistörler, şeffaf güneş hücreleri, p-n eklemleri gibi birçok uygulamada kullanılmalarını sağlamaktadır (Ali ve Khan, 2020; Gong ve ark., 2020; Kaur ve ark., 2020; Khan ve ark., 2020; Singh ve Tao, 2021).

Tüm oksit yarı iletkenler arasında, NiO doğası gereği görünür ve kızılötesi ışığa duyarlı olup UV bölgesinde ümit verici spektral duyarlılığa sahiptir (Salunkhe ve ark., 2022). NiO, doğal p-tipi yarı iletken davranışa, 3.2 ila 3.6 eV arasında değişen optik bant aralığına ve 1.46 ila 1.85 eV arasında değişen düşük elektron ilgisine sahiptir (Patel ve ark., 2015; Deng ve ark., 2009). Ayrıca NiO yer kabuğunda bol miktarda bulunduğu için düşük maliyetle temin edilebilir ve zorlu çevre koşullarında bile kararlı bir malzemedir. Ayrıca Nikel oksit diğer şeffaf yarı iletkenlere göre daha az toksiktir. UV foto sensörlerinde, farklı kompozitlerden biri foton absorpsiyonundan sorumlu iken diğeri ise

heteroeklem yapının oluşmasında görevlidir. Yüklerin ayrı tutulduğu bir heteroeklem yapı yapısı, foto-taşıyıcı rekombinasyonunu önler ve dedektör hassasiyetini artırır. Bunu başarmak için de üstün elektriksel özelliklere sahip kafes uyumlu şeffaf metal oksit yarı iletkenler (MOS) kullanılmalıdır.

Metal oksitler, farklı gaz bileşikleriyle etkileşime girme yeteneklerinden dolayı gaz sensörleri, fotodetektörler, güneş pilleri ve diyotlar gibi çok çeşitli elektronik aygıt üretiminde kullanılan dikkat çekici malzemelerdir (Huang ve ark., 2013). ZnO (Munirah ve ark., 2017), NiO (Patel ve Kim, 2017), SnO₂ (Patil ve ark., 2012), Cu₂O (Choudhary ve ark., 2016), β - Ga₂O₃ (Hao ve ark., 2019), CdO (Vadgama ve ark., 2017) ve TiO₂ (Kandregula ve ark., 2014) gibi çeşitli metal oksitler üzerinde çalışılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 1.1’de bu alanda kullanılan bazı metal oksitlerin opto-elektriksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı metal oksit yapıların opto-elektriksel özellikleri

Metal Oksit	Yapı	Tip	Bant Aralığı(eV)	Algılama Işığı	Referans
NiO	Kübik	P	3.6	UV	(Patel ve Kim, 2017)
ZnO	Altıgen	N	3.37	UV	(Munirah ve ark., 2017)
SnO₂	Dörtgen	N	3.6	UV	(Patil ve ark., 2012)
Cu₂O	Kübik	P	2.1	Görünür Işık	(Choudhary ve ark., 2016)
β -Ga₂O₃	Monoklinik	N	4.9	UV	(Hao ve ark., 2019)
α -Fe₂O₃	Eşkenar Dörtgen	N	2.1	Görünür Işık	(Farahmandjou ve Soflaee, 2015)
In₂O₃	Kübik	N	3.2	UV	(Nagaraju ve ark., 2014)
CdO	Kübik	N	2.2 (doğrudan) 1.36(dolaylı)	Görünür Işık/IR	(Vadgama ve ark., 2017)
CeO₂	Kübik	N	3.2	UV	(Phokha ve ark., 2012)
TiO₂	Monoklinik	N	3.2	UV	(Kandregula ve ark., 2014)

Geniş bant aralıklı malzemelerin bir dizi uygulamada kullanılmasına yönelik beklentiler, günümüzde biyoloji, fizik, kimya, kozmetik, optik bileşenler, farmasötik ilaç üretimi, polimer bilimi, makine mühendisliği ve toksikoloji gibi birçok alanda geniş çapta araştırılmaktadır. Son yıllarda, geniş bant aralıklı malzemeler, kendine özgü ve

büyüleyici özellikleri ve uygulamaları nedeniyle giderek artan bir ilgi görmektedir. Çeşitli nano malzemeler arasında, metal oksitler (NiO dahil) artan teknolojik ve endüstriyel ilgiyi çekmiştir. Bu ilgi esas olarak mekanik sertlik, termal kararlılık veya kimyasal pasiflik gibi genel özelliklerle ilişkili özellikleriyle (optik, manyetik, elektriksel ve katalitik özellikler) ilgilidir. Nikel oksit, metal oksitlerin önde gelen bir örneğidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

NiO/n-Si heteroeklem son yıllarda birçok çalışmanın konusu olmuştur. 2017’de araştırmacılar, bir sol-jel döndürme kaplama işlemi kullanarak NiO/Si heteroeklem fotodetektörleri ürettiriler (Parida ve ark., 2017). Koloidal Ni’nin (OH) spin kaplaması ve ardından 400 °C’de hava ortamında termal tavlama, içinde birkaç nano tabakanın toplandığı NiO oluşumuna yol açtı. Başka bir çalışmada, Ni-NiO heteroeklemlili nanopartiküller sentezlendi ve N-bromosüksinimit (NBS) kullanılarak fenol ve sübstitüe fenollerin nükleer halojenasyon reaksiyonu için kullanıldı (Bhardwaj ve ark., 2021). Ek olarak, n-Si üzerinde biriken metalik nikelin UV oksidasyonu ile bir p-NiO/n-Si heteroeklem diyotu başarıyla üretildi ve ani bir p-n bağlantısının oluşumu doğrulandı (Zhang ve ark., 2013). Bu çalışmalar, NiO/n-Si heteroekleminin çok yönlülüğünü ve potansiyel uygulamalarını göstermektedir.

NiO/Si heteroeklem, ultraviyole (UV) ışığı tespit etmedeki yüksek performansı nedeniyle fotodetektörlerde önemli bir potansiyele sahiptir. 2020 yılında yapılan bir çalışmada, bir NiO/ β -Ga₂O₃ heteroeklemi, yüksek performanslı bir UV fotodetektörü olma potansiyeli açısından araştırıldı. β -Ga₂O₃ ve NiO’nun kafes uyumsuzluğu nispeten küçüktür ve NiO’nun bant aralığı önceki çalışmalarda kullanılan ZnO’nunkinden daha büyüktür. 2021’de yapılan bir çalışmada, kendi kendine çalışan bir fotodetektör olarak yüksek performans gösteren bir heteroeklemlili p-n diyodunun üretimi için n-Si alttaşlar üzerinde NiO ince filmleri büyütüldü (Jia ve ark., 2020). Bu çalışmalar, fotodetektörlerde, özellikle UV ışığını tespit etmede NiO/Si heteroekleminin potansiyelini göstermektedir.

NiO/n-Si fotodetektörünün avantajları arasında UV aydınlatması ve güneş simüle edilmiş ışık altında iyi yanıt verme, aydınlatma altında belirgin fotovoltajik özellikler ve yüksek harici kuantum verimliliği ile mükemmel geniş bant algılama performansı sayılabilir (Chaoudhary ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2017, 2020). Ek olarak, bir çalışma, tek kristalli NiO nano-tabakalardan yapılmış NiO/Si fotodetektörlerinin, yüksek performanslı ve enerji tasarruflu optoelektronik cihazlarda uygulama için bariz avantajlara sahip olduğunu buldu (Zhang ve ark., 2017). Bununla birlikte, bazı araştırmalar, Si alttaşlar Ni difüzyonu veya Si alttaşlarında oluşan yüzey plazma hasarı nedeniyle büyük kaçak akımlar ve zayıf cihaz performansı ile ilgili sorunlar bildirmiştir (Parida ve ark., 2017).

Bu çalışmalar ile birlikte, ince film kalınlığı, ince filmlerin özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir. İnce bir filmin kalınlığı onun mekanik, optik, manyetik ve elektriksel özelliklerini etkileyebilir (Kumar ve Aswal, 2020). İnce filmler, yeni ve benzersiz özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesinde ve incelenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. İnce film girişimi, optik aletlerin imalatında kullanılır. İnce film folyo kumaşlar, piller, elektronik ve fotovoltaik güneş pilleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Kumar ve Aswal, 2020). İnce film kalınlığının analizi, yarı iletkenler, ekranlar, tıbbi cihazlar ve elektronik gibi çeşitli endüstrilerde ve uygulamalarda ürün geliştirmenin kritik bir parçasıdır (Kumar ve Aswal, 2020).

2.1 Şeffaf İletken ve Yarı İletken Oksitler

Şeffaf oksit yarı iletkenler elektriksel olarak yarı iletkenlerdir ve malzemeyi görünür ışığa karşı şeffaf yapan geniş bant aralığına sahiptir. Bu oksitler, ışık yayan diyotlar, güneş pilleri, dokunmatik paneller ve şeffaf ince film transistörler gibi çeşitli uygulamalarda büyük potansiyele sahiptir (Cui ve ark., 2001; Fortunato ve ark., 2012; Varghese ve ark., 2009). İyi performansa sahip hem n-tipi hem de p-tipi oksitlerin varlığı yüksek elektrik verimliliğine sahip çift kutuplu cihazların üretimini güçlendirecektir. Ancak, ZnO ve InGaZnO gibi çok sayıda n-tipi şeffaf oksit mevcutken sınırlı sayıda p tipi şeffaf oksitlerin olması onları daha dikkat çekici kılmaktadır. Bunlardan biri de p tipi doğaya sahip NiO şeffaf yarıiletken oksididir.

2.2 NiO Özellikleri

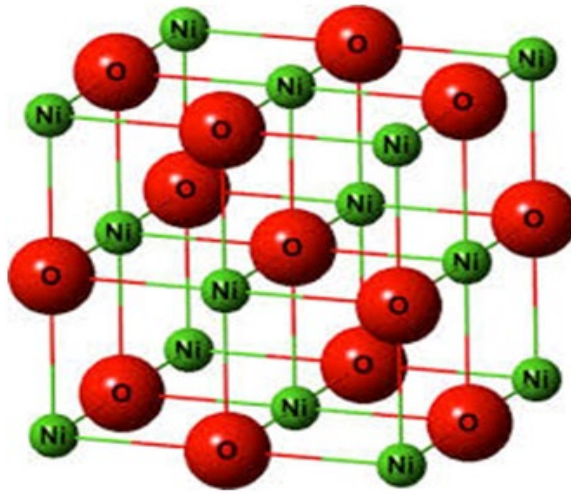
Bir cihazın tasarımı sırasında malzeme seçimi ve işleme kararları verilirken, malzemenin yapısal, elektriksel, optik ve termal özellikleri genellikle önemlidir. Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi, temel özellikler NiO’nun kimliğini açıklamaktadır.

Çizelge 2.1. Nikel oksitin temel özellikleri (Soleimanpour, 2013)

Özelliklerin Türü	Öğeler	NiO
Fiziksel özellikler	Yoğunluk	6.67 g/cm ³
	Molar kütle	74.69 g/mol
Optik özellikler	Bant Aralığı	2-4.3 eV
	Kırılma indisi (n)	2.18
Elektriksel özellikler	Direnç	10 ⁹ – 10 ¹¹ Ω.cm
	Dielektrik sabiti	10
	Taşıyıcı tipi (katkısız)	p-type
Termal Özellikler	Termal iletkenlik	~5 W/m K
	Erime noktası	1957 °C
Tanımlayıcı Özellikler	Renk	Yeşil
	Kristal Yapı	Kübik/kaya tuzu yapısı

2.2.1 Yapısal özellikler

NiO, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi oktahedral Ni (II) ve O²⁻ bölgeleriyle NaCl yapısını benimser (Magyari-Köpe ve ark., 2012). Kavramsal olarak basit yapı genellikle kaya tuzu yapısı olarak bilinir. Diğer birçok ikili metal oksit gibi, NiO da genellikle stokiyometrik değildir. Nikel oksitte bu stokiyometriye, stokiyometrik olarak doğru olan NiO’nun yeşil ve stokiyometrik olmayan NiO’nun siyah olduğu bir renk değişimi eşlik eder (Kamruzzaman, 2003).

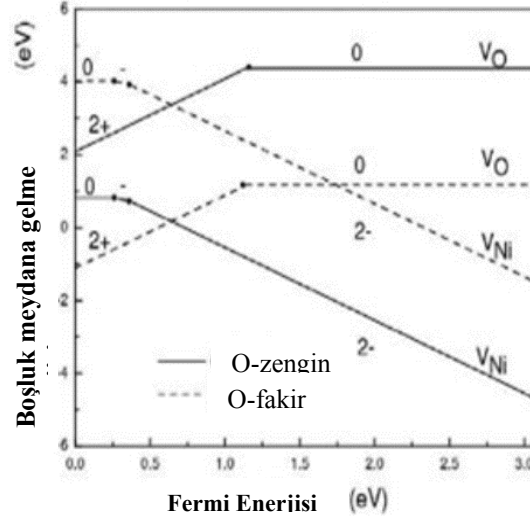


Şekil 2.1. NiO’nun kristal yapısı (Magyari-Köpe ve ark., 2012)

2.2.2 Optik özellikler

Doğrudan yüksek iletkenliğe ve aydınlatma boşluğu enerjisine sahip şeffaf iletken oksitlerden elde edilen malzeme nikel oksittir. NiO ince filmlerin bant aralığı, biriktirme tekniği ile 3.6 ile 4 eV arasında değişir. Nikel (II) oksit, numunenin hazırlanma koşullarına bağlı olarak yaklaşık 3.7 eV'lik bir bant aralığına sahiptir ve bu da onu gözle görülür şeffaf uygulamalar için uygun hale getirir. Saf, stokiometrik NiO bir Mott yalıtkanıdır, ancak büyütme sırasında fazla oksijen varlığında, bu koşullar altında V_{Ni} 'nin düşük oluşum enerjisinden dolayı yüksek konsantrasyonda nikel boşlukları oluşturma eğilimine sahiptir. Kaya tuzu yapısına sahip mükemmel bir NiO kristalinde, Ni iyonları oktahedral olarak koordine edilmiş kafes bölgelerini işgal eder ve 2 değerliği sergiler.

Bir Ni boşluğunun oluşması üzerine, yakındaki iki Ni^{2+} 'yi Ni^{3+} 'ye dönüştüren iki delik serbest bırakılır. Bu, kafesin yerel olarak bozulmasına (küçük polaronların oluşumu) yol açar. Bu nedenle delikler lokalizedir ve iletim ancak düşük delik hareketliliğinin nedeni olan termal olarak aktive edilmiş bir atlama işlemi ile gerçekleşebilir. Ni^{3+} iyonlarının varlığı ayrıca metal eksikliği olan NiO filmlerin görünür aralıktaki geçirgenliğinin azalmasına yol açar, çünkü bu iyonlar renk merkezleri görevi görür (Ghougali, 2019). Ni boşluğu sıg bir alıcı oluşturur, bu da doğal p tipi iletkenliğin katyon boşluğundan kaynaklandığını düşündürür. Ek olarak, bir Ni boşluğunu ekledikten sonra, katyon boşluğunun farklı iyonlaşma durumlarına göre yarı metalik bir antiferromanyetik veya yarı metalik bir ferromanyetik oluşabilir (Zhang ve ark., 2008). Şekil 2.2 O-fakir ve O-zengin koşullar altında Fermi seviyesinin bir fonksiyonu olarak NiO'daki boşlukların oluşum enerjilerini göstermektedir. Verilen E_f 'deki farklı boş pozisyonların yalnızca en düşük enerji yüklü durumu gösterilir. NiO yoğun bir şekilde paketlenmiş yapılara ait olduğu için ara yerlerin oluşum enerjileri oldukça yüksektir ve bu tür ara yerlerin kendiliğinden oluşması zordur.



Şekil 2.2. NiO'daki anyon ve katyon boşlukları için oluşum enerjisi. (Hakkoum, 2022)

Kesintisiz çizgiler, O-zengin (Ni-zayıf) koşullardaki en düşük enerji yüklü boşluk durumunun oluşum enerjisini temsil ederken, kesikli çizgiler O-fakir (Ni-zengin) koşullar içindir (Zhang ve ark., 2008).

Nötr O ara yer oluşum enerjisi, 4.03 eV ve 1.17 ev'lik nötr nikel ve oksijen boşluğu ile karşılaştırıldığında, O-kötü koşullar altında 8.68 ev'dir. O bakımından zengin büyüme koşulları altında, Ni boşluklarının baskın kusur olduğu ve Ni boşluklarının kararlı yüklü durumunun farklı Fermi enerjilerine göre değiştiği bulunmuştur. E_f iletim bandı minimumuna (CBM) yakın olduğunda, en kararlı kusurlar, geniş bir E_f aralığında V_{Ni}^{2-} dir. V_{Ni}^0 ve V_{Ni}^{2+} sırasıyla $E_f \leq E_V + 0.26eV$ ve $E_f \leq E_V + 0.37eV$ için kararlı kusur durumlarıdır. Buna karşılık, O-zayıf koşullar altında, farklı Fermi enerjisiyle, V_{Ni}^{2-} , V_O^0 , V_O^{2+} , karşılık gelen enerji bölgesindeki en kararlı boşluk kusurlarıdır. O_2 kısmi basıncının ve sıcaklığının etkisinin, kusur yapısının kararlılığında çok önemli bir role sahip olduğuna inanılmaktadır.

2.3 Fotodiyotun Tarihçesi

Bir foto diyot, elektrik akımı üretmek için ışık enerjisi tüketen bir cihazdır. Aynı zamanda bir fotodedektör, bir ışık dedektörü ve bir foto-sensör olarak da adlandırılır. Fotodiyotlar, ters gerilim koşullarında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu bölüm, fotodedektörlerin tarihçesi, türleri, özellikleri ve uygulamalarına genel bir bakış sunmaktadır.

Fotodedektörler, fotoelektrik dönüşüm yoluyla bir foton akısından veya optik güçten elektron üreten cihazlardır. Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'teki bilgilerden fotodiyot araştırmalarının uzun bir geçmişe sahip olduğu görülebilir.

Çizelge 2.2. Fotodiyot gelişmelerinin tarihçesi (Renker, 2006)

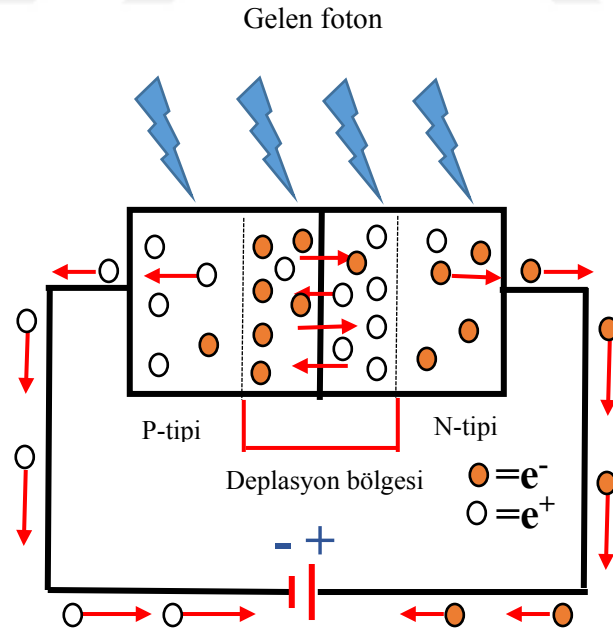
Yıl	Gelişim
1940	Fotodiyot teknolojisindeki gelişmeler, PN bağlantı diyotunun temel gelişmelerinden kaynaklanmıştır.
1950	Fotodiyot teknolojisi, bu yıllar içinde gelişim gösterdi ve PIN fotodiyotu geliştirildi.
1959	PIN yapısının geniş tükenme alanındaki ışık absorpsiyonu, ilk olarak Gartner tarafından yayınlanan bir makalede incelenmiştir.
1960	Katı hal tek foton dedektörlerinin geliştirilmesinde öncü çalışmalar McIntyre tarafından RCA şirketinde yapıldı.
1962	Silisyum fotodiyotlar için tercih edilen malzeme olmasına rağmen, germanyumun kullanımı ilk kez Riesz tarafından gösterildi. Schottky fotodiyotu ele alındı.
1972	Japonya'da, çığ fotodedektörlerin gelişimi ile biraz farklı bir tasarıma sahip bir katı hal tek foton dedektörü 1972'de patentlendi.
Son yıllarda	Son araştırmalar, yeni nesil fotodiyotlar geniş alan, geniş bant aralığı nanoteknoloji malzemeleri, esnek, şeffaf ve kendi kendine çalışan kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2.3. Yeni tip gelişmiş fotodiyot (Zou ve ark., 2018)

Tip	Açıklama
Nanoyapı UV Dedektörleri	Metal Oksit nanoyapılar, yalnızca yüksek fotoiletkenlik kazancı ve 1D nanoyapıların özellik faydalarını değil, aynı zamanda heteroeklem malzemelerinin birleştirilmesinin sinerjistik etkilerinden kaynaklanan çok işlevli veya yeni özelliklerin ek faydasını sundukları için en umut verici hassas fotoalgılama malzemeleri olarak kabul edilir.
Şeffaf UV Dedektörleri	Saydam bir malzemede elektronun enerji aralığı fotonlardan daha fazladır, bu nedenle elektronlar fotonların enerjisini kullanamayacak ve ışık geçecek ve bu da malzemeyi yarı saydam yapacaktır. Bu, ışığı emmek olan güneş pilinin ana özelliğidir.
Geniş Alan UV Dedektörü	Geniş alan tespiti elde edebilir.
Kendi Kendine Çalışan UV Dedektörleri	Kendi kendine çalışan fotodetektörler, harici güç tüketmeden sıfır ön gerilim çalışır, bu nedenle daha taşınabilir ve uyarlanabilir geleneksel fotodetektörlerdir. Genel olarak, bu tür kendi kendine çalışan fotodetektörler, enerji dönüşümüne göre iki ana sınıfa ayrılır. Bir sınıf, doğrudan bir optik sinyal tarafından yönlendirilebilen ve fotoelektron uyarma işlemi yoluyla ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen fotovoltaiik etkiye dayalıdır. Diğer sınıf, UV radyasyonunu elektrik ve kimyasal enerjiye dönüştüren entegre bir enerji ünitesi içerir. Bu cihazlar genellikle fotoelektrik ve fotoelektrokimyasal (PEC) etkilerin bir kombinasyonu ile çalışır. Fotovoltaiik etki, p-n eklemleri, heteroeklemler veya Schottky eklemleri içeren yeni kendi kendine çalışan UV fotodetektörlerinde büyük bir kullanım potansiyeline sahiptir.
Esnek UV Dedektörleri	Son zamanlarda, taşınabilir, giyilebilir ve hafif optoelektronik cihazlar geliştirmek için esnek cihazlar daha yaygın hale geldi. Bu aynı zamanda yeni nesil UV dedektörlerinin geliştirilmesi için çok sayıda fırsat sunmaktadır.

2.4 Fotodiyotların Çalışma Prensibi

Fotodedektörlerin çalışması, fotoiletken veya fotovoltajik etkilere dayanır (Xu, 2015). Fotonların absorpsiyonu, değerlik bandından iletim bandına elektron uyarılmasına yol açabilir. Şekil 2.3, taşıyıcı üretiminden dış akıma kadar olan işlem adımlarını göstermektedir. Üretilen elektron deliği çiftleri, hareketli yük taşıyıcılarını artırır. Bu, malzemenin iletkenliğini artırabilir (fotoiletken etki budur) veya yerleşik elektrik alan (fotovoltajik etki) ile elektron deliği çiftini hızlandırarak bir akım indükleyebilir. Her iki durumda da bu, dış devrede foton akısıyla orantılı bir akım ürettiğinden, bu tür cihazlar ışığın varlığını tespit etmek için kullanılır. Ayrıca, fotovoltajik modda, diyot güç kaynağına bağlı olmayıp herhangi bir polarizasyon kaynağı olmadığı anlamına gelir. Işık fotodiyot üzerine bu şekilde düştüğünde, elektronları daha yüksek bir enerji durumuna uyarır ve elektronların katot terminaline ve deliklerin anot terminaline doğru hareket etmesine neden olur. Bu işlem, iki terminal arasında potansiyel bir fark yaratır. Fotoiletken modda, diyot güç kaynağına bağlanır ve diyotu ters polarize ederiz. Işık fotodiyot üzerine düştüğünde, bir çift elektron ve delik oluşturur ve öngerilim voltaj nedeniyle ters yöne doğru hareket eder.



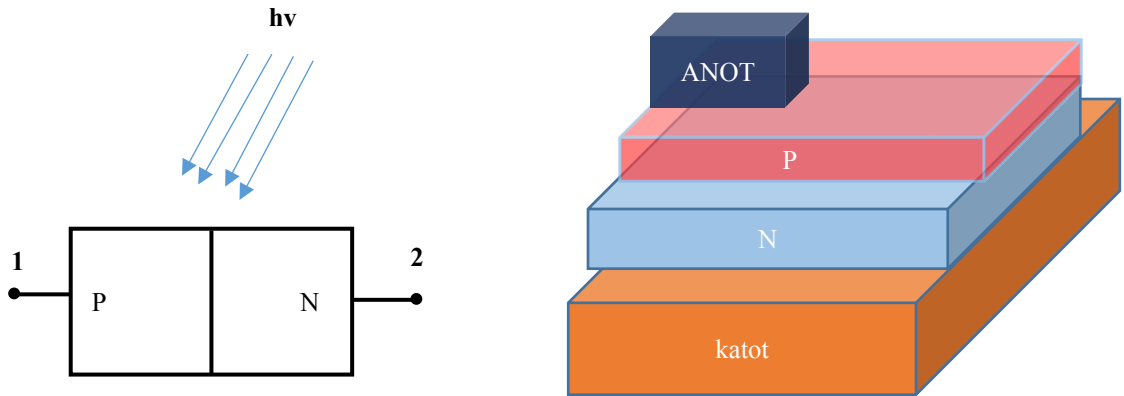
Şekil 2.3. Bir fotodiyotun çalışmasının tanımı (Hakkoum, 2022)

2.5 Fotodiyot Türleri

Fotodiyot terimi yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kullanılabilecek birkaç farklı fotodiyot teknolojisi türü vardır. Farklı özellikler sundukları için farklı fotodiyot teknolojileri farklı alanlarda kullanılmaktadır.

2.5.1 PN Bağlantı Fotodiyotu

PN bağlantı fotodiyotları, fotodiyotların ilk şeklidir. Şekil 2.4'te sunulan PN bağlantı fotodiyotu aynı zamanda basitçe bir fotodiyot olarak da adlandırılır. Fotodiyotlarda, elektrik akımının çoğu, tükenme bölgesinde üretilen yük taşıyıcıları tarafından taşınır, çünkü tükenme bölgesindeki yük taşıyıcıları yüksek sürüklenme hızına ve düşük rekombinasyon oranına sahipken, n veya p tarafındaki yük taşıyıcıları düşük sürüklenme hızına ve yüksek rekombinasyon oranına sahiptir. Bir PN bağlantı cihazında, ışınlama altında, bölgedeki fotojenlenmiş elektron deliği çiftleri yerleşik alanla ayrılacak ve elektronlar (veya delikler) n tipi malzemeye (veya p tipi malzemeye) süpürülecek ve cihazda bir foto akım oluşacaktır.



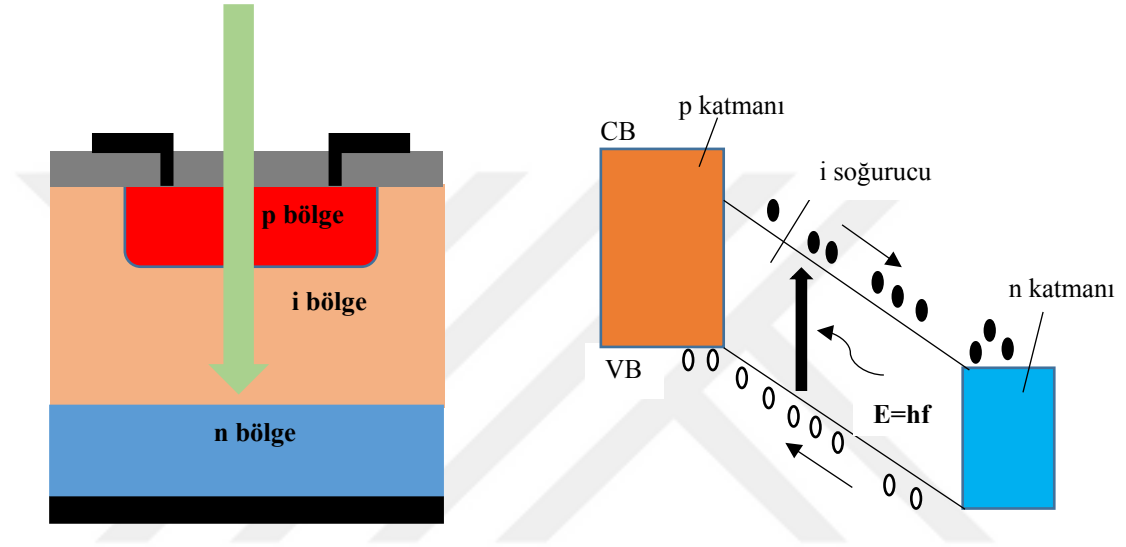
Şekil 2.4. p-n bağlantı fotodetektörünün cihaz yapısı (Hakkoum, 2022)

2.5.2 PIN Bağlantı Fotodiyotu

Bir PIN fotodiyotu, n-katkılı ve p-katkılı bölgeler arasında içsel (katkısız) bir bölgeye sahip bir fotodiyottur. Fotonların çoğu iç bölgede emilir ve burada üretilen taşıyıcılar foto akıma verimli bir şekilde katkıda bulunabilir. Taşıyıcıların çoğu içsel

bölgede üretilir çünkü bu, bir PN yapısının tükenme bölgesinden çok daha kalın olabilir. Kalın içsel bölgenin başka bir etkisi, daha yüksek algılama bant genişliğine izin veren azaltılmış kapasitans olabilir.

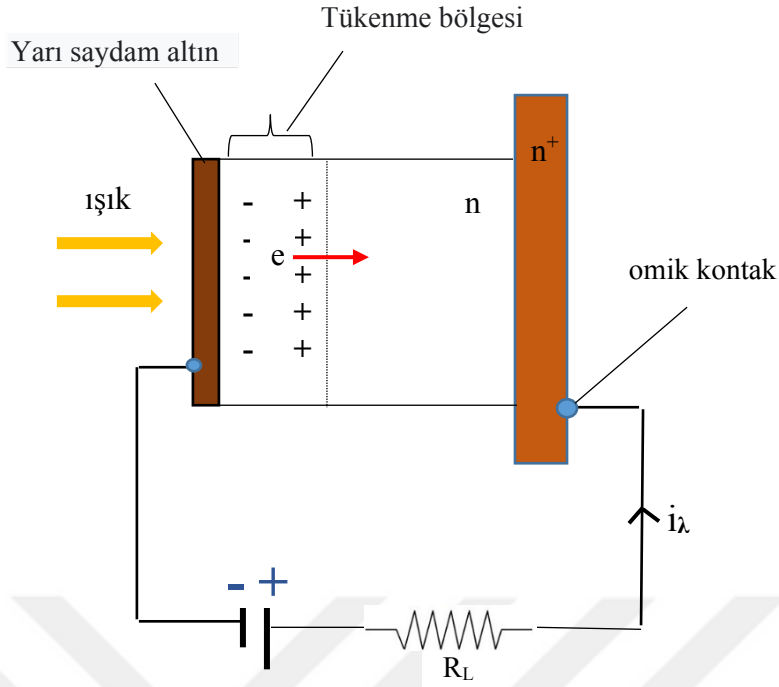
Şekil 2.5'te elektrotlar siyah olarak gösterilmiştir: katot düz bir elektrottur, anot ise bir halka şeklindedir (gösterilen enine kesitte iki zıt parçası görülmektedir). Ters gerilim voltajının pozitif kutbu katoda bağlanır. P bölgesinin üstünde yansıma önleyici kaplama vardır.



Şekil 2.5. PIN fotodiyotunun şematik çizimleri

2.5.3 Schottky Fotodiyot

Schottky fotodiyotu, foto üretim yük taşıyıcılarını ayırmak ve toplamak için bir metal-yarı iletken bağlantı kullanır. Şekil 2.6'da da görüldüğü gibi fotonlar, kısmen saydam bir metalik katmandan (genellikle altın) geçer ve n-tipi yarı iletken tarafından emilir. Tükenme bölgesinde üretilen yük taşıyıcıları, bir foto akıma yol açan dahili elektrik alanı tarafından verimli bir şekilde süpürülür. Schottky fotodiyotlar, öncelikle mavi veya UV dalga boylarını tespit etmek için veya verimlilikte bir miktar kaybın tolere edilebileceği yüksek hızlı uygulamalarda kullanılır (Quimby, 2006).



Şekil 2.6. Bir Schottky fotodiyotundan, ışığın yarı saydam bir metalik filminden geçtikten sonra n-tipi bir yarı iletkenin tükenme bölgesinde soğurulmasının şematik çizimleri (Quimby, 2006)

2.6 Fotodiyotun Özellikleri

2.6.1 Akım ve gerilim özellikleri

İdeal akım-gerilim özellikleri aşağıdaki dört varsayıma dayanmaktadır: (1) ani tükenme katmanı yaklaşımı; yani yerleşik potansiyel ve uygulanan gerilimler, keskin sınırları olan bir dipol tabakası tarafından desteklenir ve sınırların dışında yarı iletkenin nötr olduğu varsayılır; (2) Boltzmann yaklaşımı, genel olarak, Fermi seviyesi bant aralığı kenarından en az $3k_B T$ uzaktadır; (3) düşük enjeksiyon varsayımı; yani enjekte edilen azınlık taşıyıcı yoğunlukları, çoğunluk taşıyıcı yoğunluklarıyla karşılaştırıldığında küçüktür; (4) tükenme katmanında hiçbir üretim akımı yoktur ve elektron ve delik akımları, tükenme katmanı boyunca sabittir. Bu varsayımları kullanarak, bazı türetme çalışmalarından sonra, Denklem (2.1) şeklinde Shockley denklemi elde edilebilir (Xu, 2015).

$$J = J_0 \left[e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1 \right] \quad (2.1)$$

Burada;

J_0 : Doygunluk akım yoğunluğu

q : Elektrik yükü

V : Gerilim

k_B : Boltzmann sabiti

T : Sıcaklıktır.

Shockley diyot modeline dayalı olarak fotodiyot analizi için bir model önerilmiştir. Shockley denklemi, karanlık koşullarda akım ve voltajı Denklem (2.2) ile hesaplanır.

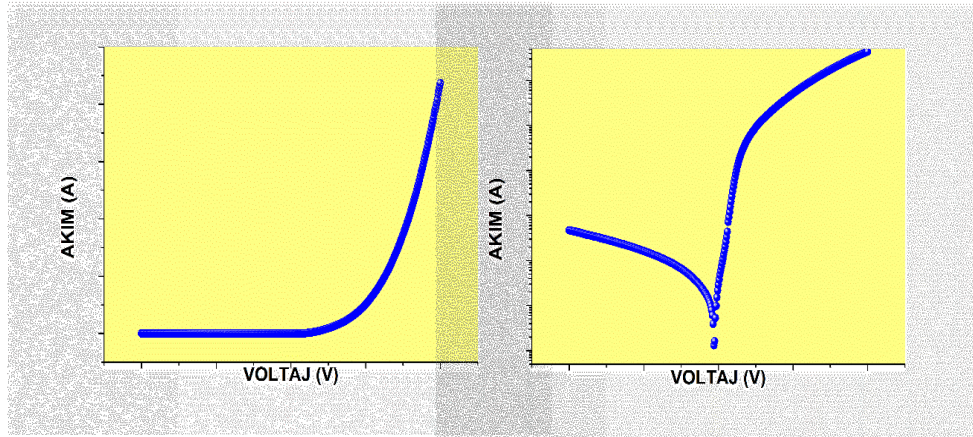
$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1 \right] \quad (2.2)$$

Aydınlatılmış bir fotodiyot, gelen optik güçle orantılı olan ve bu nedenle Denklem (2.3) ile modellenen ters fotoakım I'_{ph} 'ye sahiptir.

$$I = I_0 \left[e^{\frac{qV}{n k_B T}} - 1 \right] - I_{ph} \quad (2.3)$$

Burada n , bir diyotun ideal diyot denklemlerini ne kadar yakından takip ettiği olarak tanımlanan idealite faktörüdür.

Karakteristik I-V eğrisi, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi karanlık ve aydınlık koşullarda elde edilir. Uygulanan voltajın sıfırdan büyük olduğu rejim ($V_{bias} > 0$), ileri ön gerilim olarak adlandırılır, burada akım katlanarak artar, çünkü elektrotların polarite koşulları, anotun daha pozitif hale geldiği ve katotun daha negatif olduğu fotoakımın üretilmesi için elverişlidir. Aksine, ters polarizasyon altında ($V_{bias} < 0$), ölçülen akım doymuştur ve anot daha negatif ve katot daha pozitif hale geldiği için son derece düşüktür, bu da taşıyıcıların elektrotlardan filme enjekte edilmesi için bir enerji bariyeri oluşturur.



Şekil 2.7. Doğrusal ve logaritmik ölçekte bir fotodiyotun karakteristik IV eğrisi

Karanlık akım (ışıksız) gürültü kaynağına eşdeğerdir ve sinyal-gürültü oranını zayıflatacaktır. Bazı PN veya PIN bağlantısına sahip fotodiyotlarda ve diğer dedektörlerde, genellikle taşıyıcıların termal uyarımından (üretiminden) kaynaklanır, bu zorunlu olarak doğrudan değerlik bandından iletim bandına değil, muhtemelen kristal kusurları veya safsızlıklarla ilgili kusur durumları yoluyla olur. Bu tür ısı işlemlerin hızı yalnızca aktif alana değil, aynı zamanda kritik olarak malzemenin sıcaklığına ve bant aralığı enerjisine ve ayrıca çalışma voltajına (özellikle çarpma iyonizasyonunun meydana gelebileceği kırılma voltajına yakın) bağlıdır. Yüksek voltajlarda, tükenme bölgesinden tünel açmak da katkıda bulunabilir.

2.6.2 Duyarlılık

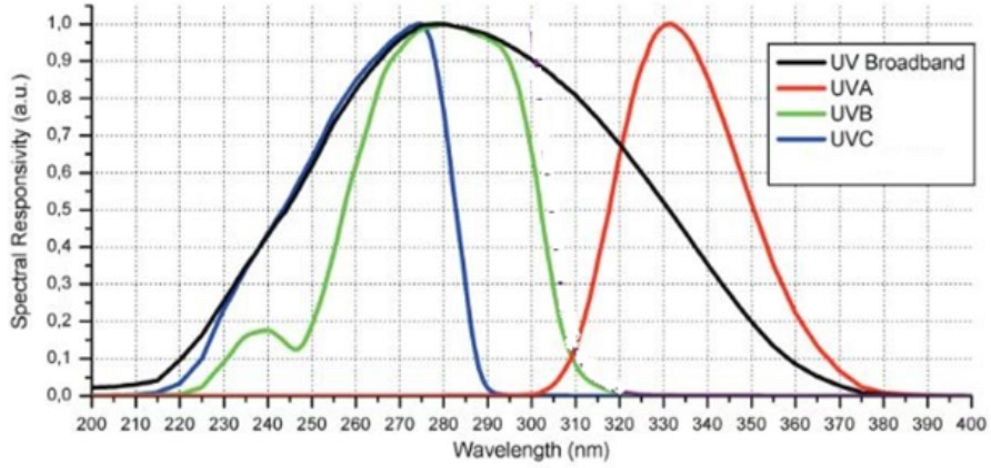
Bir fotodetektörün duyarlılığı, gelen optik güce bölünen foto akımıdır. Duyarlılık birimi watt başına amperdir. Tüm fotonların elektron-delik çiftlerine dönüştürüldüğünü varsayarsak Denklem (2.4) olarak tanımlanan duyarlılık;

$$R = \frac{I_{ph}}{P} \quad (2.4)$$

Burada;

I_{ph} : Foto akım

P: optik yoğunluktur (veya ışık yoğunluğudur).



Şekil 2.8. UV fotodedektörlerinin spektral duyarlılık özellikleri (Hakkoum, 2022)

Kesme dalga boyu, bir UV dedektörünün tespit edebileceği en uzun dalga boyudur, absorpsiyon ve geçirgenlik spektrumu ile ölçülebilir.

2.7 Fotodiyot Uygulaması

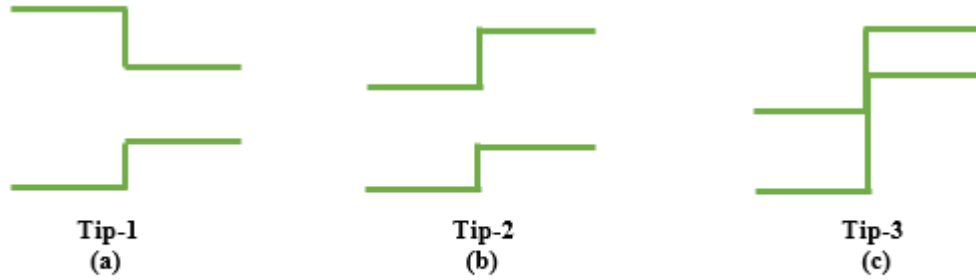
Fotodiyotların çeşitli uygulamaları şunlardır: Fotodiyotlar, bilgisayarlı tomografi, numuneleri analiz eden aletler ve nabız oksimetreleri gibi tıbbi uygulamalarda kullanılır. Ayrıca fotodiyotlar, optik iletişim için ve son derece düşük ışık yoğunluklarını ölçmek için kullanılır. Fotodiyotlar, kullanımlarını büyük ölçüde sayaçlarda ve anahtarlama devrelerinde bulur. Mantık devreleri ve kodlayıcılarda da fotodiyot kullanır. Hırsız alarm sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür alarm sistemlerinde radyasyona maruz kalma kesilmeyene kadar akım akar. Işık enerjisi cihaz üzerine düşmediği için alarm gibi çalar.

2.8 Heteroeklem Türleri

Genel olarak, heteroeklemler, farklı bant uzaklıklarına göre tip-I, tip-II ve tip-III heteroeklemler olarak sınıflandırılabilir. Tip-I heteroeklemler için, iletim bandı minimumu (CBM) diğer malzemedekinden daha yüksek ve değerlik bandı maksimumu (VBM) daha düşük olduğundan hem elektronlar hem de boşluklar, gösterilen düzenleme için sağa aktarma eğilimindedir (Şekil 2.9a). Bu nedenle, tip-I heteroeklemler, şarj

taşıyıcı rekombinasyonunun gerekli olduğu LED'ler ve yarı iletken lazerler gibi ışık yayan cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tipik bir tip-II heteroeklem için, iki yarı iletkenin gelen bant aralıkları kademeli bir hizalama oluşturur, başka bir deyişle, bir yarı iletkenin iletim ve değerlik bantlarının enerjileri diğer yarı iletkenin nispeten daha yüksektir. Bu nedenle, dış uyaran altındaki ilk yük taşıyıcı oluşumunu takiben, elektronlar ve / veya delikler ara yüz üzerinden ters yöne doğru aktarma eğilimindedir, bu da yük taşıyıcıların uzamsal olarak ayrılmasına ve ardından yerleşik elektrik alanına neden olur. Bu tür bir yük sınırlaması, özellikle güneş pilleri ve fotodetektörler gibi ışık absorpsiyonu veya emisyonu içeren belirli optoelektronik cihazlarda büyük önem taşır, çünkü taşıyıcı ayırma ve taşımının verimli şekilde düzenlenmesi bu tür cihazların performansını baskın olarak belirler. Ayrıca, arayüz geçişi, spektral aralığı, bileşenlerin herhangi birinin bant aralığı tarafından tanımlanan dalga boyundan önemli ölçüde daha uzun bir dalga boyuna kadar genişletilebilir (Şekil 2.9b). Tip III heteroeklemde (kırık-boşluk) bant boşlukları hiç örtüşmez. Taşıyıcı transferi durumu tip II'ye benzer, sadece daha belirgindir (Şekil 2.9c).



Şekil 2.9. Üç tip yarı iletken heteroeklemin şematik enerji bant diyagramı

Ek olarak, iletkenliğe bağlı olarak, heteroeklemler iki türe ayrılabilir: iki yarı iletkenin hem n-tipi hem de p-tipi olduğu izotip veya iki yarı iletkenin bir p-n heteroeklem oluşturduğu anizotip. Anizotip tip-II heteroeklem için, p-n homoekleminkine benzer şekilde, termal denge altındaki bant hizalaması, arayüzdeki elektron/delik difüzyon sürecinden kaynaklanmaktadır. Bir heteroeklem oluşturulduğunda, n-tipi yarı iletkenindeki fazla elektron sayısı p-tipi yarı iletkene yayılır ve bunun tersi de geçerlidir. Elektronlar ve delikler yayıldıkça, sırasıyla n tipi ve p tipi yarı iletkenlerde pozitif yüklü donör atomlar ve negatif yüklü alıcı atomlar kalacaktır. Sonuç olarak, tükenme bölgeleri, sırasıyla net bir pozitif ve bir negatif yük ile hem n-tipi hem de p-tipi yarı iletkenlerde

üretir. Bu tür net yükler, n-tipi yarı iletken p-tipi yarı iletkenine doğru bir elektrik alanı oluşturur, bu da yük difüzyonuna zıt bir kuvvet sağlar. Elektrik alan difüzyonun tam değerine yükseldikçe bağlantı termal dengeye ulaşır. Anizotip heteroeklem için, tipik bir kalem bağlantı diyotu gibi davranır (Zheng ve ark., 2020).

2.9 İnce Film Üretim Yöntemi

İnce film malzemelerinin çoğu çeşidi, ince filmin hazırlanma amacına bağlı olarak biriktirme süreçlerine ve üretim tekniklerine sahiptir. Örneğin, mimari amaçlı enerji tasarruflu pencereler, kimyasal buhar biriktirme ile biriktirilen FTO'dan yapılabilir (Granqvist, 2007), aynı FTO ise elektriksel özelliklerini incelemek amacıyla sol-jel teknikleri kullanılarak biriktirilir (Banerjee ve ark., 2003). Mohagheghi ve ark., sprey piroliz yöntemiyle Al katkılı SnO₂ ince filmlerin sentezini de bildirmiştir (Bagheri ve ark., 2004). Mevcut biriktirme teknikleri fiziksel süreçler ve kimyasal süreçler olmak üzere iki şekilde sınıflandırmak mümkündür (Chopra, 1969).

Fiziksel yöntem, malzemenin bir kaynaktan buharlaşmasına veya atılmasına, yani buharlaşmasına veya püskürtülmesine bağlı olan biriktirme tekniklerini kapsarken, kimyasal yöntemler fiziksel özelliklere bağlıdır. Kimyasal yöntemler, fiziksel biriktirme tekniklerine kıyasla maliyet, basitlik ve homojenliğin ve bileşimin kolayca kontrol edilmesi ve biriktirme odasında vakuma gerek olmaması gibi birçok avantaj sunar (Sunde ve ark., 2014). Bu nedenle, iyi performans gösteren bu biriktirme tekniklerinin birçoğunun sorumluluğu, araştırmacının aşağıdaki gibi faktörlere dayalı bir karar vermesidir: maliyet; biriktirilecek malzemelerle uyumluluk, kontrol edilebilir biriktirme hızı; orta sıcaklık uyumluluğu ve biriktirilecek malzemelerin hacmi. Ancak bu özel çalışma, sol-jel döndürerek kaplama yöntemini vurgulamaktadır.

2.9.1 Sol-jel yöntemi

"Sol-jel" işlemi, bir sıvı içindeki bir moleküler öncünün poli-yoğuşma reaksiyonları yoluyla bir oksit ağının oluşumu olarak tanımlanabilir. Sentezin arkasındaki fikir, bileşiği bir sıvı içinde çözerek kontrollü bir şekilde katı olarak geri getirmektir. Genellikle sinterlenebilir küçük parçacıklar ile sonuçlanan süreç aynı zamanda birlikte çökelme problemlerini de önler.

Sol-jel sentezi, gözenekli yapılar, ince lifler, yoğun tozlar ve ince filmler gibi çeşitli şekillere sahip malzemeleri hazırlamak için kullanılabilir. Teknik, kaplama işleminin bir çözelti damlasından kolayca kontrol edilebilmesi ve ardından havada ısıtma işlemi uygulanabilmesi nedeniyle büyük uygulamalar için uygundur (Zaharescu, 2000).

Diğer tekniklerle karşılaştırıldığında, sol-jel yolu, karmaşık şekilli alt tabakalar üzerinde birikme olasılığı, doping seviyesinin daha kolay kontrolü, oldukça ucuz başlangıç malzemeleri ve basit ekipman gibi bazı avantajlar sunar (Daoudi ve ark., 2002). Bu imalat yöntemi genel olarak uygun maliyetlidir ve aynı zamanda geniş bir alanda bile ince film biriktirme imkânı sağlar (Znaidi, 2010). Islak kimyasal yöntem (sol-jel tekniği), stokiometri, gözeneklilik, kristallik ve morfoloji dahil olmak üzere çeşitli özellikler üzerinde kontrol sağlayan umut verici bir tekniktir (Wu ve ark., 2010).

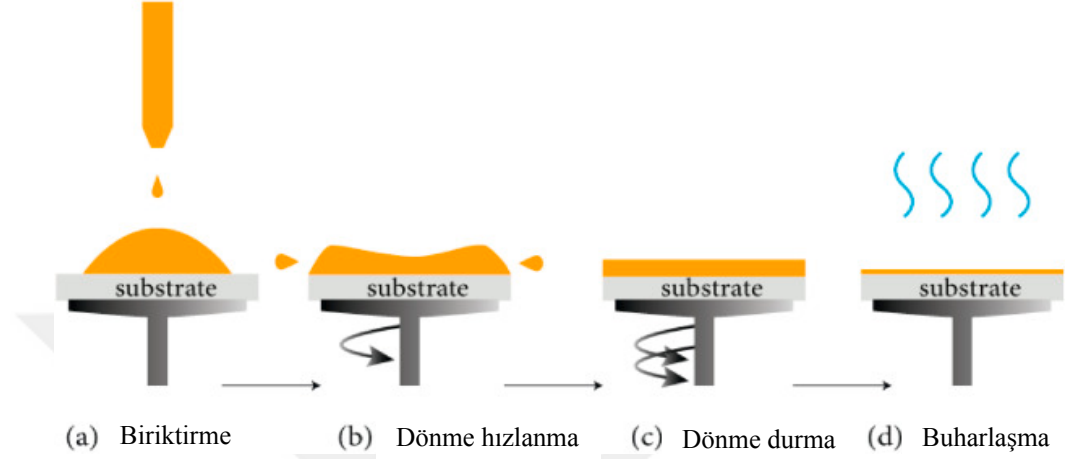
Sol-jel yöntemiyle biriktirme, karıştırma, jelleştirme, yaşlandırma, kurutma ve sinterleme gibi adımları içerir. Çözelti daha sonra ince bir film elde etmek için daldırma kaplama yoluyla bir alt tabaka üzerine kaplanır. Daldırma kaplama, alt tabakanın her iki tarafında aynı kaplamaya sahip olma avantajını sunarken, döndürerek kaplama işlemi daha basit ve daha az maliyetli görünmektedir.

2.9.2. Spin kaplama tekniği

Döndürerek kaplama yöntemi, ince filmlerin düzgün bir şekilde kaplanması konusundaki pratikliği göz önüne alındığında, enerji uygulaması için koloidal kristallerin birleştirilmesi, nanosfer litografi ve metal oksitlerin kaplanması gibi birçok alanda araştırma merkezlerinin büyük çoğunluğu için birincil seçenek haline gelmiştir (Deckman ve Dunsmuir, 1982; Hulteen ve Van Duyne, 1995; Kamaruddin ve ark., 2011; Kosiorek ve ark., 2004; Kumar ve ark., 2020).

Genel anlamda, spin kaplama tekniğinin işlemi, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi dört aşama içerir; birincisi, numuneyi düşük bir hızda döndüren bir ayna üzerine monte edilmiş olan alt-tabaka üzerine sol-jel çözücünün çökelttilmesini içerir hız ve viskoz kuvvetler çözeltiye hâkim olur ve bu da sıvı katmanın kademeli olarak incelme davranışına neden olur. İkinci aşama ile ilgili olarak, hızlandırılmış alt tabakanın dönmesini gerektirir, bu durumda çözücü buharlaşması filmin yüksek hızda (tipik olarak 3000 rpm civarında) incelme davranışına hâkim olur (Mitzi, 2004) ve ardından dönme hızlanma ve dönme durma ile maddenin çözümü sırayla gerçekleşir. İşlem sırasında meydana gelen buharlaşma olarak da bilinen son aşama ile ilgili olarak, çözelti

viskozitesi, öncünün doğası (Ukoba ve ark., 2018), kuruma hızı, katı madde yüzdesi, yüzey gerilimi, duman egzozu, açılma hızı ve eğirme süresi, özellikleri ve nihai film kalınlığını belirler (Sun ve ark., 2014), (Scriven, 1988). Çizelge 2.4'te spin kaplama tekniğinin bir takım avantaj ve dezavantajlarından söz ediyoruz.



Şekil 2.10. Spin-kaplamanın dört temel aşaması: (a) Biriktirme, (b) Dönme hızlanma, (c) Dönme durma ve (d) Buharlaşma (Chtouki ve ark., 2021)

Çizelge 2.4. Spin kaplama tekniğinin avantajları ve dezavantajları (Chtouki ve ark., 2021)

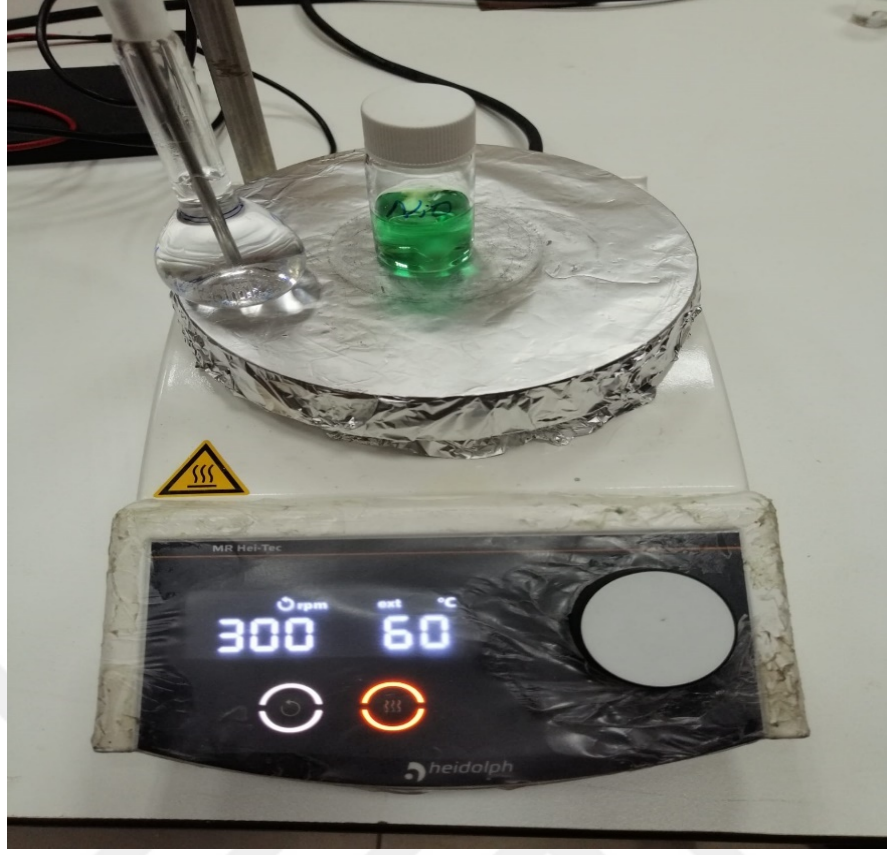
Spin kaplama tekniğinin avantajları	Spin kaplama tekniğinin dezavantajları
• Çok iyi, ince ve düzgün kaplama üretir. • İnce tabakaları kolayca ve hızlı bir şekilde biriktirir • Düşük maliyetli teknik • Buhar fazlı biriktirmeye kıyasla malzeme israfını azaltır.	• Döndürerek kaplamanın en büyük dezavantajı, atık maliyetindeki artışın yanı sıra malzeme verimliliğinden yoksun olmasıdır, ayrıca, alt tabakanın boyutu arttığında yüksek hızlı eğirme işleminin meydana gelmesi nedeniyle büyük alt tabaka için uygun değildir. • Çok katmanlı cihazların hazırlanması için, katmanların çözünürlüğü biriktirildikten sonra yüksektir. • Merkezkaç kuvvetinden kaynaklanan kaplama kusurları ve sorunları • Işıklı hızla kürlenebilen malzemelerle sınırlıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

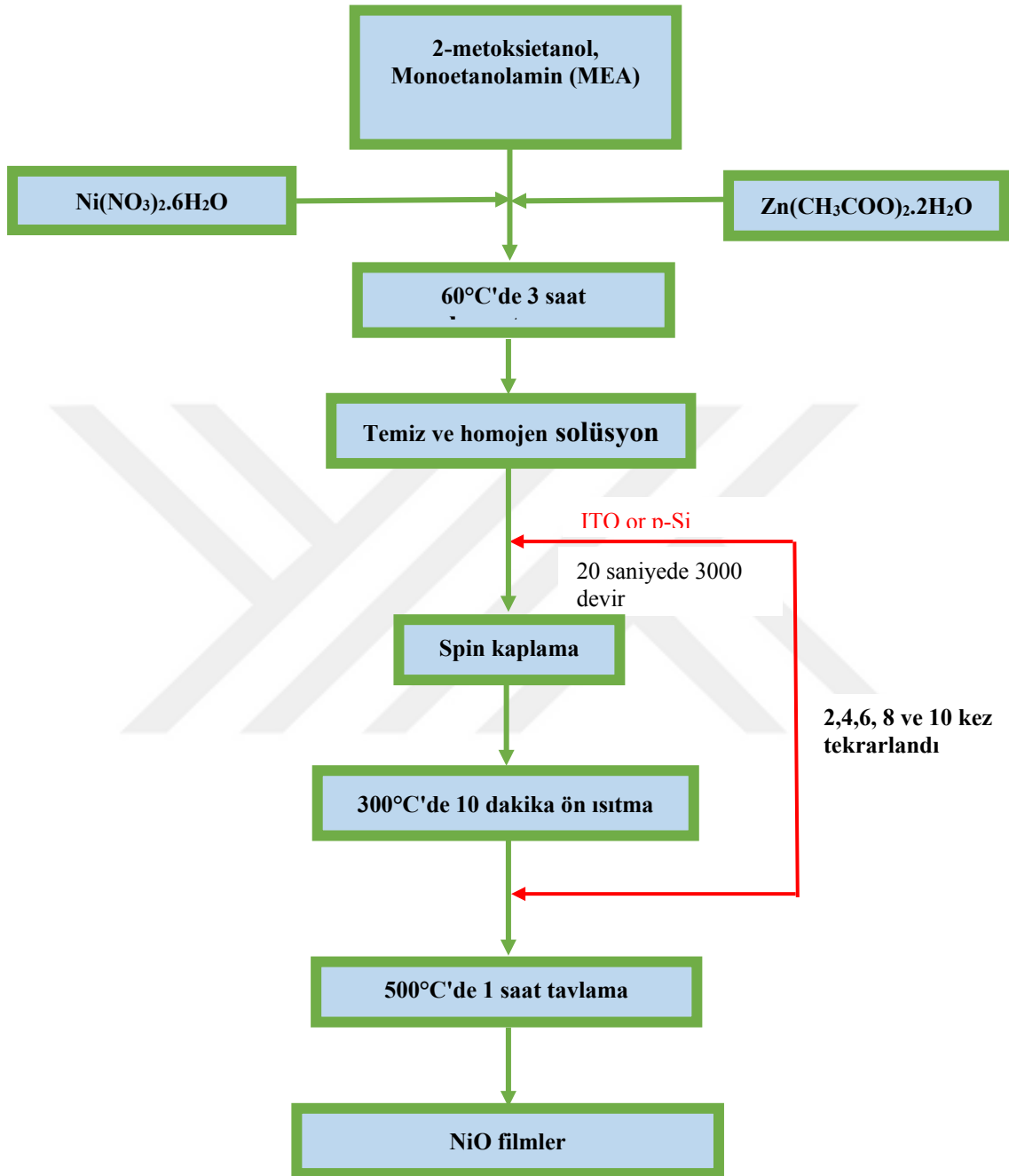
3.1. Çözeltilerin Hazırlanması

Bu çalışmada, katkısız NiO filmleri n-Si altlıklar üzerine sol-jel döndürme kaplama tekniği ile kaplanmıştır. Ni çözeltileri (0.05 M) hazırlandı. Ni kaynağı olarak Nikel (II) asetat tetrahydrate $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ve kullanıldı. 2-metoksietanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$, %99.5 saflık) ve monoetanolamin ($\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$, MEA, %98 saflık) sırasıyla solvent ve stabilizatör olarak kullanıldı. Şekil 3.1'de manyetik karıştırıcıda hazırlanan NiO çözeltisinin fotoğrafı gösterilmiştir. Farklı kalınlıkta hazırlanan NiO ince filmleri n-Si alttaşları üzerinde üretilerek fotodiyotlar üretildi. Alttaş yüzeyleri kaplanmadan önce bazı temizleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Önce etanol, aseton ve distile su ile 10 dakika ultrasonik olarak temizlendi. Alt tabakalar üzerindeki doğal SiO_2 tabakasını çıkarmak için n-Si alttaşları ayrıca $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}$ (1:10) oranında su ile seyreltilmiş bir hidroflorik asit (HF, %40 saflık) solüsyonu kullanılarak dağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra tüm substratlar azot gazı ile kurutuldu. Hazırlanan solüsyonlar 60°C 'de 2 saat karıştırıldı. Her biri 30 saniye ve 3000 rpm olmak üzere 2 kat, 4 kat, 6 kat, 8 kat ve 10 kat olmak üzere beş ayrı film hazırlandı. Her kaplamadan sonra, substratlar 300°C 'de 10 dakika süreyle bir tüp fırında kurutuldu. Kaplama işlemleri tamamlandıktan sonra tüm filmler tüp fırında 500°C 'de 2 saat tavlandı. Tüm filmlerin hazırlanması için izlenen sürecin akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Filmlerin biriktirilmesi tamamlandıktan sonra gümüş ohmik kontaklar film üzerine bir gölge maskesi vasıtasıyla buharlaştırıldı. Arka kontak için ise gümüş pasta kullanıldı (Şekil 3.4).

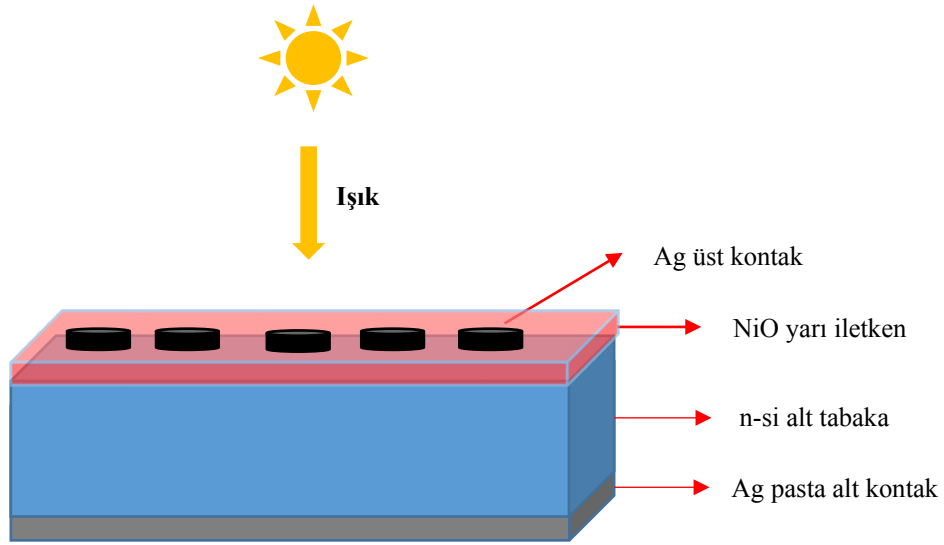
Filmlerin fotoelektrik ölçümlerini yapabilmek için gümüş buharlaştırma işlemi vakum termal buharlaştırma sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fotodiyotların şematik görünümü Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Fotodiyotların akım-gerilim ve kapasitans-gerilim karakteristikleri, yarı iletken karakterizasyon sistemi (KEITHLEY 4200 SCS/CVU) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı aydınlatma yoğunluklarında ölçüm yapmak için 1.5 AM filtreli güneş simülatörü kullanıldı.



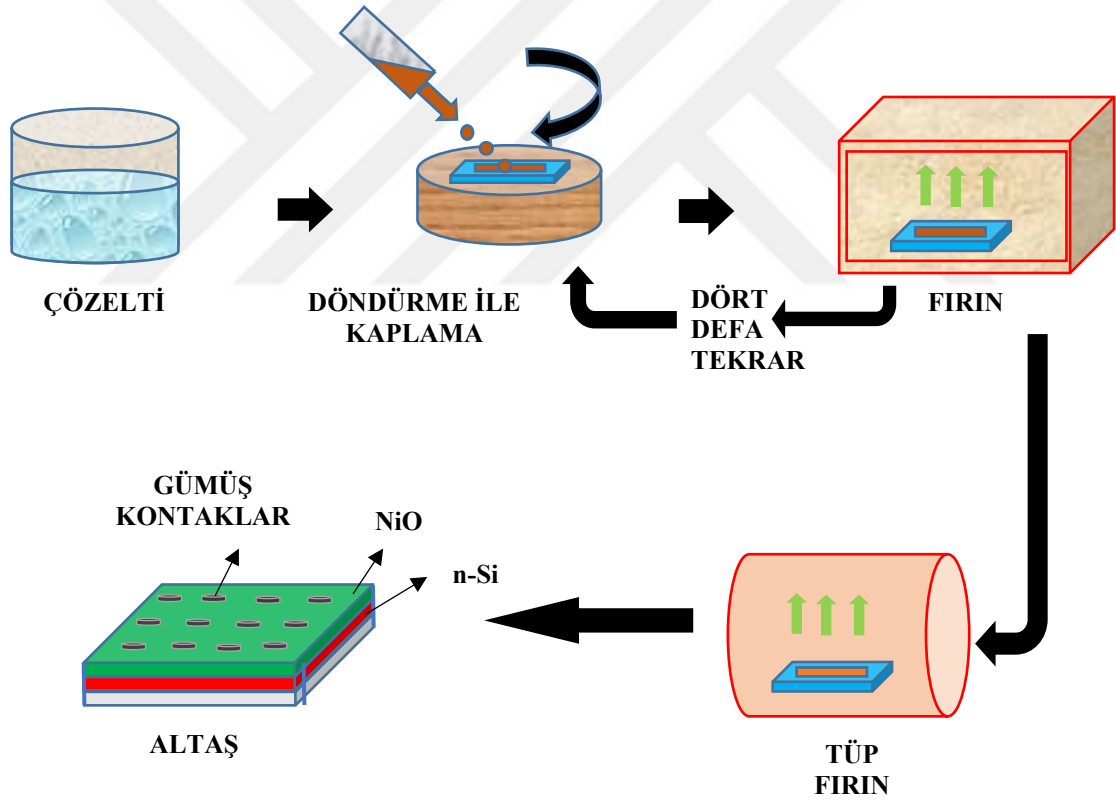
Şekil. 3.1. Hazırlanan Nikel oksit çözücüsünün manyetik karıştırıcı ile karıştırılması



Şekil 3.2. Filmler için prosedürü gösteren akış şeması



Şekil 3.3. Fotodiyotların şematik görünümü

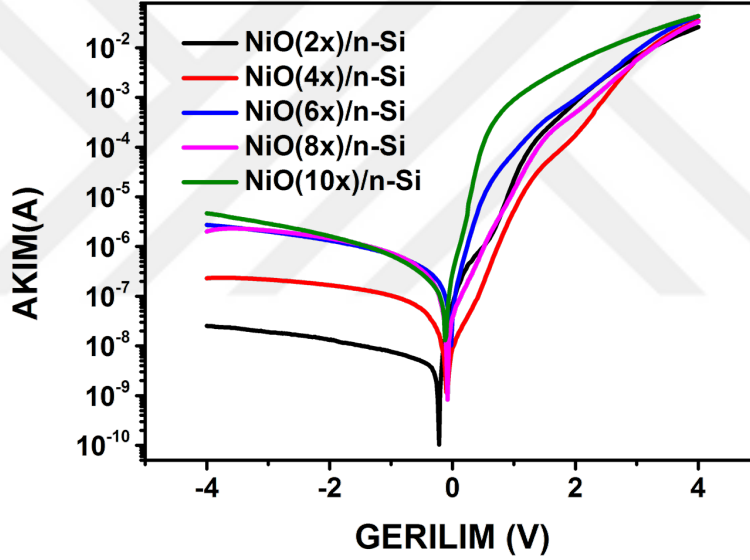


Şekil 3.4. Diyot üretim akış şeması ve yapısı (NiO/-Si)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. I-V Karakteristikleri Yardımıyla Elektriksel Parametrelerin Hesaplanması

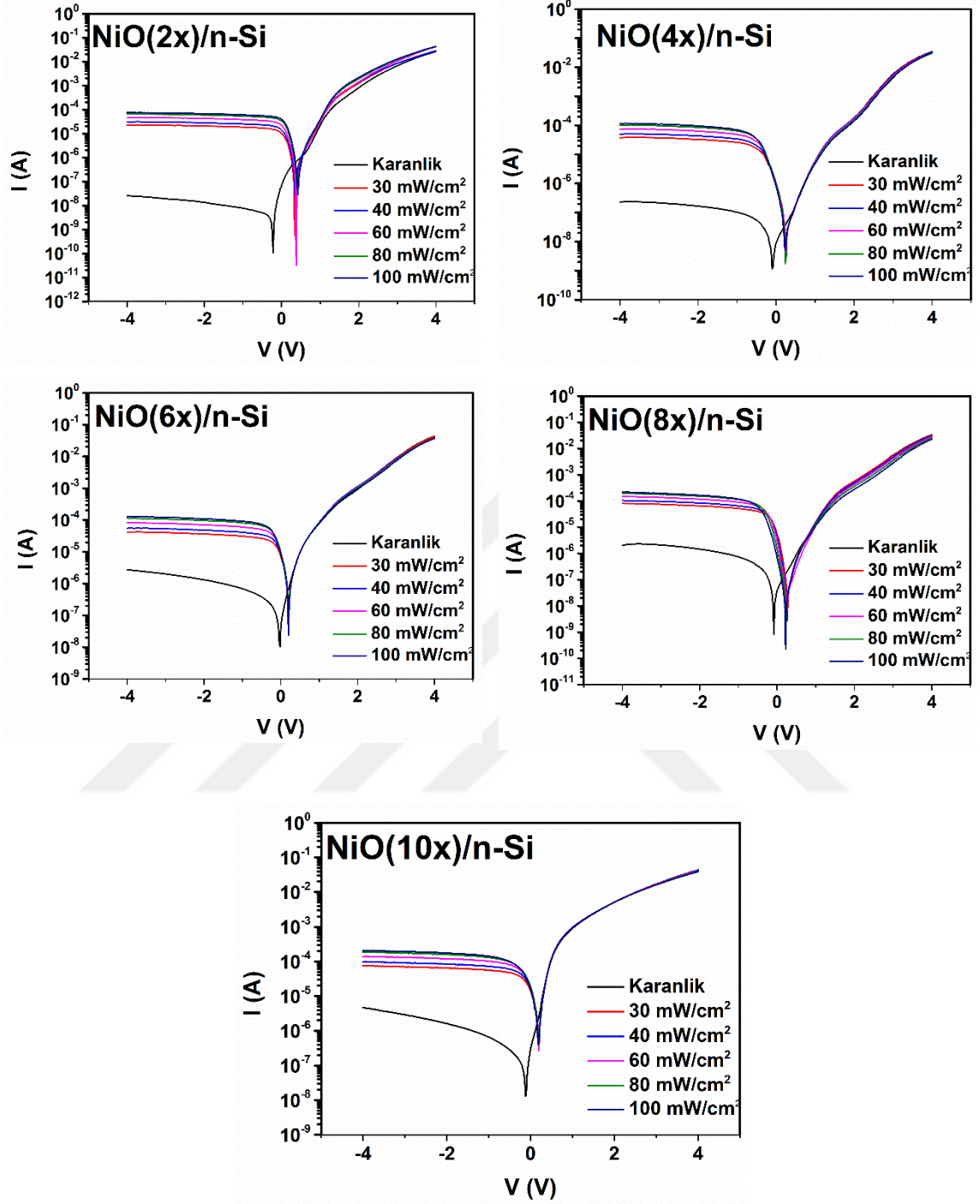
Üretilen heteroeklem yapıların karanlık ve farklı aydınlatma şiddetleri altındaki Akım voltaj grafikleri sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Fotodiyotların karanlıkta ölçülen akım voltaj verilerinden diyotların temel parametreleri olan idealite faktörü, bariyer yüksekliği ve doğrultma oranı gibi temel parametreleri hesaplanarak Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’den görüldüğü gibi kalınlık arttıkça ters beslem akımlarının arttığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı kalınlıklara sahip diyotların karanlıkta ölçülen akım-gerilim grafiği

4.2. Üretilen Diyotların Işığa Duyarlılık karakteristikleri

Şekil 4.2’de fotodiyotların 30 ve 100 mW/cm² arasında yoğunluklara sahip farklı ışık şiddetlerinde ve karanlıkta ölçülen I-V karakterizasyonları, fotodiyotların fotoelektrik özelliklerini incelemek için oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Üretilen diyotların tümünün doğrultma davranışı gösterdiği ve cihazların anahtarlama ölçüsü olan doğrultma oranlarının (RR) ± 4 V’ta NiO(2x)/n-Si den NiO(10x)/n-Si e doğru $1,03 \times 10^6$ den $9,32 \times 10^3$ düştüğü gözlemlendi.



Şekil 4.2. Fotodiyotların farklı ışık şiddetleri altında ölçülen akım-gerilim grafikleri

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, fotodiyotların tüm kalınlık oranları için artan ışık şiddeti ile ters polarma bölgesinde akım yükselirken, ileri polarma bölgesinde çok değişmediği görülmektedir. Ters öngerilim altında tükenme alanındaki artırılmış elektrik alanı, elektron delik rekombinasyonunu azaltır ve bu bölgede fotoakımın daha belirgin

hale gelmesine neden olur. Üretilen fotodiyotların fotohassasiyet değerleri ($I_{aydınlık}/I_{karanlık}$) -4 V ve 100 mW/cm² de NiO(2x)/n-Si, NiO(4x)/n-Si, NiO(6x)/n-Si, NiO(8x)/n-Si ve NiO(10x)/n-Si için sırasıyla 2.94×10^3 , 5.01×10^2 , 4.66×10^1 , 1.08×10^2 ve 4.40×10^1 olarak hesaplanmıştır.

Heteroeklem yapılarının diyot parametreleri, termiyonik emisyon (TE) teorisi kullanılarak analiz edildi, Akım ve doyma akımı sırasıyla Denklem (4.1) ve Denklem (4.2) kullanılarak hesaplandı. Bu teoriye göre $V \geq 3kT$ ile akım-gerilim ilişkisi ile tanımlanabilir (Colinge, 2005);

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV - IR_S}{\eta kT} \right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

$$I_0 = AA * T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_B}{kT} \right) \quad (4.2)$$

Burada;

I_0 : Doyma akımı

η : İdealite faktörü

q : Elektronik yük

A : Temas alanı ($7.85 \times 10^{-3} \text{cm}^2$)

A^* : Richardson sabitini (p-Si için $A^*=32 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ Si)

K : Boltzmann sabiti

Φ_B : Bariyer yüksekliği

T : Sıcaklığıdır.

Fabrikasyon diyotlar için Φ_B ve η değerleri, InI-V grafiğinin kesişme noktasından ve eğiminden elde edilir ve Denklem (4.3) ve Denklem (4.4) ile hesaplanır (Rhoderick, 1982);

$$\Phi_B = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4.3)$$

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

Bu denklemler kullanılarak fabrikasyon diyotlar için çıkarılan Φ_B ve η değerleri Çizelge 4.1'de listelenmiştir. İdeal bir diyot için idealite faktörünün 1 olduğu belirtilmelidir. İdealite faktörünün 1'den büyük olması diyotun ideallikten saptığı anlamına gelir (Coşkun ve ark., 2019; Polat ve ark., 2020). Diyotların η değerleri 3.29-7.05 arasında değişmektedir ve en düşük η değeri NiO(10x)/n-Si diyottan elde edilmiştir. Kalınlıkla beraber η değerinde gözlenen düşüşün gözlenmesi gerçeği, daha kaliteli bir kavşağın olduğu şeklinde yorumlanabilir. Bununla birlikte, diyotların idealite değerlerinin birden büyük olması genellikle SiO₂ katmanına, bariyer yüksekliğinin homojen olmayan dağılımına, arayüz durumlarına ve seri dirence atfedilir (Yerişkin ve Asar, 2021; Çiçek ve ark., 2016).

Çizelge 4.1. Üretilen diyotların hesaplanan temel elektriksel parametreleri

Diyotlar	Doğrultma Oranları (RR)	Φ_B (Bariyer yüksekliği)	η (İdealite faktörü)
NiO(2x)/n-Si	1.03×10^6	0.71	7.05
NiO(4x)/n-Si	1.51×10^5	0.76	6.50
NiO(6x)/n-Si	1.59×10^4	0.71	3.78
NiO(8x)/n-Si	1.67×10^4	0.72	6.88
NiO(10x)/n-Si	9.32×10^3	0.67	3.29

Ayrıca literatür incelendiğinde diyotların oda sıcaklığında yüksek idealite faktörü değerlerine sahip olması yukarıda belirtilen ideal davranıştan sapma nedenlerinin yanı sıra tünelleme akımları ve nesil rekombinasyon etkilerine de bağlanmaktadır (Altındal ve ark., 2021; Demirezen ve ark., 2021; Yerişkin, 2019).

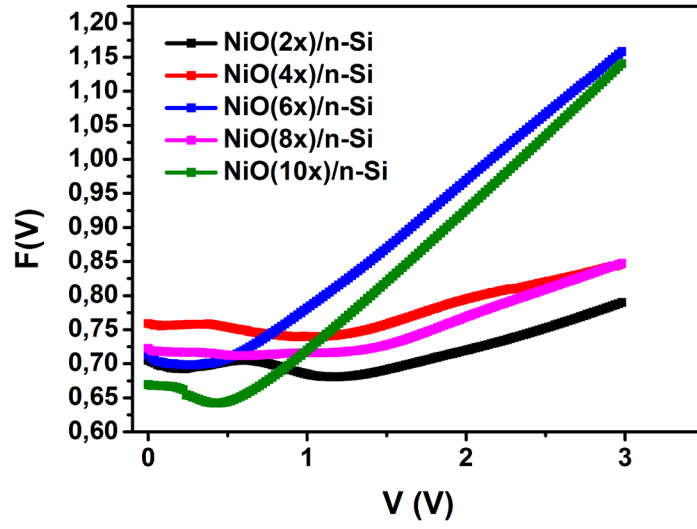
4.3. Norde Modeli Yardımı ile Bariyer Yüksekliği ve Seri Direncin Hesaplanması

Diyotların bir diğer önemli parametresi, diyotların elektriksel davranışı ve kalitesi hakkında bilgi veren seri dirençtir. Bu parametre, değiştirilmiş Norde yöntemi ile analiz

edilebilir (Norde, 2008). Bu yöntemde, R_s ve Φ_B parametreleri, I - V eğrisinin ileri sapmasından türetilir. Norde yöntemi Denklem (4.5) ile tanımlanır;

$$F(V) = \frac{V_0}{\delta} - \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I(V)}{A^* A T^2} \right) \quad (4.5)$$

Burada δ , n 'den büyük rastgele bir tamsayıdır (boyutsuz) ve $I(V)$, diyotun ileri ön gerilim bölgesindeki akımıdır. Bu yöntem için minimum $F(V)$ değeri $F(V)$ - V grafiğinden alınmalıdır.



Şekil 4.3. Farklı kalınlıklara sahip diyotların $F(V)$ - V grafiği

$F(V)$ - V eğrisi, Şekil 4.3.'de gösterilmektedir. Norde fonksiyonunu yeniden düzenleyerek, diyotların R_s ve Φ_B değerleri Denklem (4.6) ve Denklem (4.7) ile çıkarılabilir (Ilıcan ve ark., 2018);

$$\Phi_B = F(V_0) + \frac{V_0}{\delta} - \frac{kT}{q} \quad (4.6)$$

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_0} \quad (4.7)$$

Burada $F(V_0)$, $F(V)$ 'nin minimum değeridir ve V_0 , $F(V_0)$ 'ın karşılık gelen voltaj değeridir. Diyotların Norde yöntemi ile hesaplanan R_s ve Φ_B parametreleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. R_s 'nin minimum değeri NiO(2x)/n-Si diyotu için hesaplanmıştır. Çizelge

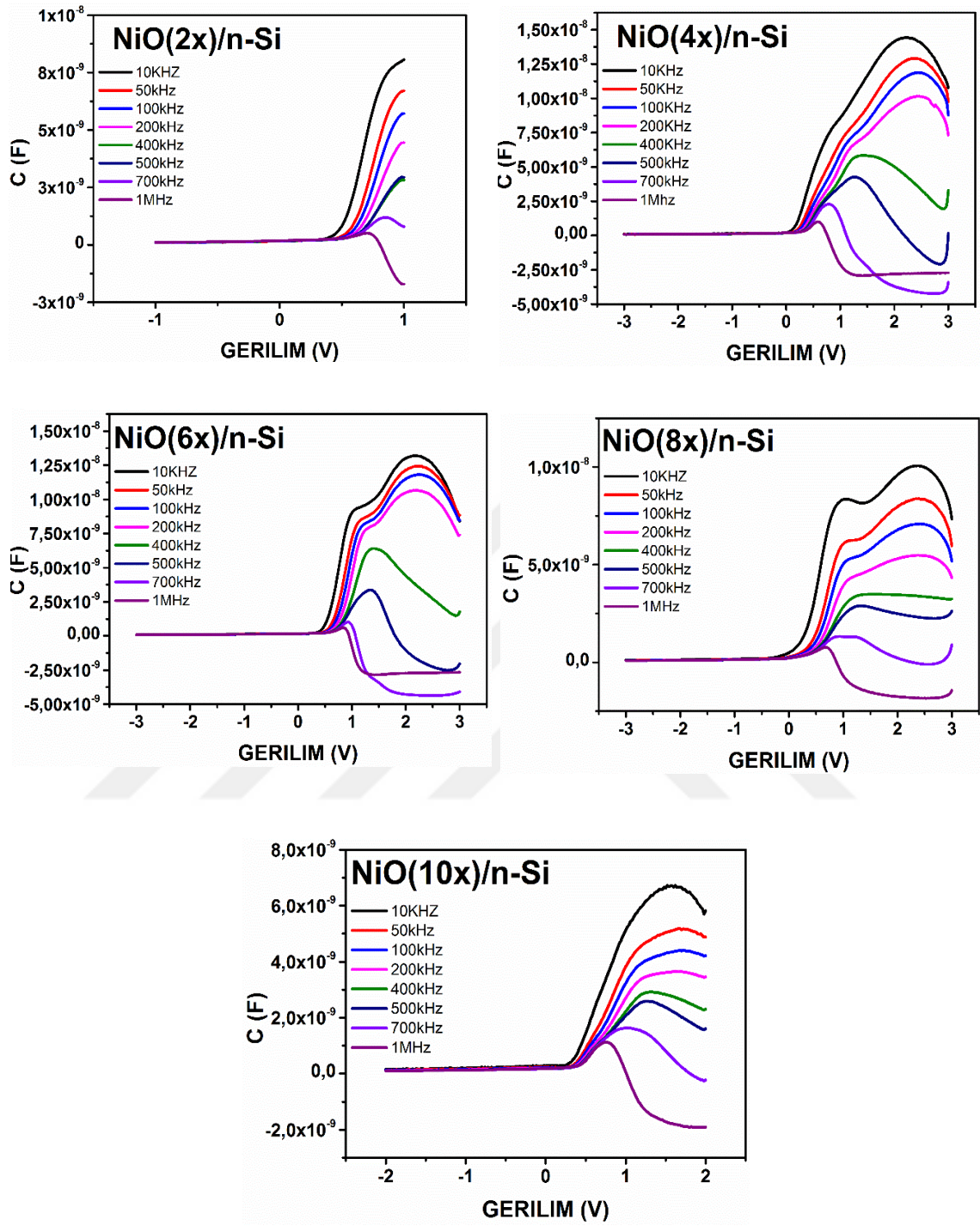
4.2'den de görülebileceği gibi, Termiyonik Emisyon (TE) teorisi ile Norde yöntemi ile elde edilen Φ_B değerleri arasında benzer bir azalma eğilimi vardır. Bu iki yöntemle elde edilen Φ_B değerleri arasındaki tutarsızlık, bariyerin homojen olmamasından ve I-V eğrilerinin ideal olmayan davranışından kaynaklanıyor olabilir.

Çizelge 4.2. Norde Metodu ile elde edilen seri direnç ve bariyer yüksekliği değerleri

Diyotlar	R_s (Ω)	Φ_B (eV) (Norde)
NiO(2x)/n-Si	419	0.80
NiO(4x)/n-Si	2985	0.85
NiO(6x)/n-Si	4436	0.74
NiO(8x)/n-Si	2026	0.77
NiO(10x)/n-Si	270	0.73

4.4. Üretilen Diyotların Kapasitans-Gerilim Karakteristikleri

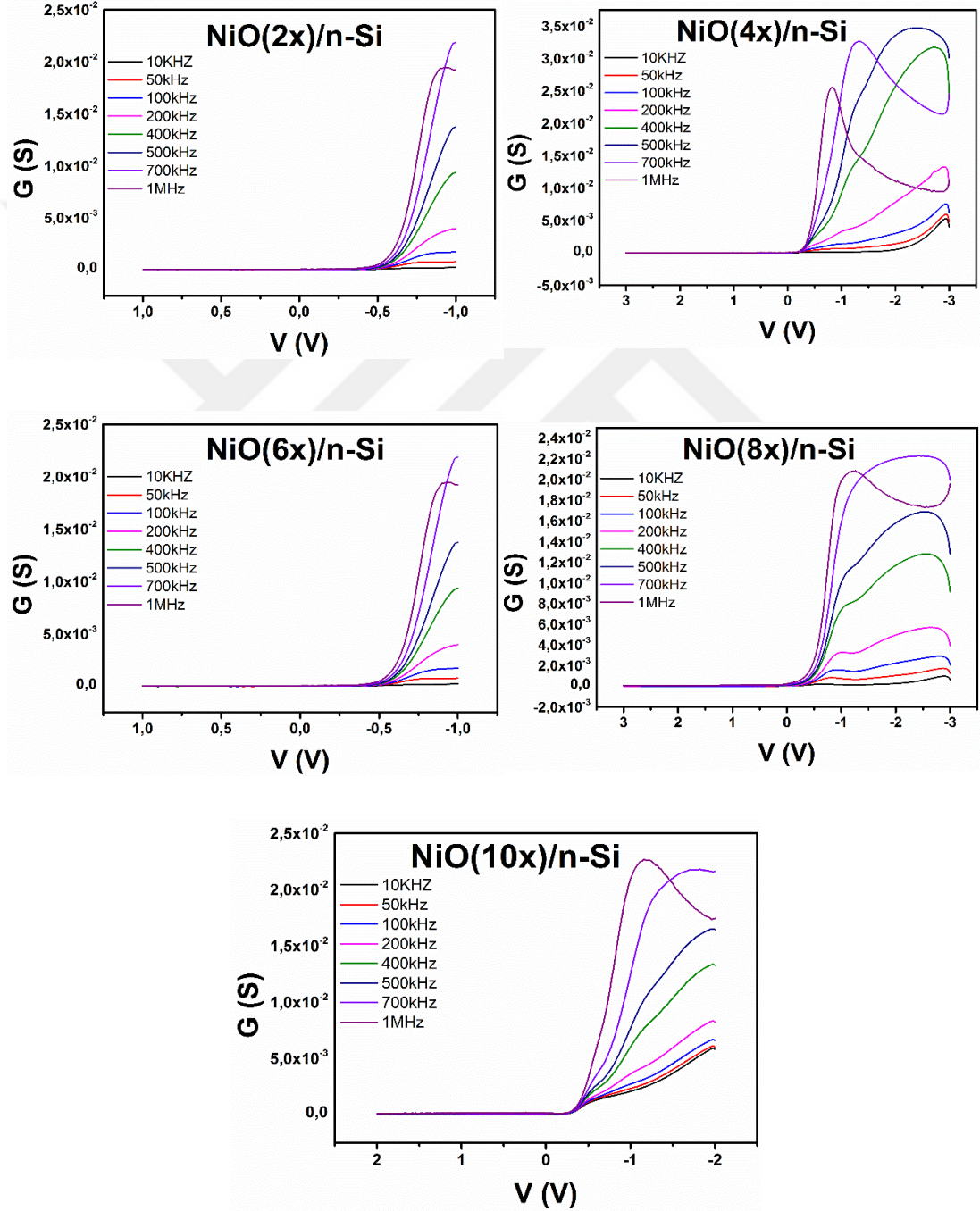
Kapasitans-voltaj (C–V) ölçümü, heteroeklem yapılarının elektriksel özellikleri hakkında daha fazla veri elde etmek için kullanışlıdır. 10 kHz–1 MHz frekans aralığında farklı kalınlıklara sahip NiO/n-Si diyotların C–V grafikleri Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Fotodiyotun kapasitansı hem uygulanan gerilime hem de frekansa bağlıdır ve artan frekansla azaldığı Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Bu, heteroeklemde arayüzey durumlarının varlığını gösterir ve bu arayüzey durumları yüksek frekansta alternatif akım (AC) sinyalini takip edememelerinden dolayı kapasitansa katkıda bulunmamaktadır (Gozeh ve ark., 2020) (Karabulut ve ark., 2018). Ek olarak, negatif kapasitans üzerine çalışan bazı araştırmacılar, yüksek frekansta gözlemlenen negatif kapasitansın, yarı iletken yüksek düzeyde azınlık taşıyıcılarının enjeksiyonundan kaynaklanan endüktif etkiye atfedilebileceğini bildirdiler (Jones ve ark., 1998; Karabulut ve ark., 2018).



Şekil 4.4. Üretilen diyotların, 10kHz-1MHz frekans aralığındaki Kapasitans-Gerilim (C-V) grafikleri

4.5 Üretilen Diyotun Kondüktans-Gerilim Karakteristikleri

10 kHz–1 MHz frekans aralığında farklı kalınlıklara sahip NiO/n-Si diyotların G–V grafikleri Şekil 4.5’te gösterilmektedir. Frekans arttığında, seri direnç ve arayüzey durumları nedeniyle diyotların iletkenliği artar (Gozeş ve ark., 2020; Karabulut ve ark., 2018).



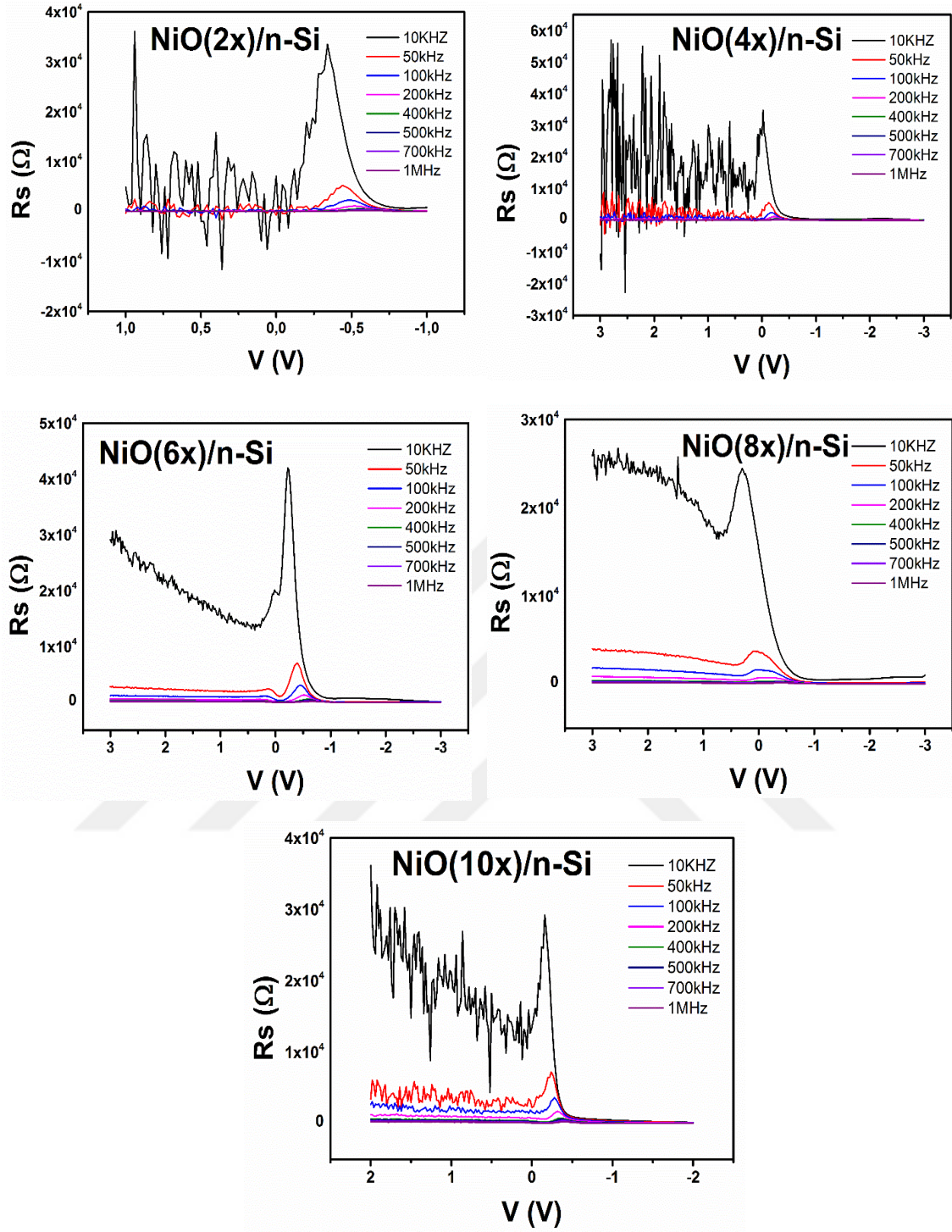
Şekil 4.5. Üretilen diyotların, 10kHz-1MHz frekans aralığındaki kondüktans-gerilim (G-V) grafikleri

4.6 Üretilen Diyotların Direnç-Gerilim Karakteristikleri

Bir diyotun seri direnci, diyotların kapasitansını ve iletkenliğini etkilediği için önemli bir parametredir. Şekil 4.6, farklı kalınlıklara sahip NiO/n-Si diyotları için çeşitli frekanslarda R_s 'nin V 'ye karşı değişimini göstermektedir. Diyotların R_s değerleri Denklem (4.8) ile tanımlanabilir (Aslan ve ark., 2020).

$$R_s = \frac{(G_m/\omega C_m)^2}{1+(G_m/\omega C_m)^2} \quad (4.8)$$

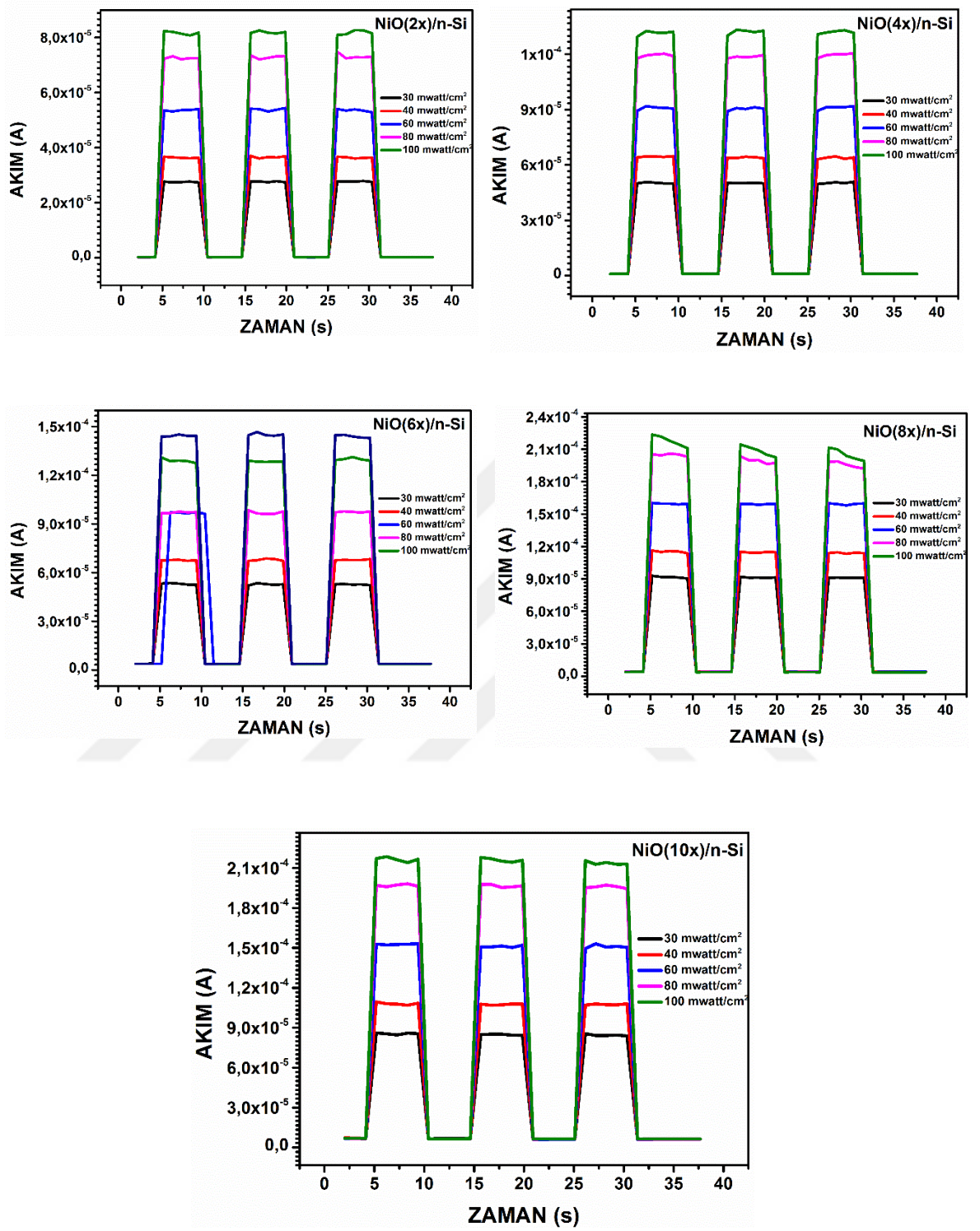
Burada G_m , C_m ve ω sırasıyla ölçülen iletkenliği, ölçülen kapasitansı ve açısal frekansı ifade eder. Şekil 4.6'da gösterildiği gibi, frekans arttıkça seri direnç değeri azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum arayüz durumlarından kaynaklanmaktadır. Seri direnç, düşük frekanslarda yüksek bir değere sahiptir ve AC sinyali takip edebilir, ancak yüksek frekanslarda düşük bir değere sahiptir ve AC sinyali takip edemez. Bu durumdan dolayı arayüz durumlarına katkı sağlayamaz (Ozmen ve ark., 2020).



Şekil 4.6. Üretilen diyotların, 10kHz-1MHz frekans aralığındaki direnç-gerilim (R_s -V) grafikleri

4.7 Üretilen Diyotların Fotoakım-Zaman Karakteristikleri

Işığa duyarlılık, fabrikasyon fotodiyotların performansını tanımlamak için çok önemli bir parametredir. Bu nedenle fotodiyotların fototepki davranışını daha fazla incelemek için, zamana bağlı geçici fotoakım tepkileri çeşitli aydınlatma yoğunlukları altında ölçülmüş ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Geçici fotoakım yanıtları -4V altında gerçekleştirilmiştir. Artan ışık yoğunluklarıyla birlikte fotoakımlardaki keskin değişimler, tüm heteroeklemlerin iyi fotoiletken davranış sergilediğini göstermektedir. Tüm cihazlar arasında NiO(2x)/n-Si fotodiyot, fotosensitivite ölçümlerinde görüldüğü gibi en yüksek fototepkiyi göstermiştir. Işık açıldığında, fotodiyotların fotoakımları hızla artmakta ve doyumdan sonra sabit hale gelmektedir. Akımdaki bu doygunluk, ışık emiliminin sınırlandırılmasıyla açıklanabilir. Işık söndükten sonra devre elemanlarının akımı tekrar başlangıç seviyesine düştüğü görüldü.



Şekil 4.7. Farklı aydınlatma güçleri altında NiO / n-si heteroeklem diyotlarının zamana bağlı foto tepkisi

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tezin ana amacı farklı kalınlıklara sahip NiO/n-Si heteroeklem yapılarının elektriksel karakterizasyonudur. Bu çalışmada sol-jel spin kaplama yöntemi ile nikel oksit ince filmleri n-Si alttaşlar üzerine 2 kat, 4 kat, 6 kat, 8 kat ve 10 kat olacak şekilde kaplandı. Kaplanan bu filmler ile üretilen heteroeklem yapılar karanlık ve farklı ışık şiddetleri altında elektriksel parametreleri incelendi.

Diyotların karanlık ve oda sıcaklığında ± 4 V aralığında akım-gerilim karakteristiklerinin incelenmesi ile bu yapılar için idealite faktörü, bariyer yüksekliği, doyum akımı ve doğrultma oranı gibi temel parametreler hesaplandı. Hesapladığımız bu değerlerin karşılaştırılması ile en iyi kaplama parametrelerini belirlemeyi amaçladık. İdeal diyot davranışının sergilenmesi için idealite faktörünün bir olması gerekirken, üretilen heteroeklem yapıların bu değerden daha yüksek idealite faktörüne sahip olduğunu ve diyotların ideal davranıştan saptığını gösterdi. Bu durum genellikle imaj kuvvet düşüşüne, bariyer homojensizliğine, üretim-rekombinasyon miktarına, doğal oksit tabakasına ve arayüzey kirliliklerine atfedilmektedir. Minimum idealite faktörü 3.29 değeri ise NiO(10x)/n-Si yapısından elde edildi. Farklı ışık şiddetleri altında NiO/n-Si yapıların I-V karakteristikleri incelendi ve tüm yapıların ışığa duyarlı olduğu gözlemlendi. En yüksek fotohassasiyet değeri 2.94×10^3 ile NiO(2x)/n-Si fotodiyotundan elde edildi.

Diyotların diğer önemli bir parametresi olan seri direnç değerleri geleneksel Norde metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Norde yöntemi ile karanlık şartlar altında NiO(2x)/n-Si, NiO(4x)/n-Si, NiO(6x)/n-Si, NiO(8x)/n-Si ve NiO(10x)/n-Si heteroeklem yapıları için seri direnç değerleri sırasıyla 419 Ω , 2,985 Ω , 4,436 Ω , 2,026 Ω ve 42,270 Ω olarak hesaplanmıştır. I-V grafiklerinde, yüksek gerilim bölgelerinde eğrilerin bükülmesi seri direnç etkisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, diyotların, seri dirençleri ne kadar düşük olursa kalitesi o oranda artmaktadır.

Üretilen heteroeklem yapıların C-V, G-V ve Rs-V ölçümleri 10 kHz'den 1 MHz'e artan frekans aralığında ölçülmüştür. Tüm cihazlar için kapasitans değerleri artan frekans ile azalmıştır. Grafiklerde meydana gelen pikler, arayüz durumlarına ve seri dirence bağlı olabilirken, daha yüksek frekanslar için piklerdeki azalma, daha yüksek frekanslardaki seri direnç etkisine bağlanabilir çünkü arayüz durumları AC sinyali takip edememektedir. Bununla birlikte yüksek frekanslarda negatif kapasitans değerleri elde

edilmiş olup bu durum polarizasyonlara azınlık taşıyıcı enjeksiyonuna atfedilmiştir. Heteroeklem yapıların R_s -V ölçümlerinin artan frekansla azaldığı gözlemlendi. Bu durum hareketli ve sabit oksit yükler gibi lokalize arayüz yüklerine atfedildi. Geçici fotoakım ölçümleri, heteroeklem yapıların fotoiletkenlik mekanizmalarını analiz etmek için kullanılmıştır. Tüm fotodiyotların fotoiletkenlik davranışı sergilediği ve ışıqla fotoakımın doygunluk düzeyine ulaşana kadar hızla arttığı ve ışığın kapanması ile eski konumuna geri döndüğü gözlemlendi.

5.2 Öneriler

Elde edilen sonuçlar, ürettiğimiz ince filmlerin performanslarının farklı kalınlıktaki NiO ince filmleri ile kontrol edilebileceğini göstererek, üretilen diyotlar elektronik başta olmak üzere birçok alanda kullanılabileceğini göstermiştir. Yapılacak çalışmalarda hazırlanan çözelti farklı katkı maddeleri kullanılarak elektriksel ve opto-elektriksel parametreleri geliştirilebilir. Böylece daha yüksek performanslı cihazlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Ali, Syed Mansoor, ve M. A. Majeed Khan. 2020, “Annealing Effects on Structural, Optical and Electrical Properties of TiO₂/FTO Heterojunction”. *Applied Physics A* 126(6):468. doi: 10.1007/s00339-020-03656-6
- Altındal Yerişkin, Seçkin ve Yasemin Şafak Asar. 2021, “Influence of Graphene Doping Rate in PVA Organic Thin Film on the Performance of Al/p-Si Structure”. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 32(18):22860-67. doi: 10.1007/s10854-021-06763-z
- Altındal, Şemsettin, Ali Barkhordari, Gholamreza Pirgholi-Givi, Murat Ulusoy, Hamidreza Mashayekhi, Süleyman Özçelik ve Yashar Azizian-Kalandaragh. 2021, “Comparison of the Electrical and Impedance Properties of Au/(ZnOMn:PVP)/n-Si (MPS) Type Schottky-Diodes (SDs) before and after Gamma-Irradiation”. *Physica Scripta* 96(12):125881. doi: 10.1088/1402-4896/ac43d7
- Aslan, Fehmi, Hikmet Esen ve Fahrettin Yakuphanoglu. 2020, “Al/P-Si/Coumarin: TiO₂/Al Organic-Inorganic Hybrid Photodiodes: Investigation of Electrical and Structural Properties”. *Silicon* 12(9):2149-64. doi: 10.1007/s12633-019-00306-2
- Bagheri-Mohagheghi, Mohammad-Mehdi ve Mehrdad Shokooh-Saremi. 2004, “The Influence of Al Doping on the Electrical, Optical and Structural Properties of SnO₂ Transparent Conducting Films Deposited by the Spray Pyrolysis Technique”. *Journal of Physics D: Applied Physics* 37(8):1248. doi: 10.1088/0022-3727/37/8/014
- Banerjee, A. N., S. Kundoo, P. Saha ve K. K. Chattopadhyay. 2003, “Synthesis and Characterization of Nano-Crystalline Fluorine-Doped Tin Oxide Thin Films by Sol-Gel Method”. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 28(1):105-10. doi: 10.1023/A:1025697322395
- Bhardwaj, Nivedita, Ajit Kumar Singh, Nancy Tripathi, Bharat Goel, Arindam Indra, ve Shreyans K. Jain. 2021, “Ni–NiO Heterojunctions: A Versatile Nanocatalyst for Regioselective Halogenation and Oxidative Esterification of Aromatics”. *New Journal of Chemistry* 45(31):14177-83. doi: 10.1039/D1NJ02777H
- Chaoudhary, S., A. Dewasi, V. Rastogi, R. N. Pereira, A. Sinopoli, B. Aïssa, ve A. Mitra. 2022, “Broadband Self-Powered Photodetection with p-NiO/n-Si Heterojunctions Enhanced with Plasmonic Ag Nanoparticles Deposited with Pulsed Laser Ablation”. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 33(14):10761-73. doi: 10.1007/s10854-022-08058-3
- Chopra, Kasturi L. 1969, *Thin Film Phenomena*. New York: McGraw-Hill
- Choudhary, Sumita, J. V. N. Sarma ve Subhashis Gangopadhyay. 2016, “Growth and characterization of single phase Cu₂O by thermal oxidation of thin copper films”. *AIP Conference Proceedings* 1724(1):020116. doi: 10.1063/1.4945236

- Chtouki, T., M. El Mrabet, A. Tarbi, I. Goncharova, ve H. Erguig. 2021, “Comprehensive Review of the Morphological, Linear and Nonlinear Optical Characterization of Spin-Coated NiO Thin Films for Optoelectronic Applications”. *Optical Materials* 118:111294. doi: 10.1016/j.optmat.2021.111294
- Colinge, J. P., & Colinge, C. A. 2005, *Physics of semiconductor devices*. Springer Science & Business Media
- Coşkun, F. M., O. Polat, M. Coşkun, A. Turut, M. Caglar, Z. Durmus, ve H. Efeoğlu. 2019, “Temperature dependent current transport mechanism in osmium-doped perovskite yttrium manganite-based heterojunctions”. *Journal of Applied Physics* 125(21):214104. doi: 10.1063/1.5094129
- Cui, J., A. Wang, N. L. Edleman, J. Ni, P. Lee, N. R. Armstrong ve T. J. Marks. 2001, “Indium Tin Oxide Alternatives—High Work Function Transparent Conducting Oxides as Anodes for Organic Light-Emitting Diodes”. *Advanced Materials* 13(19):1476-80. doi: 10.1002/1521-4095(200110)13:19<1476: AID-ADMA1476>3.0.CO;2-Y
- Çiçek, O., H. Uslu Tecimer, S. O. Tan, H. Tecimer, Ş. Altındal ve İ. Uslu. 2016, “Evaluation of Electrical and Photovoltaic Behaviours as Comparative of Au/n-GaAs (MS) Diodes with and without Pure and Graphene (Gr)-Doped Polyvinyl Alcohol (PVA) Interfacial Layer under Dark and Illuminated Conditions”. *Composites Part B: Engineering* 98:260-68. doi: 10.1016/j.compositesb.2016.05.042
- Daoudi, K., B. Canut, M. G. Blanchin, C. S. Sandu, V. S. Teodorescu, ve J. A. Roger. 2002, “Tin-Doped Indium Oxide Thin Films Deposited by Sol–Gel Dip-Coating Technique”. *Materials Science and Engineering: C* 21(1):313-17. doi: 10.1016/S0928-4931(02)00092-9
- Deckman, H. W., ve J. H. Dunsmuir. 1982, “Natural lithography”. *Applied Physics Letters* 41(4):377-79. doi: 10.1063/1.93501
- Demirezen, S., H. G. Çetinkaya, M. Kara, F. Yakuphanoglu, ve Ş. Altındal. 2021, “Synthesis, Electrical and Photo-Sensing Characteristics of the Al/(PCBM/NiO: ZnO)/p-Si Nanocomposite Structures”. *Sensors and Actuators A: Physical* 317:112449. doi: 10.1016/j.sna.2020.112449
- Deng, R., B. Yao, Y. F. Li, Y. M. Zhao, B. H. Li, C. X. Shan, Z. Z. Zhang, D. X. Zhao, J. Y. Zhang, D. Z. Shen, ve X. W. Fan. 2009, “X-ray photoelectron spectroscopy measurement of n-ZnO/p-NiO heterostructure valence-band offset”. *Applied Physics Letters* 94(2):022108. doi: 10.1063/1.3072367
- Farahmandjou, Majid, ve Farzane Soflaee. 2015, “Synthesis and Characterization of α -Fe₂O₃ Nanoparticles by Simple Co-Precipitation Method”. *Physical Chemistry Research* 3(3):191-96. doi: 10.22036/pcr.2015.9193

- Fortunato, E., P. Barquinha, ve R. Martins. 2012, "Oxide Semiconductor Thin-Film Transistors: A Review of Recent Advances". *Advanced Materials* 24(22):2945-86. doi: 10.1002/adma.201103228
- Ghougali, Mebrouk. 2019, "Elaboration and Characterization of Nanostructuring NiO Thin Films for Gas Sensing Applications". doctoral, *University of Mohamed Khider, BISKRA*
- Gong, Shuyan, Anqi Wang, Ying Wang, Haidi Liu, Ning Han ve Yunfa Chen. 2020, "Heterostructured Ni/NiO Nanocatalysts for Ozone Decomposition". *ACS Applied Nano Materials* 3(1):597-607. doi: 10.1021/acsanm.9b02143
- Gozeh, Bestoon Anwer, Abdulkirim Karabulut, Mudhaffer M. Ameen, Abdulkadir Yildiz, ve Fahrettin Yakuphanoglu. 2020, "SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF La-DOPED ZnO (La:ZnO) FILMS FOR PHOTODETECTORS". *Surface Review and Letters* 27(07):1950173. doi: 10.1142/S0218625X19501737
- Granqvist, Claes G. 2007, "Transparent Conductors as Solar Energy Materials: A Panoramic Review". *Solar Energy Materials and Solar Cells* 91(17):1529-98. doi: 10.1016/j.solmat.2007.04.031
- Guo, Daoyou, Han Liu, Peigang Li, Zhenping Wu, Shunli Wang, Can Cui, Chaorong Li, ve Weihua Tang. 2017, "Zero-Power-Consumption Solar-Blind Photodetector Based on β -Ga₂O₃/NSTO Heterojunction". *ACS Applied Materials & Interfaces* 9(2):1619-28. doi: 10.1021/acsam.6b13771
- Hakkoum, Hadjer. 2022, "Design of a Photodiode Based on NiO/ZnO Heterojunction". Thesis
- Hao, S. J., M. Hetzl, F. Schuster, K. Danielewicz, A. Bergmaier, G. Dollinger, Q. L. Sai, C. T. Xia, T. Hoffmann, M. Wiesinger, S. Matich, W. Aigner, ve M. Stutzmann. 2019, "Growth and characterization of β -Ga₂O₃ thin films on different substrates". *Journal of Applied Physics* 125(10):105701. doi: 10.1063/1.5061794
- Huang, Chia-Cheng, Fang-Hsing Wang, Chia-Ching Wu, Hong-Hsin Huang ve Cheng-Fu Yang. 2013, "Developing High-Transmittance Heterojunction Diodes Based on NiO/TZO Bilayer Thin Films". *Nanoscale Research Letters* 8(1):206. doi: 10.1186/1556-276X-8-206
- Hulteen, John C., ve Richard P. Van Duyne. 1995, "Nanosphere lithography: A materials general fabrication process for periodic particle array surfaces". *Journal of Vacuum Science & Technology A* 13(3):1553-58. doi: 10.1116/1.579726
- Ilcan, Saliha, Kamuran Gorgun, Seval Aksoy, Yasemin Caglar, ve Mujdat Caglar. 2018, "Fabrication of P-Si/n-ZnO:Al Heterojunction Diode and Determination of Electrical Parameters". *Journal of Molecular Structure* 1156:675-83. doi: 10.1016/j.molstruc.2017.11.121

- Jia, Menghan, Fang Wang, Libin Tang, Jinzhong Xiang, Kar Seng Teng, ve Shu Ping Lau. 2020, "High-Performance Deep Ultraviolet Photodetector Based on NiO/ β -Ga₂O₃ Heterojunction". *Nanoscale Research Letters* 15(1):47. doi: 10.1186/s11671-020-3271-9
- Jones, B. K., J. Santana ve M. McPherson. 1998, "Negative Capacitance Effects in Semiconductor Diodes". *Solid State Communications* 107(2):47-50. doi: 10.1016/S0038-1098(98)00162-8
- Kamaruddin, Sharul Ashikin, Kah-Yoong Chan, Ho-Kwang Yow, Mohd Zainizan Sahdan, Hashim Saim, ve Dietmar Knipp. 2011, "Zinc Oxide Films Prepared by Sol-Gel Spin Coating Technique". *Applied Physics A* 104(1):263-68. doi: 10.1007/s00339-010-6121-2
- Kamruzzaman, Muhammad. t.y. "Patnaik P. Handbook of inorganic chemicals MGH, 2003, (T) (1125s)"
- Kandregula, Ganapathirao, Dr Chinthakuntla, Kalagadda Rao, Ch Chakra, ve Vanga Rajendar. 2014, "Green Synthesis of TiO₂ Nanoparticles Using Hibiscus Flower Extract"
- Karabulut, Abdulkirim, A. Dere, Abdullah G. Al-Sehemi, Ahmed A. Al-Ghamdi, ve F. Yakuphanoglu. 2018, "Cadmium Oxide: Titanium Dioxide Composite Based Photosensitive Diode". *Journal of Electronic Materials* 47(12):7159-69. doi: 10.1007/s11664-018-6647-1
- Karabulut, Abdulkirim, İkrım Orak ve Abdülmecit Türüt. 2018, "The Photovoltaic Impact of Atomic Layer Deposited TiO₂ Interfacial Layer on Si-Based Photodiodes". *Solid-State Electronics* 144:39-48. doi: 10.1016/j.sse.2018.02.016
- Kaur, Harsimrat, Monika Sharma, RamKrishna Ghosh, Satyabrata Mohapatra, ve Bijoy K. Kuanr. 2020, "Magnetic bipolar transistor based on ZnO/NiO/Si heterostructure using pulsed laser deposition". *AIP Advances* 10(1):015119. doi: 10.1063/1.5130046
- Khan, Kamruzzaman, Srikanth Itapu, ve Daniel G. Georgiev. 2020, "Negative Differential Resistance (NDR) Behavior of Nickel Oxide (NiO) Based Metal-Insulator-Semiconductor Structures". *Journal of Electronic Materials* 49(1):333-40. doi: 10.1007/s11664-019-07781-8
- Kosiorek, A., W. Kandulski, P. Chudzinski, K. Kempa, ve M. Giersig. 2004, "Shadow Nanosphere Lithography: Simulation and Experiment". *Nano Letters* 4(7):1359-63. doi: 10.1021/nl049361t
- Kumar, Sandeep, Anamika Singh Pratiyush, Surani B. Dolmanan, Sudhiranjan Tripathy, Rangarajan Muralidharan, ve Digbijoy N. Nath. 2017, "UV detector based on InAlN/GaN-on-Si HEMT stack with photo-to-dark current ratio > 10⁷". *Applied Physics Letters* 111(25):251103. doi: 10.1063/1.5004024

- Kumar, Sanjay, Sudhir Saralch, Uzma Jabeen, ve Dinesh Pathak. 2020, "Metal oxides for energy applications". Ss. 471-504 içinde
- Kumar, Sushil, ve D. K. Aswal. 2020, "Thin Film and Significance of Its Thickness". Ss. 1-12 içinde *Recent Advances in Thin Films, Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials*, editör S. Kumar ve D. K. Aswal. Singapore: Springer
- Magyari-Köpe, Blanka, Seong Geon Park, Hyung-Dong Lee ve Yoshio Nishi. 2012, "First Principles Calculations of Oxygen Vacancy-Ordering Effects in Resistance Change Memory Materials Incorporating Binary Transition Metal Oxides". *Journal of Materials Science* 47(21):7498-7514. doi: 10.1007/s10853-012-6638-1
- Mitzi, David B. 2004, "Solution-Processed Inorganic Semiconductors". *Journal of Materials Chemistry* 14(15):2355-65. doi: 10.1039/B403482A
- Munirah, Ziaul Raza Khan, Anver Aziz, Mohd Shahid Khan ve M. U. Khandaker. 2017, "Influence of Zinc Concentration on Band Gap and Sub-Band Gap Absorption on ZnO Nanocrystalline Thin Films Sol-Gel Grown". *Materials Science-Poland* 35(1):246-53. doi: 10.1515/msp-2017-0039
- Nagaraju, Goli, Yeong Hwan Ko, ve Jae Su Yu. 2014, "Facile Fabrication and Characterization of In₂O₃ Nanorods on Carbon Fibers". *Applied Science and Convergence Technology* 23(4):187-91
- Norde, H. 2008, "A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance". *Journal of Applied Physics* 50(7):5052-53. doi: 10.1063/1.325607
- Ozmen, Denizhan, Mesut Yalcin, ve Fahrettin Yakuphanoglu. 2020, "Electrical and Photoresponse Properties of Al/p-Si/Y1-XSrxMnO3/Al Heterojunction Photodiodes". *Silicon* 12(4):883-91. doi: 10.1007/s12633-019-00177-7
- Parida, Bhaskar, Seongjun Kim, Munsik Oh, Seonghoon Jung, Minkyung Baek, Jae-Hyun Ryou, ve Hyunsoo Kim. 2017, "Nanostructured-NiO/Si Heterojunction Photodetector". *Materials Science in Semiconductor Processing* 71:29-34. doi: 10.1016/j.mssp.2017.07.002
- Patel, M., Kim, H. S., & Kim, J. 2015, All transparent metal oxide ultraviolet photodetector. *Advanced Electronic Materials*, 1(11), 1500232
- Patel, Malkeshkumar, ve Joondong Kim. 2017, "Transparent NiO/ZnO Heterojunction for Ultra-Performing Zero-Bias Ultraviolet Photodetector on Plastic Substrate". *Journal of Alloys and Compounds* 729:796-801. doi: 10.1016/j.jallcom.2017.09.158
- Patil, Ganesh E., Dnyaneshwar D. Kajale, Vishwas B. Gaikwad, ve Gotan H. Jain. 2012, "Preparation and Characterization of SnO₂ Nanoparticles by Hydrothermal Route". *International Nano Letters* 2(1):17. doi: 10.1186/2228-5326-2-17

- Phokha, Sumalin, Supree Pinitsoontorn, Prae Chirawatkul, Yingyot Poo-arporn, ve Santi Maensiri. 2012, "Synthesis, Characterization, and Magnetic Properties of Monodisperse CeO₂ Nanospheres Prepared by PVP-Assisted Hydrothermal Method". *Nanoscale Research Letters* 7(1):425. doi: 10.1186/1556-276X-7-425
- Polat, O., M. Coskun, H. Efeoglu, M. Caglar, F. M. Coskun, Y. Caglar, ve A. Turut. 2020, "The Temperature Induced Current Transport Characteristics in the Orthoferrite YbFeO_{3-δ} Thin Film/p-Type Si Structure". *Journal of Physics: Condensed Matter* 33(3):035704. doi: 10.1088/1361-648X/abba69
- Praveen, Shanigaram, Sushmitha Veeralingam, ve Sushmee Badhulika. 2021, "A Flexible Self-Powered UV Photodetector and Optical UV Filter Based on β-Bi₂O₃/SnO₂ Quantum Dots Schottky Heterojunction". *Advanced Materials Interfaces* 8(15):2100373. doi: 10.1002/admi.202100373
- Quimby, Richard S. 2006, *Photonics and Lasers: An Introduction*. John Wiley & Sons
- Renker, D. 2006, "Geiger-Mode Avalanche Photodiodes, History, Properties and Problems". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 567(1):48-56. doi: 10.1016/j.nima.2006.05.060
- Rhoderick, E. H. 1982, "Metal-Semiconductor Contacts". *IEE Proceedings I (Solid-State and Electron Devices)* 129(1):1-14. doi: 10.1049/ip-i-1.1982.0001
- Salunkhe, Parashurama, Prashant Bhat, ve Dhananjaya Kekuda. 2022, "Performance Evaluation of Transparent Self-Powered n-ZnO/p-NiO Heterojunction Ultraviolet Photosensors". *Sensors and Actuators A: Physical* 345:113799. doi: 10.1016/j.sna.2022.113799
- Scriven, L. E. 1988, "Physics and Applications of DIP Coating and Spin Coating". *MRS Online Proceedings Library (OPL)* 121:717. doi: 10.1557/PROC-121-717
- Singh, Neha, ve Yu-Tai Tao. 2021, "Effect of Surface Modification of Nickel Oxide Hole-Transport Layer via Self-Assembled Monolayers in Perovskite Solar Cells". *Nano Select* 2(12):2390-99. doi: 10.1002/nano.202100004
- Soleimanpour, A. M. 2013 Synthesis, fabrication and surface modification of nanocrystalline nickel oxide for electronic gas sensors. The University of Toledo
- Sun, Jing, Fangdong Zhang, Jinlong Song, Long Wang, Qingsong Qu, Yao Lu ve Ivan Parkin. 2014, "Electrochemical Fabrication of Superhydrophobic Zn Surfaces". *Applied Surface Science* 315:346-52. doi: 10.1016/j.apsusc.2014.07.140
- Sunde, Tor Olav Løveng, Mari-Ann Einarsrud, ve Tor Grande. 2014, "Optimisation of Chemical Solution Deposition of Indium Tin Oxide Thin Films". *Thin Solid Films* 573:48-55. doi: 10.1016/j.tsf.2014.10.093

- Ukoba, K. O., A. C. Eloka-Eboka, ve F. L. Inambao. 2018 “Review of Nanostructured NiO Thin Film Deposition Using the Spray Pyrolysis Technique”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82:2900-2915. doi: 10.1016/j.rser.2017.10.041
- Vadgama, V. S., R. P. Vyas, B. V. Jogiya, ve M. J. Joshi. 2017, “Synthesis and characterization of CdO nano particles by the sol-gel method”. *AIP Conference Proceedings* 1837(1):040016. doi: 10.1063/1.4982100
- Varghese, Oomman K., Maggie Paulose, ve Craig A. Grimes. 2009, “Long Vertically Aligned Titania Nanotubes on Transparent Conducting Oxide for Highly Efficient Solar Cells”. *Nature Nanotechnology* 4(9):592-97. doi: 10.1038/nnano.2009.226
- Wu, Shanshan, Shuai Yuan, Liyi Shi, Yin Zhao ve Jianhui Fang. 2010, “Preparation, Characterization and Electrical Properties of Fluorine-Doped Tin Dioxide Nanocrystals”. *Journal of Colloid and Interface Science* 346(1):12-16. doi: 10.1016/j.jcis.2010.02.031
- Xu, Ying. 2015, “Fabrication and Characterization of Photodiodes for Silicon Nanowire Applications and Backside Illumination”. *University of Dayton*
- Yerişkin, Seçkin ALTINDAL. 2019, “Effects of (0.01Ni-PVA) Interlayer, Interface Traps (Dit), and Series Resistance (Rs) on the Conduction Mechanisms(CMs) in the Au/n-Si (MS) Structures at Room Temperature”. *Journal of the Institute of Science and Technology* 9(2):835-46. doi: 10.21597/jist.521351
- Zaharescu, Maria Magdalena. 2000, “Characterization of ITO thin films prepared by spinning deposition starting from a sol-gel process”
- Zahedi, F., R. S. Dariani, ve S. M. Rozati. 2013, “Ultraviolet Photoresponse Properties of ZnO:N/p-Si and ZnO/p-Si Heterojunctions”. *Sensors and Actuators A: Physical* 199:123-28. doi: 10.1016/j.sna.2013.05.009
- Zhang, Dongyuan, Kazuo Uchida, ve Shinji Nozaki. 2013, “Fabrication of a P-NiO/n-Si Heterojunction Diode by UV Oxidation of Ni Deposited on n-Si”. *MRS Online Proceedings Library (OPL)* 1494:305-9. doi: 10.1557/opl.2013.520
- Zhang, W. B., N. Yu, W. Y. Yu, ve B. Y. Tang. 2008, “Stability and Magnetism of Vacancy in NiO: A GGA+U Study”. *The European Physical Journal B* 64(2):153-58. doi: 10.1140/epjb/e2008-00303-x
- Zhang, Yongfang, Tao Ji, Rujia Zou, Enna Ha, Xin Hu, Zhe Cui, Chaoting Xu, Shu’ang He, Kaibing Xu, Yihong Zhang, ve Junqing Hu. 2020, “An Efficiently Enhanced UV-Visible Light Photodetector with a Zn:NiO/p-Si Isotype Heterojunction”. *Journal of Materials Chemistry C* 8(10):3498-3508. doi: 10.1039/C9TC06199A
- Zhang, Yongfang, Tao Ji, Wenlong Zhang, Guoqiang Guan, Qilong Ren, Kaibing Xu, Xiaojuan Huang, Rujia Zou, ve Junqing Hu. 2017, “A Self-Powered Broadband Photodetector Based on an n-Si(111)/p-NiO Heterojunction with High Photosensitivity and Enhanced External Quantum Efficiency”. *Journal of Materials Chemistry C* 5(47):12520-28. doi: 10.1039/C7TC04565D

- Zheng, Zhi, Xiaotao Zu, Yong Zhang, ve Weilie Zhou. 2020 “Rational Design of Type-II Nano-Heterojunctions for Nanoscale Optoelectronics”. *Materials Today Physics* 15:100262. doi: 10.1016/j.mtphys.2020.100262
- Znaidi, Lamia. 2010, “Sol–Gel-Deposited ZnO Thin Films: A Review”. *Materials Science and Engineering: B* 174(1):18-30. doi: 10.1016/j.mseb.2010.07.001
- Zou, Yanan, Yue Zhang, Yongming Hu ve Haoshuang Gu. 2018, “Ultraviolet Detectors Based on Wide Bandgap Semiconductor Nanowire: A Review”. *Sensors* 18(7):2072. doi: 10.3390/s18072072



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kadir NERGİZ

Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Üniversite	: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü	2012

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012- 2017	Milli Eğitim Bakanlığı	Ücretli Öğretmenlik
2017-	Abdulhamid Han Anadolu Lisesi	Fizik Öğretmeni

UZMANLIK ALANI

Fizik

YABANCI DİLLER

Yok