



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**METAL KATKILI MAGNEZYUM OKSİT İNCE
FİLMLERİN ÜRETİMİ VE DEVRE
ELEMENLARINDA UYGULAMASI**

Murat TÜRKERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

**Haziran 2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat TÜRKERİ tarafından hazırlanan “METAL KATKILI MAGNEZYUM OKSİT İNCE FİLMLEİN ÜRETİMİ VE DEVRE ELEMANLARINDA UYGULAMASI” adlı tez çalışması 15/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Sezai ASUBAY

.....

Danışman

Prof.Dr.Ömer GÜLLÜ

.....

ye

Dr.Öğr.yesi Murat SUNKUR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

LEE Müdürü

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.

DISSERTATION PAGE

I hereby declare that all the information in this document has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited.

Murat TÜRKERİ

Tarih: 15/06/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METAL KATKILI MAGNEZYUM OKSİT İNCE FİLMLERİN ÜRETİMİ VE DEVRE ELEMANLARINDA UYGULAMASI

Murat TÜRKERİ

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ

2023, 86 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ

Başkan: Prof.Dr. Sezai ASUBAY

Üye: Dr.Öğr.Üyesi Murat SUNKUR

Teknolojik gelişmeler ve nanobilim, hem yeni bir olgunun, sanayi devrimlerinin icadının teşvik edilmesinde hem de 21. yüzyıl için ekonominin gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır. Son zamanlarda geçiş metali oksitleri teknolojik açıdan kendine özgün özellikleri nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Demir oksit ve çinko oksit nanoyapıları gibi tüm geçiş metali oksitleri arasında Magnezyum oksit (MgO) filmler, optik, optoelektronik, biyosensör, gaz algılama, kataliz, dönüştürücüler ve kapasitörler dâhil olmak üzere çeşitli bilim ve teknoloji alanlarındaki muazzam potansiyel uygulamaları nedeniyle geniş ilgi görmüştür. Metal oksitleri ilgi çekici ve ilginç yapıları, özellikleri ve değişik olgu kısımları ile son zamanlarda teknoloji ve bilim alanlarında ve uygulamalarında ilgi çeken malzemeler arasındadırlar. Birçok metal oksit akıllı camlar, gaz sensörleri, elektrokromik ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Sprey piroliz tekniği ile elde ettiğimiz Magnezyum oksit (MgO) filmlerinin özelliklerine daha iyi çözüm bulmak amacıyla, cam veya inorganik yarıiletken (Silisyum) tabakasının üzerine büyütülmüştür. Farklı parametreler kullanılarak püskürtme tekniği ile en iyi ince film elde etmek için en uygun şartlar araştırılmıştır. Fiziksel buharlaştırma yöntemi (PVD) ile buharlaştırarak kontak oluşturmak için Silisyum yarıiletkeni üzerine ince film oluşturulduktan sonra ince filmlerin parlak yüzeyine alüminyum iletkeni ile kaplama yapıp incelenmiştir. Karanlık ortamda incelenen bir Al/MgO/p-Si MIS Schottky diyotunun elektriksel ve arayüzey özellikleri, akım-gerilim (I-V) özellikleriyle analiz edilmiştir. Ayrıca cam üzerinde oluşturulan MgO ince filminin yapısal, yüzeyel, optiksel ve elektriksel özellikleri de sırasıyla X-Işını Kırınımı (XRD), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve UV-Visible Spektroskopisi yöntemleriyle incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnce film, MIS diyot, MgO, Sprey piroliz

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION OF METAL DOPED MAGNESIUM OXIDE THIN FILMS AND THEIR APPLICATION IN CIRCUIT COMPONENTS

Murat TÜRKERİ

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

Advisor: Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ

2023, 86 Pages

Jury

Advisor: Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ

Chairman: Prof. Dr. Sezai ASUBAY

Member: Prof. Dr. Lecturer Murat SUNKUR

Technological advances and nanoscience have played an important role both in promoting the invention of a new phenomenon, industrial revolutions, and in developing the economy for the 21st century. Recently, transition metal oxides have attracted the attention of researchers due to their unique technological properties. Among all transition metal oxides, such as iron oxide and zinc oxide nanostructures, Magnesium oxide (MgO) films have attracted wide attention due to their enormous potential applications in various fields of science and technology, including optics, optoelectronics, biosensors, gas sensing, catalysis, converters and capacitors. Metal oxides, with their intriguing and interesting structures, properties and different phenomena, are among the materials that have recently attracted attention in technology and science fields and applications. Many metal oxides are used in many fields such as smart glasses, gas sensors, electrochromics and many others. In order to find a better solution to the properties of Magnesium oxide (MgO) films obtained by spray pyrolysis technique, they were grown on glass or inorganic semiconductor (Silicon) layer. Optimal conditions were investigated to obtain the best thin film by sputtering technique using different parameters. After forming thin films on the Silicon semiconductor to form contacts by evaporation by physical evaporation method (PVD), the bright surface of the thin films was coated with aluminum conductor and examined. The electrical and interfacial properties of an Al/MgO/p-Si MIS Schottky diode were analyzed by current-voltage (I-V) characteristics. In addition, the structural, surface, optical and electrical properties of MgO thin film formed on glass were also investigated by X-Ray Diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy (AFM) and UV-Visible Spectroscopy, respectively.

Keywords: MIS diode, MgO, Spray polysis, Thin film

ÖNSÖZ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmamda spreylendirilmiş Proliz yöntemi ile oluşturulan magnezyum oksit ince filmi optik ve yapısal özellikleri incelendi.

Yüksek lisans tez çalışmalarım sürecinde gösterdiği sabır, maddi ve manevi desteklerinden dolayı laboratuvar çalışmaları ve ölçümlerin değerlendirilmesine kadar bir çok aşamada hiçbir desteklerinden kaçınmayan engin bilgilerinden yararlandığım çok değerli kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ömer GÜLLÜ'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. XRD, AFM, UV-Vis. Ölçümlerini almamda yardımcı olan Dicle Üniversitesi öğretim elemanı Dr. Canan AYTUĞ AVA'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca XRD sonuçlarının analizinde yardımlarını esirgemeyen Fizik Anabilim dalı öğretim üyesi Doç.Dr. Mustafa OKUMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Örneklerimin hazırlanması ve deneysel araştırmalarda bana yardımlarını esirgemeyen Emine ERDEM Hoca'ma teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Murat TÜRKERİ
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER.....	xi
ÇİZELGELER.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışma ile ilgisi Literatür Özeti	4
1.2 İnce Bir Tabakanın Tanımı.....	5
1.3 Mgo İnce Filmler	6
1.4 MgO İnce Filmlerin Detaylandırma Yöntemleri	7
1.5 Fiziksel Buhar Biriktirme Teknikleri:	9
1.5.1 Darbeli lazer biriktirme (pld):	9
1.5.2 Püskürtme:.....	9
1.5.3 Termal buharlaşma:.....	9
1.5.4 Elektron ışını buharlaşması:	10
1.5.5 Moleküler ışın epitaksisi (MBE):	10
1.6 Kimyasal Çökeltme Teknikleri:	10
1.6.1 Kimyasal buhar birikimi	10
1.6.2 Spin kaplama:.....	11
1.6.3 Daldırma kaplama:	11
1.7 Sprey Piroliz (SP):	11
2. METAL-YARI İLETKEN KONTAKLAR.....	13
2.1 İdeal Metal Yarı İletken Doğrultucu Kontak	13
2.2 Doğru ve Ters Beslem	15
2.3 İdeal Metal Yarı İletken Ohmik Kontaklar	17
2.4 Schottky Kontaklarındaki Akım Mekanizmaları	18
2.5 Termisyonik Emisyon Mekanizmaları	20
2.5.1 Tünelleme mekanizması.....	21
2.5.2 Üretim ve rekombinasyon mekanizmaları	24
2.6 Schottky Diyotların İdeal Olmayan Karakteristikleri	25
2.7 Bariyer Potansiyelinde Yapılan Değişiklikler	27
2.7.1 Görüntü gücü düşürme	28
2.7.2 Arayüzey katmanları	29
2.7.3 Yüzey durumları.....	32
2.7.4. Metal kaynaklı boşluk durumları	34
2.7.5. İdealite faktörü	37
2.8 Uygulamalar	39
2.8.1 İnşaat Malzemeleri	39
2.8.2 Tarım ve Bahçecilik	39
2.8.3 Refrakter Malzemeler.....	40
2.8.4 Kimyasal Endüstri.....	40
2.8.5 Gıda ve İlaç Endüstrisi	40
2.8.6 Tıbbi uygulamalar	40
2.9 Sonuç	41

3. DENEYSEL SÜREÇLER	42
3.1. Çalışmalarda ve Hazırlık Aşamalarında Kullanılan Materyaller	42
3.2. Deneysel Çözeltinin Hazırlanması	43
3.3. Filimlerin kaplanması	46
3.4. Al/MgO/p-Si Schottky diyotunun hazırlanması.....	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR.....	52
4.1. MgO Filminin X-Işını (XRD) Ölçümleri.....	52
4.2. MgO Filminin Optik Ölçümleri (UV-Vis).....	53
4.3. Al/MgO/p-Si Schottky Diyotunun Elektriksel (akım - gerilim) Karakterizasyonu .	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
5.1. Sonuçlar ve Tartışma	66
5.2. Öneriler	67
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A*: Richardson sabiti
A: Diyotun etkin alanı
C: Kapasite
d: Uzay yükü bölgesinin genişliği
e: Elektron yükü
E_o: Vakum seviyesi
E_c: İletim bandının tabanı
E_f: Fermi Düzeyi
Örn: Yarıiletkenin yasak enerji boşluğu
eV: Elektron volt
E_v: değerlik bandı
h: Plank sabiti
I_o: Ters akım
k: Boltzmann sabiti
m: Kütle
M: Molarite
MA: Moleküler kütle
n: Mol
q: Elektron yükü
Rs: Seri direnç
T: Mutlak sıcaklık
V: uygulanan potansiyel
VF: Doğru Besleme Gerilimi
VR: Ters Gerilim
W: Biriktirme bölgesi
X: Yarıiletkenin elektron ilgisi
λ: X ışınlarının dalga boyu
Ω: Direnç birimi
ΦB: Schottky bariyer yüksekliği
Φ_m: metalin iş fonksiyonu
Φ_n: n tipi yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_p: p tipi yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_s: yarıiletkenin iş fonksiyonu
γ: Norde yönteminde bir sabit
δ: Arayüz kalınlığı
ε_s: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ε_o: Boşluğun dielektrik sabiti

Kısaltmalar

AFM: Atomik kuvvet mikroskobu
CNL: Yük nötr seviyesi
FE: Alan emisyonu
FL: Fermi seviyesi
I-V: Akım-voltaj
KBB: Kimyasal buhar biriktirme
MBE: Moleküler Işın Epitaksi
MIG: Metal kaynaklı boşluklar
MIS: Metal-yalıtkan-yarıiletken kontağı
MS: Metal-yarıiletken kontak
PVA: Polivinil alkol
PVD: Fiziksel buhar biriktirme
SP: Sprey Piroliz
TE: Termiyonik Emisyon
TFE: Termiyonik Alan Emisyonu
XRD: X-ışını kırınımı
PLD : Darbeli Lazer Biriktirme
MS: Metal-yarıiletken

ŞEKİLLER

ŞEKİL 1.1. MGO'İN BANT DİYAGRAMI	2
ŞEKİL 1.2 MGO'NUN YAPISAL ŞEKLİ (ROPP, 1999)	7
ŞEKİL 1.3. TÜPLÜ ULTRASON SPREY PİROLİZ(SP) SİSTEMİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ (ZABİHİ VE ARK., 2016)	12
ŞEKİL 2.1. METAL-N TIPI YARIİLETKEN KONTAĞIN KONTAK YAPILMADAN ÖNCEKİ ŞEMATİK ENERJİ BANDININ DİYAGRAMI.....	14
ŞEKİL 2.2. METAL N-TIPİNİN ŞEMATİK ENERJİ BANDI DİYAGRAMI TEMAS OLUŞTUKTAN SONRA YARIİLETKEN. (V_{BI}) YERLEŞİK VOLTAJDIR. TERMAL DENGEDEN YARIİLETKEN TÜKENME BÖLGESİ BOYUNCA, $W = q(\Phi_M - \Phi_S)$. W , TÜKENME BÖLGESİNİN GENİŞLİĞİDİR.....	15
ŞEKİL 2.3. DOĞRULTUCU BİR METAL N-TİPİ YARIİLETKENİN ŞEMATİK ENERJİ BANDI DİYAGRAMLARI (A) DOĞRU BESLEME VE (B) TERS BESLEMALTIINDA TEMASI.....	16
ŞEKİL 2.4. OMİK METAL N-TİPİ YARIİLETKENİN ENERJİ BANT DİYAGRAMLARI, $\Phi_M < \Phi_S$. (A) TEMASTAN ÖNCE, (B) TEMASTAN SONRA, (C) İLERİ BESLEME VE (B) GERİ.....	18
ŞEKİL 2.5. SCHOTTKY DİYOTLARI BOYUNCA AKIM TAŞIMA MEKANİZMALARINI İLERİ BESLEME; (A) TERMİYONİK EMİSYON, (B) TÜNELLEME, (C) TAŞIYICI TÜKENME BÖLGESİNDE REKOMBİNASYON, (D) METALDEN DELİK ENJEKSİYONU	19
ŞEKİL 2.6. İDEAL BİR AKIM-VOLTAJ KARAKTERİSTİĞİ TERMİYONİK EMİSYON MODELİNE DAYALI OLARAK ÜRETİLMİŞTİR. İÇTEKİ ÇİZİM YARI LOG ÖLÇEĞİNDE I-V EĞRİSİNİ TEMSİL EDER.....	21
ŞEKİL 2.7. ALAN EMİSYONU FE VE TERMİYONİK EMİSYON TFE TÜNELLEME YOĞUN KATKILI N-TİPİ YARIİLETKENE DAYALI SCHOTTKY BARIYERİ. (A) DOĞRU BESLEM VE (B) TERS BESLEM. (PADOVANI VE STRATTON, 1966)	22
ŞEKİL 2.8 . İDEALİTE FAKTÖRÜNÜN FARKLI DEĞERLERİNDE İLERİ BESLEMEDE SİMÜLE EDİLMİŞ I-V KARAKTERİSTİKLERİ (A) YARI LOG ÖLÇEK VE (B) NORMAL ÖLÇEK. $\Phi_B = 0.3 \text{ eV}$ VE $A^{**} = 1.68 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ DİKKATE ALINMIŞTIR (TUNG, 1993).....	26
ŞEKİL 2.9. BARIYER DÜŞÜRME VE KUANTUM MEKANİKSEL TÜNELLEMENİN SCHOTTKY DİYOTUN TERS I-V KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	27
ŞEKİL 2.10. SCHOTTKY BARIYERİNİ GÖSTEREN ENERJİ BANDI DİYAGRAMI GÖRÜNTÜ KUVVETİ ETKİSİ NEDENİYLE DÜŞMEKTEDİR	29
ŞEKİL 2.11. ÇOK İNCE BİR METAL-YARIİLETKEN TEMASININ ENERJİ BANDI DİYAGRAMI İLERİ BESLEMEDE YALITKAN ARAYÜZEY TABAKASI	30
ŞEKİL 2.12. YÜZEY DURUMLARI DAĞILIMINI GÖSTEREN ENERJİ BANDI DİYAGRAMI YARIİLETKEN YÜZEYİNDEKİ BANT ARALIĞI (A) NÖTR SEVİYE FERMI İLE ÇAKIŞIR SEVİYESİNDEDİR. (B) N-TİPİ YARIİLETKEN, NÖTR SEVİYE FERMI SEVİYESİNİN ALTINDADIR. (WILMSEN, 2013).....	33
ŞEKİL 2.13. FERMI SEVİYESİNİ GÖSTEREN ENERJİ BANDI DİYAGRAMI YÜKSEK YOĞUNLUKLU N-TİPİ YARIİLETKEN ÜZERİNDE MS KONTAĞINDA SABİTLEME YÜZEY DURUMLARI	34
ŞEKİL 2.14. (A) ENERJİ BANDI DİYAGRAMI VE (B) YÜK NÖTRALİTE SEVİYESİ ECNL'YI GÖSTEREN BİR METAL YARIİLETKEN KONTAKTINDAKİ METAL KAYNAKLI BOŞLUK DURUMLARI'IN YÜKLENME KARAKTERİ. EC'YE YAKIN METAL KAYNAKLI BOŞLUK DURUMLARI ALICI BENZERİ İKEN, EV'YE YAKIN METAL KAYNAKLI BOŞLUK DURUMLARI DONÖR BENZERİDİR. ALICI BENZERİ DURUMLARIN DOLDURULMASI NEGATİF YÜKLE (YEŞİL GÖLGELİ ALAN) SONUÇLANIRKEN, DONÖR BENZERİ DURUMLARIN BOŞ BIRAKILMASI POZİTİF YÜKLE (MAVİ GÖLGELİ ALAN) SONUÇLANIR (YEO, 2004).....	36
ŞEKİL 2.15. HKT/Q'NUN BİR FONKSİYONU OLARAK HKT/Q'NUN TEORİK OLARAK OLUŞTURULMUŞ GRAFİKLERİ MEVCUT TAŞIMA MEKANİZMALARININ BEŞ FARKLI KATEGORİSİNİ TEMSİL ETMEKTEDİR FE, TFE VE TE FARKLI KOŞULLARDA $H=1$, $H>1$ VE, T_0 ETKİSİ.	38
ŞEKİL 3.1. ULTRASONİK STERİLİZE CİHAZI.....	42
ŞEKİL 3.2. DURULAMA İŞLEMİ	43
ŞEKİL 3.3. MAGNEZYUM KLORİT HEGZAHİDRAT FOTOĞRAFI.....	44
ŞEKİL 3.4. HAZIRLANAN MAGNEZYUM KLORİT HEKZAHİDRAT ÇÖZELTİSİNİN FOTOĞRAFI.....	45
ŞEKİL 3.5. HAZIRLANAN ÇÖZELTİ, AMONYUM HİDROKSİT İÇEREN MAGNEZYUM KLORİT HEKZAHİDRAT ÇÖZELTİSİNİN FOTOĞRAFI	46
ŞEKİL 3.6. PÜSKÜRTME MEKANİZMASI.....	48

ŞEKİL 3.7. CAM ALTTAŞ ÜZERİNDE KAPLANAN MGO İNCE FİLMİ	48
ŞEKİL 3.8. AL/MGO/P-Sİ DİYOTUNUN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİĞİNİ DEĞERLENDİRMEK İÇİN KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZI (I-V (AKIM-GERİLİM)	51
ŞEKİL 3.9. AL METAL KAPLAMASINDA KULLANILAN PVD CİHAZININ FOTOĞRAFI	51
ŞEKİL 4.1. CAM ÜZERİNDE SPREY PROLİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK BÜYÜTÜLEN MGO İNCE FİLMİNİN X-IŞINLARI DİFRAKSİYONU	52
ŞEKİL 4.2. ELDE EDİLEN MGO İNCE FİMLERİN SOĞURMA-DALGA BOYU GRAFİĞİ.....	54
ŞEKİL 4.3. ELDE EDİLEN FİLMİN $(AHY)^2$ FOTON ENERJİSİNE (HY) GÖRE DEĞİŞİMİ	54
ŞEKİL 4.4. ELDE EDİLEN MGO İNCE FİLMİN GEÇİRGENLİK-DALGA BOYU GRAFİĞİ	55
ŞEKİL 4.5. AL/MGO/P-Sİ YÜZEYİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ	56
ŞEKİL 4.6. MIS DİYOTLARIN AKIM-GERİLİM ÖLÇÜMLERİNİN YAPILDIĞI KEITHLEY 4200-SCS CİHAZI.....	56
ŞEKİL 4.7. ODA SICAKLIĞINDA ARAYÜZEYSİZ AL/P-Sİ REFERANS DİYOTU VE MGO ARAYÜZEYLİ AL/MGO/P-Sİ DİYOTUNUN I-V (AKIM-GERİLİM) KARAKTERİSTİKLERİ GRAFİĞİ GÖSTERİLMEKTEDİR	57
ŞEKİL 4.8. ELDE EDİLEN AL/MGO/P-Sİ VE AL/P-Sİ DİYOTLARININ RJ-V GRAFİĞİ	59
ŞEKİL 4.9. AL/MGO/P-Sİ VE AL/P-Sİ REFERANS DİYOTLARIN GÖRE $F(V)$ -V GRAFİKLERİ ..	60
ŞEKİL 4.10. AL/MGO/P-Sİ VE AL/P-Sİ REFERANS DİYOTLARININ $DV/D(LNI)$ -I GRAFİKLERİ	61
ŞEKİL 4.11. MGO İNCE FİLMİN 3 BOYUTLU YÜZEY GÖRÜNTÜSÜ	63
ŞEKİL 4.12. MGO İNCE FİLMİN TOPOGRAFİK AMF GÖRÜNTÜSÜ VE ÖLÇÜM PARAMETRELERİ	65
ŞEKİL 4.13. MGO İNCE FİLMİN 3 BOYUTLU YÜZEY GÖRÜNTÜSÜ	65

ÇİZELGELER

ÇİZELGE 1.1. MGO MALZEMESİNİN TEMEL FİZİKSEL VE KİMYASAL UYGULAMALARININ ÖZETİ	5
ÇİZELGE 4.1. ÜRETİLEN MGO INCE FILMİN BAZI MİKROYAPISAL PARAMETRELERİ	53
ÇİZELGE 4.2. AL/P-Sİ VE AL/MGO/P-Sİ DİYOTLARININ I-V, CHEUNG VE NORDE FONKSİYONLARINDAN ELDE EDİLEN DİYOT PARAMETRELERİ (DİYOT ALANI A= 0,00785 CM ² OLARAK ALINMIŞTIR.).....	63

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze teknolojik gelişmeler hayatımızda olağanüstü gelişmeler kaydetti. Devasa boyutlardaki makinaların yapmış oldukları fonksiyonları yerine getirecek mini boyutlardaki cihazlara kadar dönüştü. Bir oda kadar büyük olan bilgisayar, günümüzde bileklerimizde akıllı saat olarak yerini aldı. Bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler ile nano düzeyde ve daha fonksiyonel çalışmalar ortaya koyarak hayatımızı kolaylaştırdı.

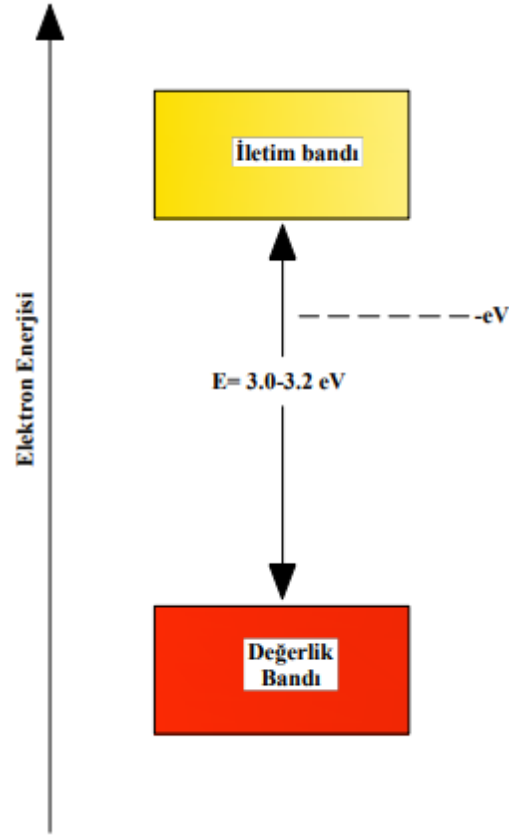
Modern cihazlardan yararlanılarak üst düzey ince filmler elde edildi. Bu ince filmlerin optik, elektrik ve kristal yapıları üzerine durulmuş. Böylece ince filmlerin hayatımızdaki kullanım alanı artmış oldu. İnce filmler 1 nanometre ile 1 mikron kalınlığına sahip olan yapılardır. Bu yapılar yarıiletken elementler kullanılarak bir malzeme üzerine moleküllerin kaplanmasıdır. Genellikle bu elementler yarıiletken olan Germanyum (Ge) ve Silisyum (Si) elementleridir. Bu yarıiletken elementler diğer 3A veya 5A element grupları ile eşleştirmeleri sonucunda yarıiletken malzemesi elde edilmiş olur (Ekinci, 2018).

Günümüzde ince film kaplamaları, birçok özelliğiyle teknolojiye önemli ölçüde yer almıştır. Teknolojideki gelişmelerle beraber kullanım alanları da çoğalmıştır. İnce film teknolojisi, optiksel özelliklerini hafıza disklerinde, elektrik özelliklerini yarıiletkenlerde, mekanik özellikleriyle mikro mekatronik cihazlarda ve yoğun, sağlam kaplamalarda, kimyasal özellikleri ile sensör teknolojisinde kullanımında kendine yer bulmaktadır. Bu ince film teknolojisi günden güne sınır tanımamakta ve daha da ileri seviyelere ulaşmaktadır (Ertugrul, 2020).

Yakın zamanda ince film teknolojileri gece görüş mekanizmaları, Entegre devre, geniş ve yüksek çözünürlüklü ekranlar, lazerler, güneş pilleri, ışık yayan diyotlar ve transistör gibi optik cihazların meydana getirmesini sağlayan, yapısal dayanıklılıkları nedeniyle süsleyici kaplamalarda da kullanılmaktadırlar. Ayrıca tabaka sayıları çoğaltılarak elektronik devre elemanları olacak şekilde de üretilmektedirler (Holmberg ve Matthews 1994).

Diyot anahtar, transistör, sensör, dedektör, termistör gibi pek çok aygıt yapımında yarıiletken donatımlar kullanılır. Yarıiletken öğelerde elektriksel iletim, valans bandındaki holler ve yarıiletkenin iletim bandındaki serbest elektronlar tarafından sağlanır. Bant yapısında ise, boş olan iletkenlik bandı ve tamamen dolu değerlik bandı bulunmaktadır. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi İletkenlik bandı ve değerlik bandı arasında kalan yasak enerji aralığı yalıtkanlardan daha küçüktür. Aslında yarıiletkenlerin bant yapısı yalıtkanların bant yapısıyla benzerlik gösterse bile bu durum yasak enerji aralığı yalıtkanlardan daha kötü

gösterir (Bozkurt, 2016)



Şekil 1.1. MgO'in bant diyagramı (Bozkurt, 2016).

Son zamanlarda, MgO ince filmler, yüksek sıcaklıklı süper iletken ve ferroelektrik malzeme uygulamaları için kimyasal olarak Stabil bir tampon tabakası olarak potansiyel avantajları nedeniyle ilgi çekmektedir. MgO nanoyapılar, yüksek Spesifik yüzey alanları, ayarlanabilir geometrileri ve uygun elektriksel özellikleri nedeniyle önemli miktardabilimsel ilgi görmüştür. Genellikle piller (Zhang, ve ark., 2004), elektrokataliz (Wang ve ark., 2008), filtrasyon sistemleri (Trapalis ve ark., 2003), gaz sensörleri (Selman, 2016), hidrojen üretimi ve depolanması (Abdullah, 2017), fotovoltaiik hücreler (Cheng ve ark., 2019) ve son zamanlarda memristörler gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (Mettan ve ark., 2019). MgO-NT'leri hazırlamak için sol jel ve şablon destekli yöntemler gibi birçok teknik olmasına rağmen, elektrokimyasal anodizasyon gözenek çapı, gözenekler arası boşluk ve gözenekler arası boşluk üzerinde yüksek bir kontrol sunar.

Literatürde, çeşitli MIS veya MOS'ların özellikleri HfO_2 (Er ve ark., 2021), ZrO_2 (Kumar ve ark., 2016), TiO_2 (Şafak Asar ve ark., 2015), Al_2O_3 (Turk ve ark., 2020), Y_2O_3 (Liu ve ark., 2015), Gd_2O_3 (Li ve ark., 2019), La_2O_3 (Li ve ark., 2019) gibi yapılar, geniş çapta araştırılmıştır. Bunlar arasında, elektrik ve dielektrik MgO tabanlı heteroyapıların özellikleri daha az olmuştur. Geçit olarak kullanılmak üzere temel Kriterleri karşılamamanın yanı sıra MgO uygun bir iletim ve valans bandına sahiptir. Geniş bant aralığı enerjisi nedeniyle 7,8 eV ve uzlaşmış yüksek frekans statik dielektrik sabiti değeri 9,8'dir ve bu da onu metal-yalıtkan-yarıiletken feld-Efekt-transistör (MISFET) cihazları için uygun hale getirir (Kamarulzaman ve ark. 2016). İnce flm transistörler için bir geçit oksidi olarak işlenmiş MgO ince flmler ve $0,3 \text{ nA/cm}^2$ 1 MV/cm 'de ve 330 nF/cm^2 'lik büyük alansal kapasitans 20 Hz 'de. Casey ve arkadaşları (Casey ve ark., 2009) da büyütme hakkında çalışmışlardır. Son zamanlarda, şu konulara artan bir ilgi var. Düşük sıcaklıkta çözelti ile işlenmiş ince film birikimi spin kaplama, spreyl piroliz ve ink-jet gibi teknikler basit Prosedürleri ve düşük maliyetli kurulumları nedeniyle ilgi görüyor (Visweswaran ve ark., 2020). Öte yandan, vakuma dayalı teknikler biriktirme süreçleri karmaşık ve maliyetli kurulum gerektirir, örneğin e-beam buharlaştırma ve darbeleri lazer biriktirme gibi, dolayısıyla uygulamalarını yalnızca küçük ölçekli elektronik cihazlar için sınırlandırmaktadır. Çalışmamızda, Al/MgO/p-Si MIS diyotlar, spreyl piroliz yöntemini içeren basit ve düşük maliyetli çözelti işleme düzeneği kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın amacı, diyotların yapısal özelliklerini araştırmaktır, Bu yüzden MgO ince malzemenin ortam kararlılığı ve elektriksel karakterizasyonu silikon yüzeylerde film üretimine yönlendirmiştir.

MgO ince filmler, darbeleri lazer birikimi (Senzaki ve ark., 1996), elektron demeti buharlaşması (Yoon ve ark, 1996), metal organik kimyasal buhar birikimi gibi çeşitli tekniklerle hazırlanmıştır (Neumann ve ark., 1995). Aparatın basitliği ve kullanılan hammaddelerin fiyatının düşük olması nedeniyle nebülize spreyl piroliz NSP'nin çok faydalı bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, bir piezoelektrik dönüştürücü tarafından üretilen yaygın olarak kullanılan spreyl piroliz işleminin bazı sınırlamaları vardır. Prosesin verimi ultrasonik jeneratörün gücü ve frekansı ile sınırlıdır; bu nedenle, çözeltilerin Konsantrasyonu küçük olmalıdır, çünkü çözeltilerin Konsantrasyonu ne kadar büyük olursa, spreyl oluşturma sürecini uyarmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmalıdır. Bu arada, piezoelektrik dönüştürücü ısı üretir ve bu nedenle püskürtme piroliz sırasında bir soğutma sistemine ihtiyaç duyar. Belirtici materyal olarak magnezyum asetilasetonat ($\text{MgC}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_4$) kullanılarak spreyl piroliz ile MgO filmlerinin hazırlandığına dair bazı raporlar

bulunmaktadır (Tarsa ve ark., 1993). $MgC_{10}H_{14}O_4$ oldukça pahalıdır ve kullanımı zordur.

Bu çalışma, her biri uygulamaların ve özelliklerin MgO ince filmleri, deneysel, Sonuçlar ve Tartışma ile ilgili önemli bir yönü ele alan üç bölüme ayrılmıştır. İlk bölüm, MgO ince filmlerin tanımları, uygulamaları, bazı fiziksel özellikleri üzerine bir Literatür çalışmasına ayrılmıştır. İkinci bölümde sprej sistemi ile üretilen MgO ince tabakanın özellikleri ve karakterizasyonu gerçekleştirildi. Üçüncü bölümde MgO ince filmlerin optik ve yapısal özellikleri ile Al/p-Si diyotlarda arayüzey tabakası olarak etkisi incelendi. Son bölümde ise elde edilen veriler ve sonuçlar tartışılır.

1.1 Çalışma ile ilgisi Literatür Özeti

MgO ince filmlerin biriktirilmesi için vakum biriktirme (Kim ve ark., 2004), magnetron püskürtme (Park ve ark., 2005), elektron ışını buharlaştırma (Moon ve ark., 2007), sprej piroliz (Raj ve ark., 2007) ve iyon ışını destekli biriktirme (Ideektessabi ve ark., 2004) gibi çok sayıda yöntem bildirilmiştir. magnezyum oksit ince filmin ilginç özellikleri bir dizi uygulamayı çekmiştir (Caceresve ark., 2002). Bu filmlerin kırılma indisi optik dalga kılavuzu için uygun aralıktadır (Baba ve ark., 2000). Yazarların bilgisine göre, vakumla buharlaştırılmış Mg ince filmlerin termal oksidasyonu ile MgO ince filmlerin biriktirilmesi hakkında hiçbir rapor yoktur (Guo ve ark., 1996). Diğer tekniklerle karşılaştırıldığında bu daha uygun maliyetli bir yöntemdir, çünkü oksidasyon ortam havasında nispeten düşük sıcaklıkta yapılır. Bu makalede, termal olarak oksitlenmiş (havada) vakumda buharlaştırılmış magnezyum oksit ince filmlerin optik özelliklerini rapor ediyoruz. Optik geçirgenlik, kırılma indisi, optik bant aralığı, kristal yapı ve yüzey morfolojisi, oksidasyon sıcaklığı ve süresindeki değişime bağlı olarak incelenmiştir. MgO ince filmin özelliklerini değiştirmek için çok basit bir buhar kesme tekniği kullanılmıştır (Patil ve ark., 2007). Çizelge 1.1’de MgO için genel özellikler verilmiştir.

Çizelge 1.1. MgO malzemesinin temel fiziksel ve kimyasal uygulamalarının özellikleri (Gürbüz, 2020).

Özellik	Değer
Görünüm	Beyaz toz
Molekül kütlesi:% 1 u	40,3044 g/mol
Yoğunlu(N)(cm ³)	3.58 g/cm ³
Erime noktası	3125 C
Kırılma indeksi	1,736
Bant aralığı enerjisi (Örn.)	7.8 ev

1.2 İnce Bir Tabakanın Tanımı

Belirli bir malzemenin ince bir tabakası, bu malzemenin kalınlık adı verilen boyutlarından birinin kendisini Angstrom Å cinsinden ifade edecek şekilde büyük ölçüde azaltıldığı ve iki yüzey sınırı arasındaki bu küçük mesafenin (neredeyse iki boyutlu) fiziksel özelliklerin çoğunun bozulmasına neden olduğu bir unsurdur (Durusoy ve Mater, 1991).

Kütle halindeki malzeme ile ince tabaka halindeki malzeme arasındaki temel fark, kütle halinde genellikle sınırların özelliklerdeki rolünü ihmal ettiğimiz gerçeğiyle ilgilidir, oysa ince bir tabakada bunlar tam tersine aşağıdakilerle ilgili etkilerdir. Bunlar, baskın olan yüzey alanlarıdır. Kalınlık ne kadar düşük olursa, bu iki boyutluluk etkisinin o kadar önemli olacağı oldukça açıktır. Tersine, ince bir tabakanın kalınlığı belirli bir eşiği aştığında, etki kalınlığı minimal hale gelecek ve malzeme katı malzemenin iyi bilinen özelliklerini yeniden kazanacaktır (Hsu ve ark., 1992).

İnce bir tabakanın ikinci temel özelliği, üretimi için kullanılan Prosedür ne olursa olsun, ince bir tabakanın her zaman üzerine inşa edildiği bir desteği desteklemesidir (bazen söz konusu desteğin ince filmini ayırdığımız olur). Sonuç olarak, tasarımda bu önemli gerçeği, yani desteğin, üzerinde biriken katmanın yapısal özellikleri üzerinde çok güçlü bir etkiye sahip olduğunu dikkate almak zorunlu olacaktır. Dolayısıyla, aynı malzemeden aynı kalınlıkta ince bir tabaka, örneğin cam gibi amorf bir yalıtkan alt tabaka veya monokristal bir silikon alt tabaka üzerinde biriktirilip biriktirilmeyeceğine bağlı olarak önemli ölçüde farklı olabilir. İnce bir tabakanın bu iki çeşit temel özelliğinden şu sonuç çıkar: ince bir tabaka yapısı gereği anizotropiktir.

Pratikte iki ana yöntem üyelerini ayırt edebiliriz: biriktirilecek malzemeyi bir kaptan alt tabakaya taşımak için bir taşıyıcı gaz kullanan ve aktif bileşenlerin üretiminde kullanılan

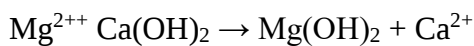
difüzyon tekniklerine benzeyenler ve çok düşük basınçlı bir ortam içeren ve biriktirilecek malzemenin termal veya mekanik yapıdaki bir başlangıç darbesi yoluyla taşınacağı yöntemler vardır (Mihara ve ark., 1996).

1.3 Mgo İnce Filmler

Magnezyum oksit veya magnezyum periklaz olarak, doğal olarak ortaya çıkan beyaz bir higroskopik katı mineraldir ve bir magnezyum kaynağıdır. MgO formülüne sahip olan Ampirist bir bileşiktir. MgO, Mg^{2+} iyonları ve O^{2-} iyonlarından oluşan bir kapsayıcı yapıya sahiptir ve bu iyonlar iyonik bağlarla birbirine bağlanmıştır. Su bulunması durumunda, MgO, magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) olarak reaksiyona girer ($MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$). Ancak, bu reaksiyon sadece nemi absorbe etmek amacıyla geri döndürülebilir bir ısıtma işlemiyle tersine çevrilebilir (Kim ve ark., 1996).

Magnezyum oksit, tahrihsel olarak magnezyum alba (kelimenin tam anlamıyla, magnezyadan gelen beyaz mineral) olarak bilinir. Diğer kaynaklar magnezyum alba'yı $MgCO_3$ olarak verir), ayırt etmek için mangenez olarak bilinen siyah bir mineral olan magnezyum negradır (Vellaikal ve Kingon, 1996).

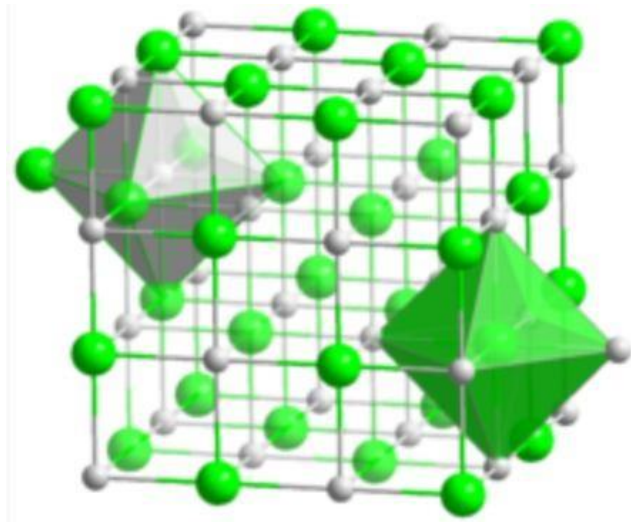
"Magnezyum oksit" normalde MgO'yu ifade ederken, magnezyum oksit (MgO), magnezyum peroksit (MgO_2) 116 GPa (gigapaskal) ve yarıiletken bir altoksit magnezyum altoksit (Mg_3O_2) 500 GPa'nın üzerinde bileşiklerinin termodinamik stabilite özellikleri ve bazı basınç aralıklarında nasıl davrandıklarını açıklamaktadır. Yüksek stabilite: MgO kristalleri, yüksek termal ve kimyasal stabiliteye sahiptir. Bu, istikrarlı bir şekilde çalışılabilmesi ve titreşim özelliklerinin tekrarlanabilir bir şekilde incelenebilmesi anlamına gelir. Bu özellikler, MgO kristallerinin titreşim özelliklerinin araştırılması için ideal bir model sistem olduğunu gösterir. MgO üzerinde yapılan çalışmalar, malzeme biliminde, nanobilimde, yarıiletken cihazlarda ve diğer birçok uygulamada önemli bilgiler sağlamaktadır (Goerkeve ark., 1996). Magnezyum oksiti, magnezyum hidroksitin kalsinasyonu veya magnezyum karbonat ile elde edilir. İkincisi, tipik olarak deniz suyu olan magnezyum klorür çözeltilerinin kireç ile işlenmesi ile elde edilir (Seeger ve ark., 2000).



Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan magnezyum oksit Kalibrasyonu, değişen reaktivitelere sahip ürünlerin elde edilmesine neden olur. Yüksek sıcaklıklar (1500-2000 °C), mevcut yüzey alanını azaltarak tepkisiz bir form olan "ölü yanık" magnezyumu sağlar.

Kalsinasyon sıcaklıkları 1000-1500 °C arasındaysa, sert yanmış magnezyum gibi sınırlı reaktiviteye sahip bir form üretilir. Düşük sıcaklıkta (700-1000 °C) kalsinasyon ise reaktif bir form olan "ışıkla yanmış magnezyum" ya da "kostik kalsinli magnezya" gibi formların ortaya çıkmasını sağlar. Karbonat oksidasyonu için uygun bir sıcaklık 700 °C'den daha düşükken, elde edilen malzemelerde havanın içinde bulunan karbondioksit emilimi gözlemlenir (Ropp, 1999).

MgO, optikal saydamlıkları ve yüksek manyetik alanları nedeniyle en yarıiletkenlerden biridir. Son araştırmada ince bir film olarak magnezyum oksit (MgO) yüksek iyonik karakterli, basit stokiometri ve kristal yapıya sahip benzersiz bir katı olması Şekil 1. 1'de ve yüzey yapısal kusurları nedeniyle geniş çapta incelenmiştir. Ancak MgO ince filmlerin kullanımı, elektronik, adsorpsiyon, kataliz, seramik, petrokimyasal ürünler, güneş hücreleri, yansıtıcı ve yansıtma önleyici kaplamalar, kimyasal atık ve savaş ajanlarının tespiti ve iyileştirilmesi ve diğer birçok alanda uygulamalar olarak çeşitli uygulamaları geliştirebilir (Kim ve ark., 1996). Şekil 1. 2'de MgO'nun kübik şekli verilmiştir.



Şekil 1. 2 MgO'nun yapısal şekli (Ropp, 1999).

1.4 MgO İnce Filmlerin Detaylandırma Yöntemleri

İnce film birikimi, bir malzemeden diğerine ince bir tabaka ekleme işlemidir. Katmanın eklendiği alttaki malzeme substrat olarak bilinir ve katmanın kendisi ince film olarak adlandırılır. İnce filmler, küçük kalınlıkları, yani çok küçük cihazların veya mikro devrelerin üretilmesine izin veren neredeyse iki boyutlu bir yapıları nedeniyle mikro

elektronik devrelerin önemli bir parçası haline gelmiştir (Senzakive ark., 1996).

İnce film teknolojisi üç temele dayanmaktadır; fabrikasyon, karakterizasyon ve uygulamalar (Yoon ve Kim, 1996). İnce filmler elektronik bileşenler, elektronik ekranlar, optik kaplamalar, manyetik veri depolama, optik veri depolama, anti - statik kaplama ve sert yüzey kaplamaları vb. için kullanılır. Çeşitli uygulamalar için onlarca ince film biriktirme tekniği vardır. İnce film biriktirme teknikleri uygun bir şekilde iki sınıfa ayrılabilir; Fiziksel Buhar Biriktirme ve Kimyasal Buhar Biriktirme. Bununla birlikte, önemli sayıda biriktirme tekniği, hem fiziksel hem de kimyasal süreçleri iyi bir şekilde birleştirir (Neumann ve Bruchhaus, 1995).

Tüm film biriktirme tekniklerinin ortak adımları şunlardır:

- Katı, sıvı veya buhar olabilecek bir kaynaktan bir atom veya molekül kaynağı oluşturulur. Bu, ısıtarak kaynağa enerji sağlanır.
- Kinetik enerji, gelen enerjik parçacıklardan veya uçucu türler üretmek için kimyasal reaksiyon kullanılır.
- Bileşen atomların veya moleküllerin substrata taşınması. Teknolojik bir bakış açısıyla, bu ifadenin çok önemli bir parçasıdır, çünkü taşımacılığın ana ögesi filmin kalitesini belirler.
- Atomların veya moleküllerin substrat üzerinde birikmesi. Substrat yüzeyinin durumu, çökeltme işleminin bu bölümünde önemli bir rol oynar. Substrat yüzeyi, safsızlık atomlarının tek katmanlı bir Fraksiyonu ile kirlenmişse, gelen atomların yüzey hareketliliği, filmin kristal yöneliminin su katmanı ile çok az ilişki taşıdığı bir ölçüde etkilenebilir ve yapının polikristal olması muhtemeldir. Tersine, substrat yüzeyi esasen temizse, gelen atomların substrat yönelimiyle ilgili alanlarda adsorbe olması muhtemeldir ve film tercihen yönlendirilebilir veya hatta epitaksiyel olabilir.
- Depozisyon sonrası işlem. Sürecin bu kısmında, filmin yüksek sıcaklıkta uzun süreli tavllanması, filmdeki kristal tane büyümesi, gerilimin azaltılması, bileşenlerin difüzyonu ile üretilen bileşimdeki değişiklikler vb. sonucunda üstün özelliklere sahip bir film elde edilmesini sağlayabilir.
- Süreç analizi için, modern yerinde analitik teknikler, filmin yapısını veya saflığını veya her ikisini de iyileştirmek için birikim veya birikim sonrası parametreleri izlemek için kullanılır (Moshfegh ve ark., 2004).

1.5 Fiziksel Buhar Biriktirme Teknikleri:

Fiziksel buhar biriktirme tekniği, atomların ve moleküllerin buhar türlerini üretmek için fiziksel yöntemlere dayanan bir işlemle bir kaynaktan bir substrata aktarılmasıdır. Fiziksel buhar birikimi, filmin ortam atmosferi tarafından kirlenmesini önlemek için yüksek vakumda gerçekleştirilir (Seshan, 2002). Bazı yaygın ve iyi bilinen fiziksel buhar biriktirme teknikleri şunlardır:

1.5.1 Darbeli lazer biriktirme (pld):

Bu teknik, materyalin odaklanmış bölgeden uzaklaştırılmasına yol açan katı hedeflerin yüksek güçlü kısa darbeli lazer ışınlamasının etkisinden kaynaklanan fiziksel buhar biriktirme işlemlerine dayanmaktadır (Liuve ark., 2003). PLD nispeten yenidir, ancak çok epitaksial filmleri biriktirmek için etkili bir tekniktir. Biraz maliyetli bir işlemdir, ancak yüksek doğrulukta kalınlık kontrolü ile yüksek kaliteli filmler üretebilir (Yoon ve Kim, 1996). Bununla birlikte, yeniden üretilebilirlik, geniş alan birikimi ve Partikül emisyonunun azaltılması henüz iyileştirilmemiştir (Moshfegh ve ark., 2004).

1.5.2 Püskürtme:

Bu teknik, hedef yüzeyi yüksek enerjili parçacıklar ile bombardımana tutarak atomların hedeften uzaklaştırılmasına dayanır. Katot olarak adlandırılan hedef, biriktirilecek malzemedir ve substrat anot olarak adlandırılır (Liuve ark., 2003). Sıçrama PLD ile karşılaştırıldığında nispeten uygun maliyetlidir ve bu işlemle büyük alan birikimi mümkündür (Moshfegh ve ark., 2004).

1.5.3 Termal buharlaşma:

Bu işlem, bir vakum odasındaki buharlaştırıcı kaynak malzemelerini ve buharlaştırılmış Partiküllerin bir substrat üzerinde yoğunlaşmasını içerir. Termal buharlaşma geleneksel olarak vakum birikimi olarak adlandırılır. Dirençli ısıtma bu birikimde yaygın olarak kullanılır; bu nedenle bu teknik yüksek erime noktası malzemelerine ve zayıf termal iletkenlere uygulanamaz (Banerjee ve Chattopadhy, 2005).

1.5.4 Elektron ışını buharlaşması:

Bu teknik, hedefi buharlaştırmak için önceden ısıtılmış bir hedefin yüksek hızda hızlandırılmış bir elektron demeti ile bombardımana tutulduğu termal buharlaşmaya göre bir gelişmedir. Kaynak elektronların yanı sıra ikincil elektron yakalama ve elektron demeti arkı bu teknikle ilişkili sorunlardır (Banerjee ve Chattopadhyay, 2005).

1.5.5 Moleküler ışın epitaksisi (MBE):

Bu işlem, bir epitaksiyel film oluşturmak için ultra yüksek vakum koşullarında yüksek sıcaklıkta tutulan tek kristalli bir substratın temiz yüzeyinde atomların veya moleküllerin termal kirliliğinin birikmesine dayanır (Kitabatake ve ark., 2004). MBE, yüksek vakumda tek kristalli epitaksiyel filmler yetiştirmek için sofistike ve ince kontrollü bir yöntemdir. MBE'nin sınırlamaları pahalı Ekipman ve karmaşık çalışmasıdır (Bishop, 2007).

1.6 Kimyasal Çökeltme Teknikleri:

Kimyasal bileşenlerin katı bir film oluşturmak için substrat yüzeyinde reaksiyona girdiği bir biriktirme tekniğine kimyasal biriktirme tekniği denir (Kitabatake ve ark., 2004). Fiziksel birikim tekniğinin aksine, kimyasal birikim genellikle inert gazları kullanır ve atmosfer basıncında gerçekleştirilebilir (Bishop, 2007). Yaygın olarak kullanılan kimyasal biriktirme tekniklerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

1.6.1 Kimyasal buhar birikimi

Bir gaz fazı reaksiyonunun uçucu olmayan ürünlerinin bir substrat üzerinde birikmesine izin verilen işlem, kimyasal buhar birikimi olarak bilinir (Pankove ve Moustakas, 1999). KBB'nin temel özelliği, hem basit hem de karmaşık bileşikler için kolaylıkla sentezlemek için çok yönlülüğüdür. KBB'nin temel ilkeleri, disiplinler arası bir gaz fazı reaksiyon kimyası, termodinamik, kinetik, taşıma mekanizmaları, film büyüme Fenomenleri ve reaktör mühendisliği yelpazesini kapsar (Park ve Sudarshan, 2001). KBB'nin avantajları arasında yüksek biriktirme oranı, düşük fiyat ve kompozisyon kontrolünde esneklik bulunmaktadır. Bununla birlikte, yüksek biriktirme sıcaklığı nedeniyle,

KVH yüksek sıcaklıklarda termal olarak kararsız olan substratlar için uygun değildir (Coleman ve Horovitz, 1989).

1.6.2 Spin kaplama:

Spin kaplama işlemi, sıvı öncü damlalarının döndürerek substratının yüzeyine yerleştirilmesinden oluşur (Pierson, 1999). Substrat üzerinde oluşan film, iki dengeleme kuvvetinden kaynaklanır: viskoz sol'u radyal olarak dışa doğru iten Santrifüj kuvveti (döndürme nedeniyle) ve radyal olarak içe doğru hareket eden viskoz kuvvet (sürtünme nedeniyle) (Busnaina, 2007). Spin kaplama, silikon teknolojisinde en ucuz film üretim yöntemidir (Harunave ark., 1989). Bununla birlikte, daha ince filmlerin (<100 nm) yapımı zordur ve işlem materyallerinin % 98 'ini boşa harcayabilir (Pauleau, 2002).

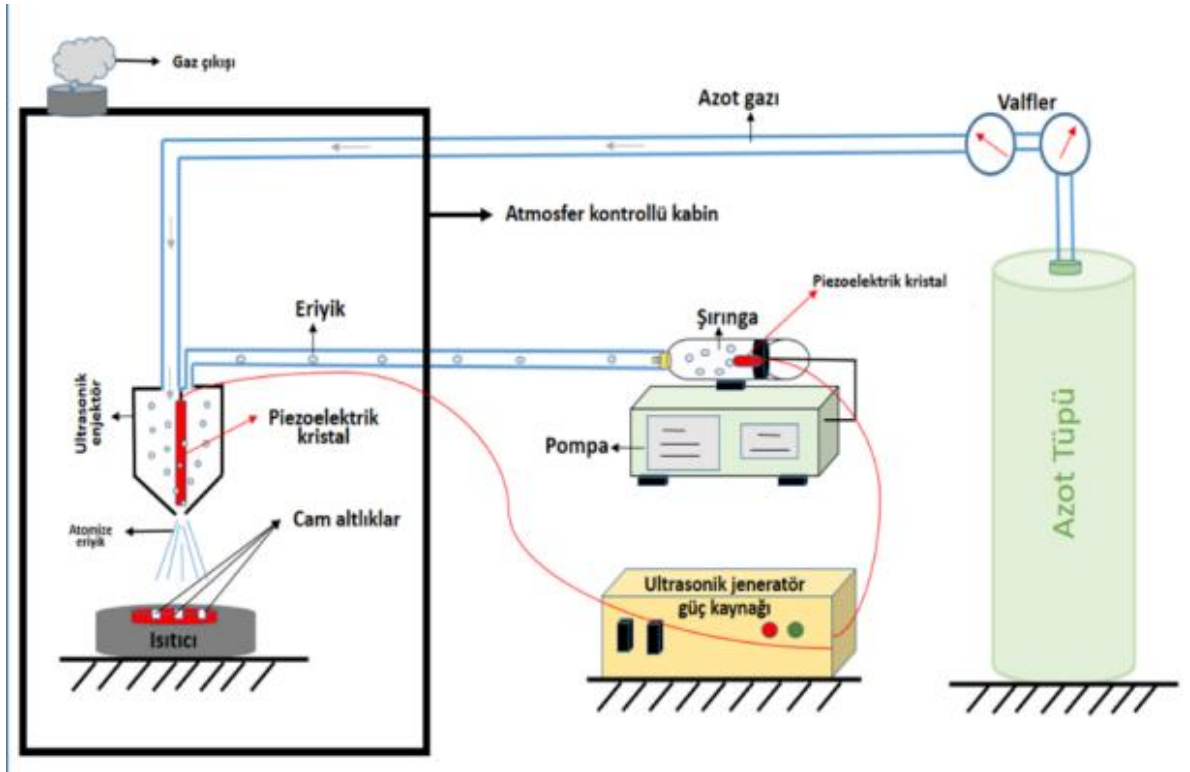
1.6.3 Daldırma kaplama:

Daldırma kaplama veya daldırma kaplama, bir alt tabakayı kaplama malzemesinin çözeltisine sabit bir hızda daldırarak (tercihen titreşimsiz) ince film biriktirmenin basit ve eski bir yoludur. Film kalınlığı, viskoz kuvvet, kılcal (yüzey gerilimi) kuvvet ve yerçekimi arasındaki rekabet tarafından belirlenir. Kalınlık ve homojenlik hassas olabilir.

Sıvı banyosu ve gaz başının üstündeki substratın akış koşullarına bağlıdır. Substratın geri çekme hızı, biriken filmin kalınlığını etkiler. Süreç performansının teorik tahmini daha zordur ve sürecin kontrolü daha zahmetlidir (Maderve ark., 2000).

1.7 Sprey Piroliz (SP):

Sprey piroliz yöntemi, ince film üretiminde kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, bir sıvı öncül madde ince bir sprej halinde atomize edilir ve daha sonra bu sıvı sprej, yüksek sıcaklığa sahip bir alev veya fırın içinde termal olarak ayrıştırılır. Böylece oluşan katı faz, bir substrat üzerinde depolanarak ince bir film oluşturulur. Şekil 1. 3'te bu uygulamanın şeması verilmiştir.



Şekil 1. 3. Tüplü Ultrason spray piroliz(SP) sistemin şematik gösterimi (Zabihi ve ark. 2016).

Spray piroliz, yüksek performanslı katmanlar ve nano yapıların sentezlenmesinde kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, çevre dostu, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli filmler elde etmek için kullanılabileceği için çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Özellikle, malzeme bilimi, yarıiletken üretimi, sensörler, katalizörler ve biyomedikal alanlarında sıkça kullanılmaktadır.

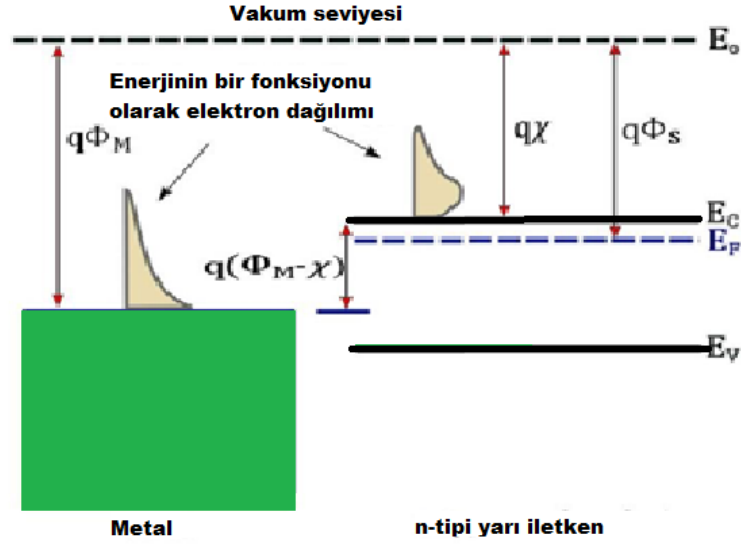
Bu biriktirme tekniğinde, sıvı öncülleri atomizasyon işlemleriyle püskürtülür ve yüksek sıcaklıklarda tutulan substratlar üzerinde termal ayrışma ile yoğunlaşır. Sıcak substrat yüzeyine ulaşan püskürtülen mikro damlacıklar indergo pirolitik ayrışmasını oluşturur ve püskürtülen malzemelerin tek bir kristalitini veya bir kristalit kümesini oluşturur. Püskürtme piroliz, 1910 yılında şeffaf oksit filmleri elde etmek için kullanılmıştır (Busnaina, 2007).

2. METAL-YARI İLETKEN KONTAKLAR

Metal-yarıiletken (MS) kontaklar, çekici özellikleri ve elektronik, optoelektronik ve elektrokimyasal cihazlardaki çoklu uygulamaları nedeniyle önemli bilimsel ve teknik ilgi alanıdır. MS kontakları ya doğrultucu kontak (Schottky kontağı) ya da doğrultucu olmayan kontak (omik kontak) olarak hareket edebilir. Doğrultucu kontak, uygulanan voltajın (bias) polaritesini değiştirirken doğrusal olmayan bir akım-voltaj karakteristiği sergiler. İleri beslemde bir akım geçirir ve geri beslemde bunu engeller, bu da geri beslemde yüksek bir akım direnci anlamına gelir. Omik kontak, uygulanan voltaj polaritesinden bağımsız olarak doğrusal bir I-V karakteristiği sergiler. Bu tür bir davranış, akımın her iki beslemleme yönünde de kolayca ve eşit olarak geçmesine izin veren düşük bir temas direnci gerektirir (Archer ve Atalla, 1963). Her iki kontak da elektronik cihazların performansında önemli bir role sahiptir (Neamen, 2002). Bu bölüm, bariyer oluşum mekanizması, akım taşıma mekanizmaları ve arayüz durumları ve görüntü kuvvetinin düşürülmesi gibi temasın I-V özelliklerini değiştirebilen bazı önemli olaylar dahil olmak üzere MS kontaklarının arka plan fizikini ele almaktadır.

2.1 İdeal Metal Yarı İletken Doğrultucu Kontak

Schottky-Mott modeline dayanarak (2.1)'de gösterildiği gibi temas oluşmadan önce $\Phi_m > \Phi_s$ ile n-tipi bir yarıiletken üzerindeki bir MS teması için enerji bandı diyagramı. Burada, Φ_m ve Φ_s metal ve yarıiletken iş fonksiyonlarıdır (yani, bir elektronu yarıiletkenin metal yüzeyinden vakum seviyesine E_0 Serbest bırakmak için gereken enerji miktarı, bu elektron volt cinsinden ölçülen Fermi ve vakum seviyeleri arasındaki farka eşittir). İletim bandının alt kenarı E_C ile vakum seviyesi E_0 aralığındaki enerji farkı (χ_s) yarıiletken elektron ilgisi olarak bilinir. Metal ve yarıiletken için elektron yoğunluğu dağılımı da Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Yarıiletken elektronlarının enerjilerinin, Fermi seviyelerindeki farklılık nedeniyle, metal elektronlarının enerjilerinden daha yüksek olduğu açıkça görülebilir (Achuthan ve Bhat, 2006). Metal yarıiletkene bağlandığında, termal dengeye ulaşılan ve metal ile yarıiletkenin Fermi seviyeleri birbiriyle hizalanana kadar elektronlar yarıiletkenden metale akmaya başlar. Elektron akışı Şekil 2.2'de gösterildiği gibi yarıiletkende tükenmiş bir bölge oluşturur. Metalin negatif yüklü uzay yükü bölgesinin genişliği, yüksek elektron yoğunluğu nedeniyle bu ölçekte ihmal edilebilecek kadar küçüktür.



Şekil 2.1. Metal-n tipi yarıiletken kontağın kontak yapılmadan önceki şematik enerji bandının diyagramı (Achuthan ve Bhat, 2006).

burada $\Phi_M > \Phi_S$ yarıiletkene kıyasla metaldeki elektronlar. Termal dengede, metal tarafındaki elektronlar için potansiyel bariyer Eşitlik (2.1) bağıntısından belirlenebilir:

$$\Phi_B = \Phi_M - \chi \quad (2.1)$$

Burada;

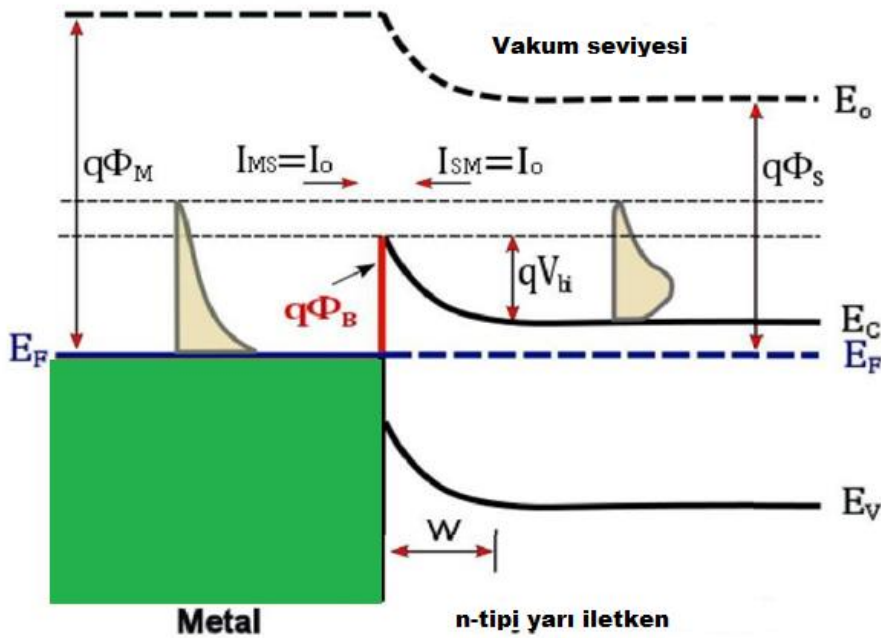
Φ_B : Schottky bariyer yüksekliğidir.

Bununla birlikte elektronlar metalin yarıiletkeni "yerleşik potansiyel" olarak bilinen benzer bir engelle karşı karşıyadır. (V_{bi}). Yerleşik potansiyel bariyer, bağıntıdaki gibi metal ve yarıiletken iş fonksiyonları arasındaki farkla verilir:

$$V_{bi} = \Phi_M - \Phi_S \quad (2.2)$$

Bariyer oluşum süreci Şekil 2.2'de gösterilen enerji bandı şematik diyagramlarında gösterilmektedir. Yarıiletken iş fonksiyonu (Φ_B) metal iş fonksiyonu ile aynı ifadeye sahiptir, ancak Fermi seviyesinin katkılama yoğunluğu ile değişmesi nedeniyle değişken bir

niceliktir (Sharma, 2013). İdeal temaslarda arayüzey durumlarının ve bariyer düşürmenin dikkate alınmadığını belirtmek gerekir. Oluşan bariyerin şekli uzay-yük bölgesindeki yük dağılımından belirlenebilir. Genel olarak bariyer yüksekliği termal voltajdan q/kT daha yüksektir. Bundan da yarıiletkenin uzay yükü bölgesi hareketli taşıyıcılardan boşalır. Böylece yüksek dirence sahip bir alana dönüşür. Schottky tarafından yapılan Orijinal analizde tek düze katkılı bir yarıiletken varsayılmıştır. Dolayısıyla tükenme bölgesindeki yük yoğunluğu tek düze dağılacaktır. Bu uzay-yük bölgesindeki elektrik alan gücünün artan mesafe ile doğrusal artışı, uzay-yük bölgesinin kenarına yaklaşarak parabolik bir bariyer Schottky kontağı oluşturur.

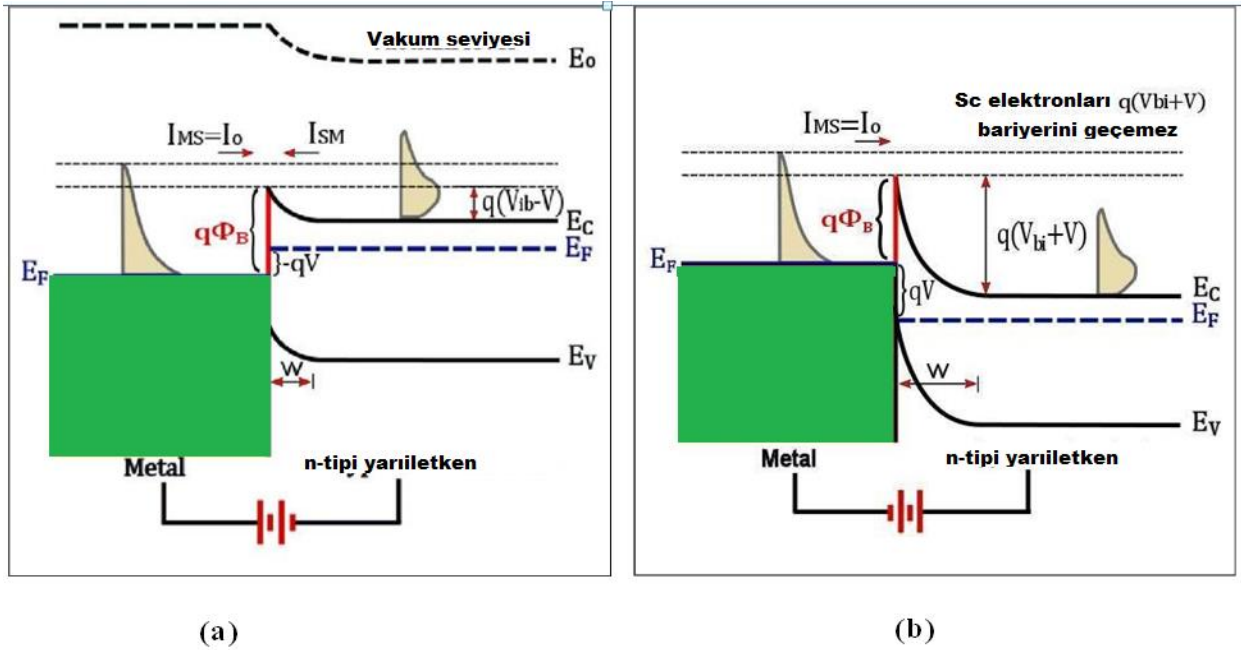


Şekil 2. 2. Metal n-tipinin şematik enerji bandı diyagramı temas oluştuktan sonra yarıiletken. (V_{bi}) yerleşik voltajdır. Termal dengede yarıiletken tükenme bölgesi boyunca $qV_{bi} = q(\Phi_M - \Phi_S)$. W , tükenme bölgesinin genişliğidir (Sharma, 2013).

2.2 Doğru ve Ters Beslem

Termal dengede, Şekil 2.3'te elektronların metalden yarıiletkene geçişinden kaynaklanan (I_{MS}) akımı, elektronların yarıiletkenden metale geçişinden kaynaklanan (I_{SM}) akımına eşittir. Dolayısıyla kontakten geçen net akım sıfırdır. Şekil 2.3 (a)'da gösterildiği gibi n-tipi yarıiletkene metale göre negatif bir voltaj ($-V$) uygulandığında MS kontağı ileri yönde öngerilimlili hale gelir. Bu öngerilimi koşulu altında, tükenme bölgesinin genişliği azalır ve yerleşik potansiyelin değeri (qV_{bi}) termal dengedeki değerinden şu değere düşer

$(V_{bi} - V)$. Bariyerin azalması nedeniyle, daha fazla elektron yarıiletkenden metale kolayca akabilir. I_{SM} akımı, termal dengede $I_{SM} = I_o \exp(V/V_T)$ ilişkisine göre (I_o) değerinin üzerinde üstel olarak artar. Burada V_T termal voltajı temsil eder (kT/q 'a eşittir), (k , T ve q) terimleri sırasıyla boltzmann sabitini, Kelvin cinsinden sıcaklığı ve elektron yükünü temsil eder. Schottky bariyer yüksekliği Φ_B öngerilimi ile sabit kalır ve I_{MS} değeri termal denge değeri (I_o) ile aynı kalır. Bu nedenle, ileri beslemedeki kontak boyunca net akım akışı (I) bağıntı ile ifade edilebilir:



Şekil 2.3. Doğrultucu bir metal n-tipi yarıiletkenin şematik enerji bandı diyagramları (a) doğru besleme (b) ters beslemaltında teması (Sharma, 2013).

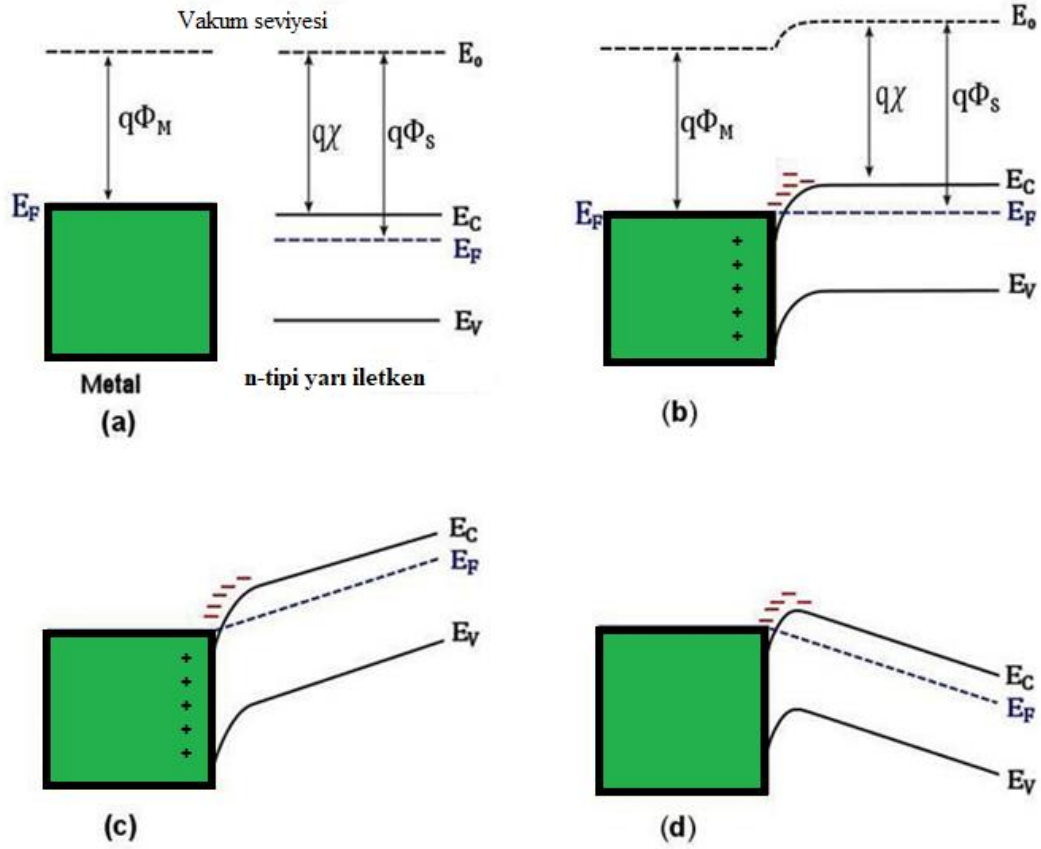
$$I = I_{SM} - I_{MS} = I_o \exp(V/V_T) - I_o = I_o [\exp(V/V_T) - 1] \quad (2.3)$$

Bu durumda, yerleşik potansiyeldeki artış elektronların yarıiletkenden metale akışını engeller. Şekil 2.3b'de gösterildiği gibi metale göre n-tipi yarıiletkene pozitif bir voltaj (V) uygulandığında kontak geri besleme altındadır. Ters Beslemkoşulu altında, tükenme bölgesinin genişliği artar ve yerleşik potansiyelin değeri termal denge (qV_{bi}) değerinden ($V_{bi} + V$) artar. Bu nedenle, yarıiletkenden metale doğru hareket eden elektronların karşılaştığı bariyer yüksekliği artar. Şekil 2.3b'de gösterilen elektron yoğunluğu dağılımı (I_{SM}) bariyerden daha düşük olduğundan birkaç yüz milivoltluk bir beslem yarıiletkenden metale

elektron taşınmasını durdurmak için yeterli olacaktır. Bu nedenle, yarıiletkenlerden metale elektron akışından kaynaklanan akım sıfır olur. Ancak I_{MS} Schottky bariyer yüksekliği Φ_B sabit kaldığından metalden yarıiletkene akan akım I_0 değerinden değişmeden kalır. Bu nedenle, pozitif bir bariyer yüksekliğine sahip MS kontağı, düz besleme altında yüksek bir akım iletirken, ters beslem altında akımı neredeyse bloke eden belirgin bir doğrultma davranışına sahiptir.

2.3 İdeal Metal Yarı İletken Ohmik Kontaklar

$\Phi_M < \Phi_S$ ile n-tipi yarıiletkenler üzerindeki MS temasları için enerji bandı diyagramları dört farklı durumda Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Şekil 2.4a temas kurulmadan önce metal ve yarıiletken bant diyagramını göstermektedir. MS teması oluşturulduktan sonra, elektronlar termal dengeye ulaşılana ve her iki Fermi seviyesi hizalanana kadar metalden yarıiletkene akmaya başlar. Elektronların iletimi metal yüzeyinde pozitif bir yüke neden olacak ve metal yüzeyinde elektronlar Şekil 2.4b'de gösterildiği gibi yarıiletken tarafındaki bir katmanda bulunur. Bu nedenle, tükenme katmanı olmadığından akım yalnızca yarıiletkenin yığın bölgesinin direnci ile sınırlıdır. İletim bandında kısa bir mesafe boyunca küçük bir bükülme birçok elektronu barındırmak için yeterli olacaktır. Bu nedenle, kontak ileri eğilimli olduğunda elektronlar yarıiletkenlerden metale kolayca akabilirken, ters eğilimde uygulanan herhangi bir küçük voltaj elektronların küçük bariyerin üstesinden gelmesine ve metalden yarıiletkene akmasına yardımcı olacaktır. Doğru ve Ters Beslem koşullarının enerji bandı diyagramı Şekil 2.4c ve Şekil 2.4d'de gösterilmektedir. Böyle bir MS kontağına omik kontak denir çünkü her iki yönde de doğrusallığa yakın bir tepki ile iletkendir.



Şekil 2.4. Ohmik metal n-tipi yarıiletkenin enerji bant diyagramları, $\Phi_M < \Phi_S$.
 (a) temastan önce, (b) temastan sonra, (c) ileri besleme ve (b) geri beslem (Rhoderick ve Williams, 1998).

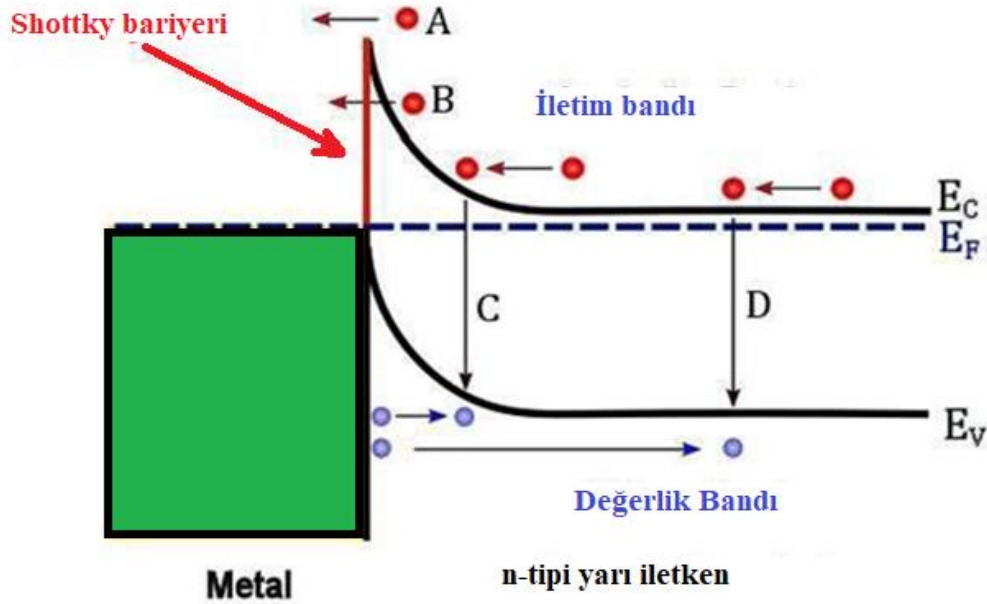
Ohmik kontaklar $\Phi_M > \Phi_S$ yoğun katkılı bir yarıiletken kullanılarak da oluşturulabilir. Yarıiletken için katkılama yoğunluğunun artırılması tükenme bölgesini azaltır ve böylece omik benzeri bir temas oluşturmak için bariyer boyunca tünelleme akımını artırır veya bariyer boyunca akımın termiyonik emisiyondan ziyade tünelleme mekanizması tarafından domine edildiği şeffaf Schottky olarak adlandırılır (Rhoderick ve Williams, 1998).

2.4 Schottky Kontaklarındaki Akım Mekanizmaları

Schottky bariyeri boyunca elektronların ve boşlukların hareketi, elektrik akımının oluşmasına neden olur. Böylece akım akışı, yarıiletkenden metale ve tam tersi yönde hareket eden taşıyıcılardan kaynaklanır. Elektronlar, yarıiletken tarafında enerji seviyeleri yükseltilmiş olduğu için, bu enerji farkını kullanarak enerji bariyerini aşar ve metale doğru akar. Bu elektronların metaldeki serbest elektronlarla yeniden birleşmesi sonucunda elektrik akımı oluşur. Akım taşınımı, ileri beslemde, Şekil 2.5'te gösterilen dört temel mekanizma

aracılığıyla gerçekleşebilir. (A) Termiyonik emisyon (TE) ile elektronların bariyer üzerinden akması, elektronik cihazların çalışmasını sağlayan elektron akışını mümkün kılar. (B) Bariyer boyunca kuantum-mekanik tünelleme, (C) tükenme bölgesinde taşıyıcı rekombinasyonu ve (D) yarıiletkenin nötr bölgesinde taşıyıcı rekombinasyonu. Bir Schottky diyodunun ideal durumu, tamamen termiyonik emisyon akımına dayanır.

Sonuç olarak, Schottky bariyeri boyunca yarıiletken ile metal arasında akım akışı, yarıiletken tarafından metale doğru hareket eden elektronlar ve metalden yarıiletkene doğru hareket eden boşluklar tarafından sağlanır. Diğer akım mekanizmaları katkısı ile ideal davranıştan uzaklaşmaya yol açar (Rhoderick ve Williams, 1998).



Şekil 2.5. Schottky diyotları boyunca akım taşıma mekanizmaları ileri besleme; (A) termiyonik emisyon, (B) tünelleme, (C) taşıyıcı tükenme bölgesinde rekombinasyon, (D) metalden delik enjeksiyonu (Rhoderick ve Williams, 1998).

Yarıiletkenlerde ileri besleme esnasında akım taşınımı, dört temel mekanizma kullanılarak gerçekleştirilir. Bu mekanizmalar; elektronların bariyer üzerinden termiyonik emisyonu, kuantum-mekanik tünelleme, tükenme bölgesinde taşıyıcı rekombinasyonu ve yarıiletkenin nötr bölgesinde taşıyıcı rekombinasyonudur. Schottky diyotun ideal durumunda ise, akım tamamen termiyonik emisyon mekanizması ile taşınır. Ancak, ortalama düzeyde katkı maddesi içeren yarıiletkenlerde termiyonik emisyon oda sıcaklığında baskınken, düşük sıcaklıklarda ve ağır katkılı yarıiletkenlerde ise kuantum mekanik

tünelleme mekanizması baskın hale gelir. Bir bağlantıda dört mekanizmanın bir kombinasyonu kullanılabilir, ancak genellikle sadece bir mekanizma kullanılır.

2.5 Termisyonik Emisyon Mekanizmaları

Termiyonik emisyon, ısı enerjisinin elektronların yüzeyden ayrılmasıyla sonuçlanan bir olaydır. Elektronların yeterli enerjiye sahip olmaları ve enerji bariyerini aşmaları durumunda, yüzeyden serbest bırakılabilirler. Termiyonik emisyon, elektronik cihazlarda ve elektron tüplerinde önemli bir rol oynar. Orta kademe katkılı yarıiletkenler için, termiyonik emisyon TE'nin Schottky kontakları müddetince egemen akım akış mekanizması olduğu varsayılmaktadır. Alan Emisyonu: Bu mekanizma, yüksek elektrik alanlarda elektronların serbest bırakılmasını içerir. Elektrik alan, yüzeydeki elektronlara yeterli enerji sağlar ve bariyeri aşmalarına izin verir. TE teorisine göre, sadece potansiyel bariyerinden daha yüksek enerjilere sahip yük taşıyıcıları bariyerin üstesinden gelebilir ve diyot akımını oluşturabilir. Alan emisyonu, genellikle sivri başlı elektrotlar veya katotlar kullanılmaktadır. Bir Schottky diyotunun ideal I-V özellikleri Denklem (2.4) ile kaliteli bir biçimde tanımlanabilir (Sze ve Mattis, 2008).

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{V}{K_T} \right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

$$I_0 = AA^{**} T^2 \exp((- \Phi_B)/K_T) \quad (2.5)$$

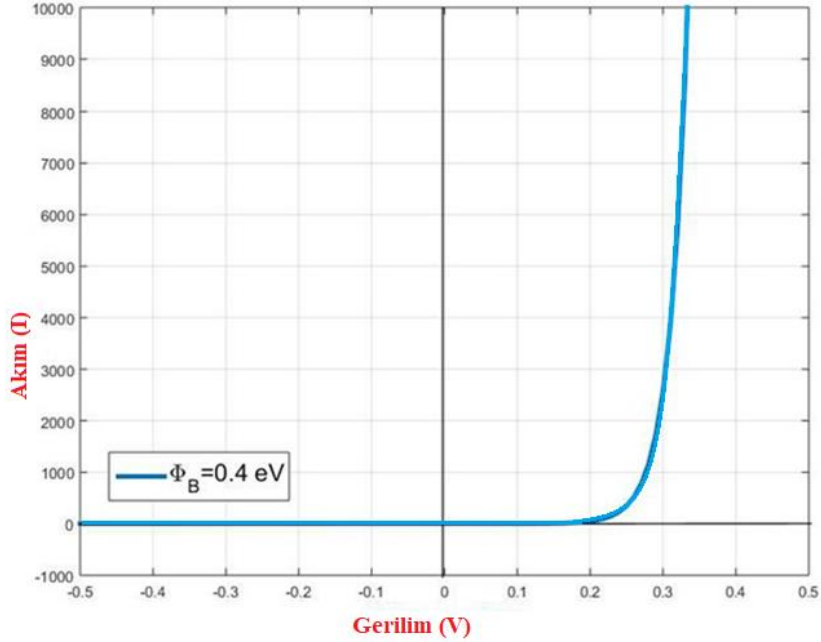
A^{**} sembolü Richardson sabiti olarak adlandırılır ve şu şekilde verilir:

$$A^{**} = \frac{4\pi q k^2}{h^3} \frac{m_n^*}{m_o} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'da ki her bir sabitin değerini yerine koyarak elde ederiz,

$$A^{**} = 120 m^* \frac{A}{cm^2 k^2} cm^2 k^2 \quad (2.7)$$

Richardson sabiti yarıiletken malzemenin bir fonksiyonudur ve elektron etkin kütlesi (m_n^*) vakumdaki gerçeklik dinlenme elektron kütlesinin oranına bağlıdır (m_0). TE kalıbına göre ideal akım gerilim eğrisi Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



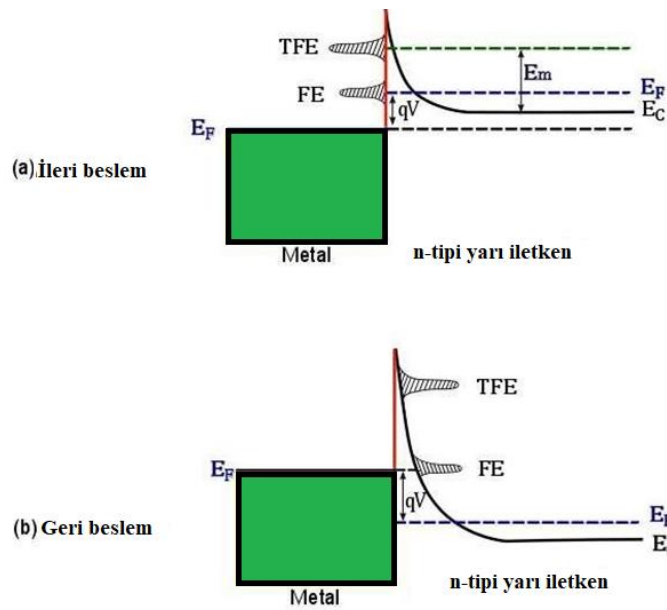
Şekil 2.6. İdeal bir akım-voltaj karakteristiği termiyonik emisyon modeline dayalı olarak üretilmiştir. İçteki çizim yarı log ölçeğinde I-V eğrisini temsil eder (Padovani ve Stratton, 1966).

Diyot akımının ileri beslemede üstel olarak arttığı, ters beslem de ise (V_R) termal enerjiden takribi dört katman daha büyük olduğunda I_o adresinde akımın doyuma ulaştığı açıktır, $V > 4 \frac{q}{KT}$. İdeal bir diyot için, akım-gerilim grafiğinin yarı logu ekteki grafikte gösterildiği gibi eğimi birlik olan düz bir çizgi ile sonuçlanmalıdır.

2.5.1 Tünelleme mekanizması

Energileri bariyer yüksekliğinden daha düşük olan elektronlar, kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla bariyerden geçebilir. Kuantum tünelleme, Fermi seviyesinin iletim tabanının üzerinde olduğu ve sonuç olarak potansiyel bariyerin son derece ince olduğu yoğun katkılı yarıiletkenlerde meydana gelir. Tünelleme, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi hem ileri hem de geri beslem yönlerinde gerçekleşebilir. Düşük sıcaklıklarda, ileri besleme akımı fermi seviyesindeki enerjilere sahip elektronların tünellemesinden kaynaklanır. Böyle bir

mekanizma alan emisyonu (FE) olarak bilinir. Sıcaklık yükseltirse, önemli sayıda elektron fermi seviyesinin üzerinde enerji kazanabilir ve elektronlara daha ince bir bariyer sunulduğu için tünelleme olasılığı artar. Termal olarak uyarılmış elektronlardan kaynaklanan tünelleme mekanizmasına termiyonik alan emisyonu (TFE) denir. Fermi seviyesinin üzerindeki elektronların yoğunluğundaki hızlı düşüş ve bariyer kalınlığındaki azalma nedeniyle, tünelleme olasılığı, belirli bir enerji seviyesinde maksimum değere ulaşana kadar artan sıcaklıkla artar (E_m). Sıcaklıktaki herhangi bir artış, ihmal edilebilir hale gelene kadar TFE'nin kademeli olarak azalmasına yol açarken, TE, termal olarak artan elektron sayısının bir sonucu olarak baskın olmaya başlar.



Şekil 2.7. Alan emisyonu FE ve termiyonik emisyon TFE tünelleme Yoğun katkılı n-tipi yarıiletkenine dayalı Schottky bariyeri. (a) doğru beslem ve (b) ters beslem (Padovani ve Stratton, 1966).

Çıkan elektronlar bariyerin üzerinden geçebilir (Sharma, 2013). Orta derecede katkılı yarıiletkenler için, kuantum-mekanik tünelleme sadece bariyer genişliğinin uygulanan voltajla gittikçe inceldiği bariyerin tepesinde TFE mekanizması şeklinde geri beslemede beklenir.

Tünelleme akımının matematiksel ifadesi Crowell ve Rideout tarafından türetilmiştir (Crowell ve Rideout, 1969). Denklem (2.4) ile verilen I-V karakteristikleri için termiyonik modeli tünelleme akımını içerecek şekilde şu şekilde genişletmişlerdir.

$$I = I_o \exp (qV/E_o) \quad (2.8)$$

Burada tünelleme olasılığı (E_o) şu şekilde verilir

$$E_o = E_{oo} \coth \left(\frac{E_{oo}}{kT} \right) \quad (2.9)$$

Tünelleme parametresi (E_{oo}), malzeme ile ilgili bir enerji sabitidir ve Denklem (2.10) ile hesaplanabilir.

$$E_{oo} = qh/4\pi \left(\frac{N_d}{m^*} \epsilon_s \right) \quad (2.10)$$

Burada;

h : Planck sabiti

ϵ_s : yarıiletken geçirgenliği

: m^{-3} cinsinden ifade edilen donör konsantrasyonu.

Doygunluk akımının değeri I_o aşağıdakilere bağlıdır. Bariyer yüksekliği, sıcaklık ve yarıiletken özellikleri gibi çeşitli faktörler. Ayrıca uygulanan gerilime zayıf bir şekilde bağımlıdır. Enerji sabiti E_{oo} şöyle olabilir termiyonik emisyon ve tünellemenin katkısını belirlemek için kullanılır. Düşük sıcaklıklarda sıcaklığında, E_{oo} enerji sabiti yüksek bir değere sahiptir, bu nedenle $kT/qE_{oo} \ll 1$ ve $E_o \cong E_{oo}$ ve böylece akımın gerilime karşı yarı log grafiğinin eğimi sıcaklıktan bağımsızdır. Bu durum FE'yi ifade eder. Yüksek sıcaklıkta, E_{oo} düşük bir değere sahiptir. Dolayısıyla $kT/qE_{oo} \gg 1$ ve $E_o = kT$ değere sahip olur. Bu nedenle, yarı log grafiğin eğimi akım-gerilim eğrisinin q/kT değerine eşittir. Bu durum TE'yi ifade eder. Orta seviyede sıcaklıklar, $E_{oo} \cong kT$, $kT/qE_{oo} \cong 1$ ve yarı log grafiğin eğimi olarak yazılabilir.

$$\eta = \left(\frac{E_{oo}}{kT} \right) \coth \left(\frac{E_{oo}}{kT} \right) \quad (2.11)$$

Bu durum TFE akımının baskın olduğu durumdur. Bu model TFE'den saf FE'ye yumuşak bir

geçiş sağlar. Çalışmalarının en önemli sonucu, FE'nin sadece yoğun katkılı yarıiletkenlerde meydana geldiği ve ilişkinin düşük voltajlarda I-V karakteristiklerini tahmin edebildiğidir.

2.5.2 Üretim ve rekombinasyon mekanizmaları

Tükenme bölgesinde bir elektron-delik çiftinin oluşumu ve yeniden birleşmesi, bir Schottky diyotun ana akım bileşenine katkıda bulunabilir. Termal dengede, üretilen elektron-delik çiftlerinin oranı rekombinasyon oranına eşittir. Bu nedenle, üretilen elektron-delik çifti sayısının (n_i^2) 'a eşit olduğu net akım sıfırdır. Bariyere voltaj uygulandığında üretim oranı (n_i^2) 'dan ayrılır. Aşağıdakilere bağlı olarak net bir üretim akımı veya net bir rekombinasyon akımı oluşacaktır. öngerilimi yönü. Schottky bariyerine ters Beslemuygulanırsa (n-tipi yarıiletken varsayımıyla), tükenme bölgesinde elektron-delik çifti üretim oranı artar. Bu çiftler, ters akım bileşenini üreten bariyer boyunca elektrik alanının etkisi altında tükenme bölgesinden dışarı enjekte edilecektir. Diyot ileri yönde öngerilimli olduğunda, elektronlar nötr yığın yarıiletkeninden tükenme bölgesine akacak ve delikler metalden dışarı akacaktır. Elektronlar, tükenme bölgesinde birikmeleri nedeniyle deliklerle yeniden birleşerek ileri rekombinasyon akım bileşenini oluşturacaktır. Rekombinasyon ayrıca, en etkili olan orta aralığa yakın enerjilere sahip derin tuzak merkezleri gibi lokalize merkezler tarafından da meydana gelir. Tükenme bölgesindeki rekombinasyon akımı (I_{rg}) bağıntısı ile verilmektedir:

$$I_{rg} = I_{ro} [\exp(\frac{2qV}{2kT}) - 1] \quad (2.12)$$

Burada: $I_{ro} = \frac{qn_i W}{2\tau_o}$ ve (W) tükenme bölgesinin kalınlığı ile ilgilidir ve (τ_o) tükenme bölgesindeki taşıyıcı ömrüdür. Bu nedenle, Schottky diyotu boyunca toplam akım Denklem (2.13) ile verilir.

$$I = I_{TE} - I_{rg} = I_o \left(\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right) + I_{ro} (= I_o [\exp(\exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) - 1]) \quad (2.13)$$

Bazı Schottkydiyotlarında, rekombinasyon akımı ileri beslemedeki ideal olmama durumundan sorumludur, burada $\eta > 1$. Üretim akımı geri beslemedeki doymamış akımın yaygın bir nedenidir ki doyma akımı arasındaki oran (I_{ro}/I_o) tarafından verilir.

$$\frac{I_{gr}}{I_0} = \frac{qn_i}{A^*T^2} \left(\frac{W}{2\tau_0} \right) \exp\left(\frac{\Phi_B}{kT}\right) \quad (2.14)$$

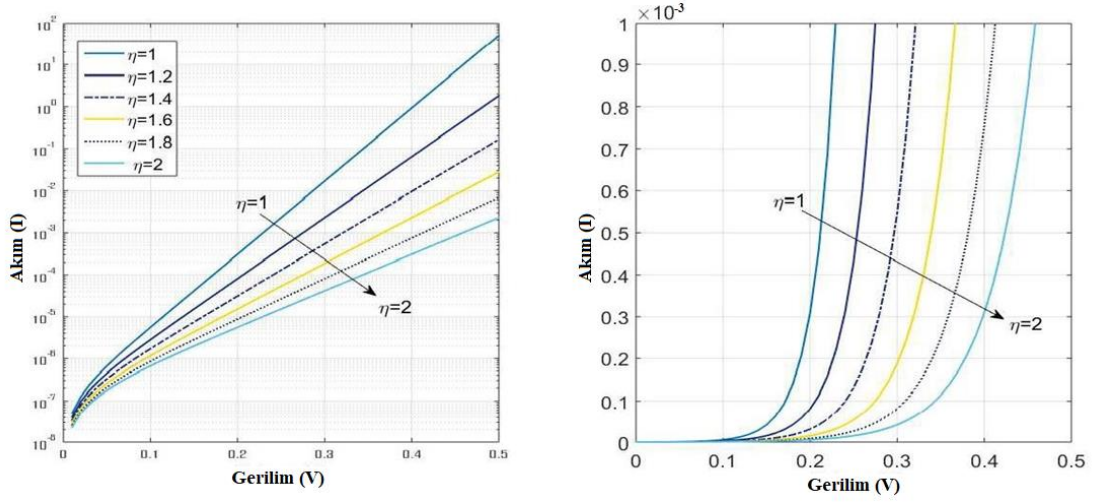
Bu bağıntıya göre, üretim-rekombinasyon akımı aşağıdaki durumlarda daha kritiktir. Hafif katkılı yarıiletkenlere dayanan yüksek bariyerli diyotlar (yani büyük W) ve aktivasyon enerjisi daha düşük olduğu için düşük sıcaklıklarda daha belirgindir.

2.6 Schottky Diyotların İdeal Olmayan Karakteristikleri

Deneyisel olarak, Schottky diyotlarının I-V özelliklerinin çoğu, hem ileri hem de ters Beslemkoşullarında TE modelinin ideal durumundan sapmaktadır. Termiyonik I-V modeli deneye dayalı bilgilere uyulacak biçimde değiştirilmelidir. İdeal Schottky diyot denkleminin (1.4) üstel terimini aşağıdaki ifadede olduğu gibi idealite olarak bilinen bu faktör (η) eklenmiştir (Sharma, 2013).

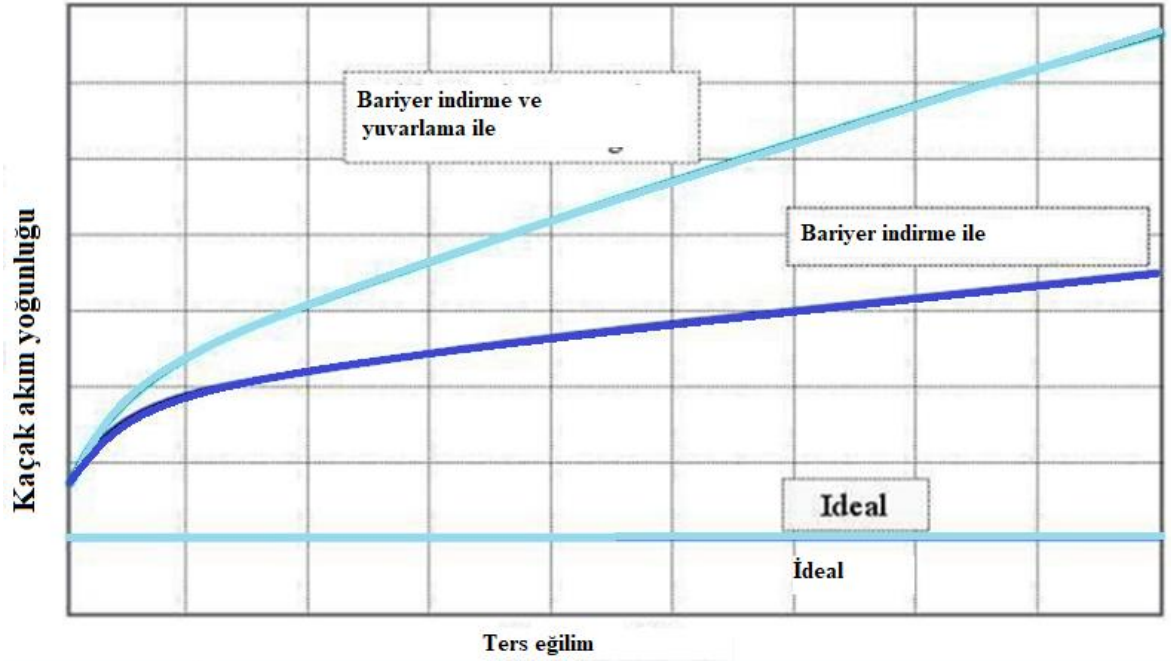
$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{\eta kT}\right) - 1 \right] \quad (2.15)$$

Saf termiyonik akımın varsayıldığı ideal bir MS kontağı için idealite faktörü $\eta = 1$ olarak kabul edilir, yani birlik değerini alır. Ancak, birçok faktör idealite faktörünü birim değerinin üzerine çıkarabilir. Tung, aynı cinsten olmayan bariyer teorisiyle ilgili olarak, yüksek idealite faktörünün varlığını, uzamsal olarak homojen olmayan bir MS arayüzünde oluşan düşük yüzey bariyer yüksekliklerinin geniş bir dağılımına bağlamıştır (Tung, 1992). Bahsettiğiniz faktörlerden bazıları, tünelleme ve nesil rekombinasyonu gibi diğer akım mekanizmalarının diyot toplam akımına katkısından kaynaklanmaktadır. Bu mekanizmalar, idealite faktörünü birim değerinden yukarı çekebilir. Diğer faktörler ise bariyer yüksekliğinin bias bağımlılığına ve görüntü kuvveti etkisine bağlanmaktadır. Bu faktörler, idealite faktörünün değerini etkileyerek birliğin ötesine çıkmasına neden olabilir (Tung, 1991). I-V karakteristiklerinin ileri beslemedeki artan idealite faktörü ile değişimi Şekil 2.10'da gösterilmiştir. İdealite faktörü arttıkça akım yoğunluğunun azaldığı açıktır (Tung, 1993). Şekil 2.8'de İdealite faktörünün I-V karakteristik değerleri verilmiştir.



Şekil 2.8 . İdealite faktörünün farklı değerlerinde ileri beslemde simüle edilmiş I-V karakteristikleri (a) yarı log ölçek ve (b) normal ölçek. $\Phi_B = 0.3 \text{ eV}$ ve $A^{**} = 1.68 \text{ A cm}^{-2}\text{K}^{-2}$ dikkate alınmıştır (Tung, 1993).

Bir başka ideal olmayan durum da geri beslemde olabilir; burada geri beslemdeki akım artmaya devam eder ve I_o değerinde doygunluğa ulaşmaz. Geri beslemdeki doymamış akım ekseriyetle iki ana etkiyle açıklanır. Birinci etken, görüntü kuvveti etkisinden veya metal ile yarıiletken arasında ince bir arayüzey katmanının varlığından kaynaklanan bariyerin düşürülmesidir. Kuantum mekaniksel tünelleme (FE ve TFE), uygulanan voltaj ile kaçak akımdaki aşırı artışın ikinci nedenidir. Orta derecede geri beslemde, potansiyel bariyer yeterince ince hale gelir, böylece elektronlar bariyerin tepesine ulaşmadan öncelikle yarıiletkenle tünel açabilir. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi bazı yarıiletkenlerde bariyerin alçalması ve tünelleme akımının ters beslem akımına katkısı son derece yüksek olabilir.



Şekil 2.9. Bariyer düşürme ve kuantum mekaniksel tünellemenin Schottky diyotun ters I-V karakteristikleri üzerindeki etkileri (Milnes, 2012).

2.7 Bariyer Potansiyelinde Yapılan Değişiklikler

Şimdiye kadar, Schottky bariyerinin yüksekliğinin uygulanan herhangi bir voltaj koşulunda sabit kaldığı varsayılmıştır. Bununla birlikte, bariyer yüksekliğinin hem ileri hem de geri beslem koşullarında besleme bağlı bir fonksiyon olabileceği bulunmuştur. Bazı pratik diyotlarda (ξ) yarıiletken yüzeyindeki yüksek elektriksel alan nedeniyle bariyer yüksekliği azalır (Milnes, 2012). Bariyer yüksekliğinin beslem bağımlılığı, ters akımın doyuma ulaşmayacağı ve bozulmaya kadar artmaya devam edeceği ileri beslemeden ziyade ters Beslem yönünde daha önemlidir.

Öngörilmeye bağlı bariyer yüksekliği üç ana etkiye bağlanabilir; görüntü kuvveti düşürme; arayüzey katman; ve metal kaynaklı boşluk (MIG) durumları. Tüm bu etkiler şu sonuçları öngörür Φ_B bağlantı noktasındaki elektrik alan şiddetinin (ξ) azalan bir fonksiyonu olmalıdır. Elektrik alan şiddeti geri beslemde daha yüksek olduğundan ve ters gerilimin artan bir fonksiyonu olduğundan, bu durum Φ_B geri beslemin artmasıyla azalmasına neden olur. Bu nedenle, geriye doğru akım $\exp(q\Delta\Phi_B/kt)$ ifadesini takip ederek artmaya devam edecektir.

2.7.1 Görüntü gücü düşürme

Bir metal-yarıiletken temasında, bir elektronun metalden yarıiletkene enjekte edilmesi, metal içinde eşit bir pozitif görüntü yükü indükler. İndüklenen pozitif görüntü yükü, elektronu bir Coulomb çekim kuvveti ile metale geri çekme eğilimindedir ($q^2/(4\pi\epsilon_s(2x)^2 = q^2/16\pi\epsilon_s x^2)$), burada (x) elektron ile yüzey arasındaki mesafedir ve (ξ_{IF}) denklem (2.16)'daki gibi ifade edilebilen çekim kuvveti nedeniyle iki parçacığın karşılık gelen elektrik alanıdır, burada, (ϵ_s) yarıiletken geçirgenliğidir.

$$\xi_{IF}(x) = -\frac{F(x)}{q} = -\frac{q}{16\pi\epsilon_s x^2} \quad (2.16)$$

Elektrik alanının eşdeğer potansiyel enerjisi eşittir:

$$V_{IF}(x) = -\int_x^\infty \xi_{IF}(x) dx = -\frac{q}{16\pi\epsilon_s x^2} \quad (2.17)$$

Ortaya çıkan görüntü potansiyel enerjisi, Schottky bariyerinin potansiyel enerjisi, tükenme bölgesi içindeki potansiyel ile birleştirilmelidir ve yüzey yakınında maksimum değerle sabit olduğu varsayılır (ξ_{max}):

$$\sqrt{\frac{2qN_d(\phi_B - E_{CF} + V_a)}{\epsilon_s}} \quad (2.18)$$

Bu nedenle, harici bir düzgün elektrik alanının varlığında (ξ_{max}) metal yarıiletken arayüzünden herhangi bir mesafedeki toplam $\Phi(x)$ elektrostatik potansiyel (x) şekilde verilir.

$$\Phi(x) = -q\xi_{max} - \frac{q^2}{16\pi\epsilon_s x} \quad (2.19)$$

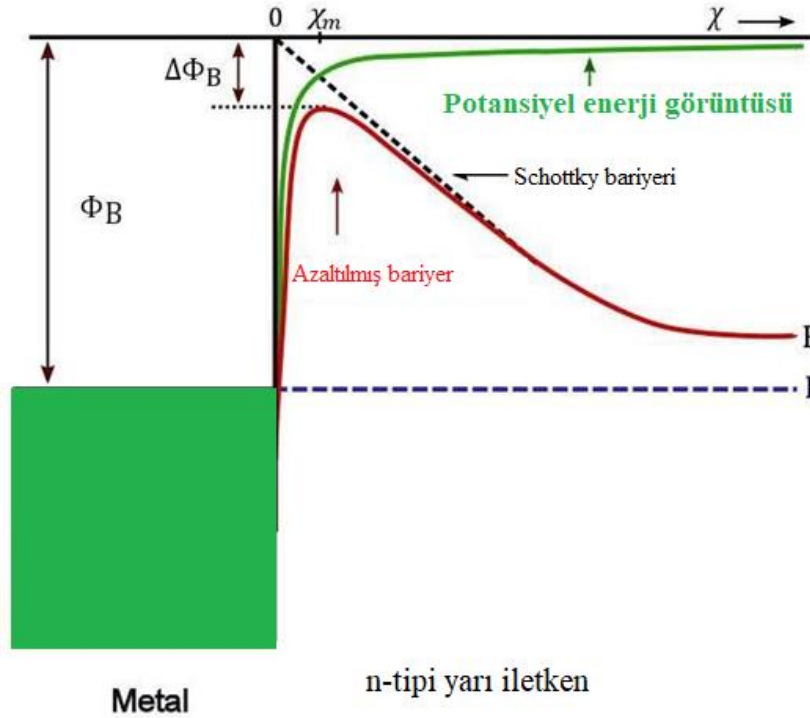
Maksimum bariyer yüksekliği, görüntü yük kuvvetinin elektrostatik alanının ve tükenme bölgesinin birbirini iptal ettiği metal yarıiletken arayüzünden (x_m) uzaklığında meydana gelir. Bu durum Şekil 2.10'da gösterilmiştir ve şu şekilde açıklanmaktadır.

$$\frac{q}{16\pi\epsilon_s x_m^2} = \xi_{max} \quad (2.20)$$

Buna uygun olarak, maksimum bariyer potansiyeli azalması şu şekilde verilebilir.

$$\Delta\phi_B = x_m \xi_{max} + \frac{q}{16\pi\epsilon_s x_m^2} = \xi_{max} = 2x_m \xi_{max} \quad (2.21)$$

Denklem (2.18) ve (2.21)'de dayanarak, bariyer azalmasının uygulanan gerilime, yarıiletken dielektrik sabitine, yarıiletkenin katkılama konsantrasyonuna (N_d) ve Fermi seviyesi ile yarıiletkenin iletim bandının kenarı arasındaki farka bağlı olduğu açıktır. Bu nedenle, termiyonik emisyonun doygunluk akımı öngerilimiya bağlı hale gelir ve geri besleme akımı doygunluğa ulaşmaz (Urban, 2010).

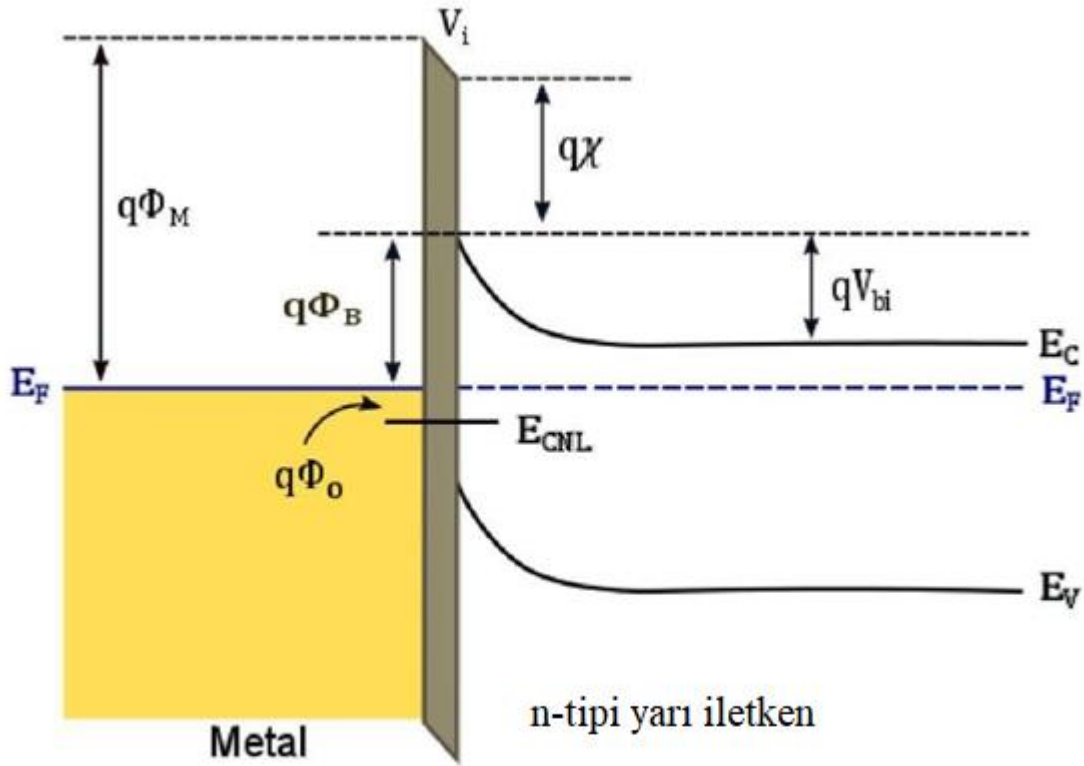


Şekil 2.10. Schottky bariyerini gösteren enerji bandı diyagramı görüntü kuvveti etkisi nedeniyle düşmektedir (Urban, 2010).

2.7.2 Arayüzey katmanları

Gerçek dünyadaki bileşik yarıiletken Schottky diyotların çoğunda, metal ve yarıiletken

arasına sıkıştırılmış 10-30 Å kalınlığında bir arayüzey oksit tabakası vardır. Yarıiletkenlerin yüzeyinde oksit tabakalarının oluşumu havaya maruz kalmaya bağlanır (çoğu zaman nemden kaynaklanır). MS kontağındaki arayüzey oksit tabakası, diyot performansını değiştirebilen bir yalıtkan tabaka görevi görür. Bir yalıtkan tabaka varlığında MS kontağının enerji bandı diyagramı Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Yalıtkan tabakanın enerji bandı diyagramını değiştirdiği ve Schottky diyot performansını etkilediği açıktır. Hem bariyer yüksekliği hem de idealite faktörü bu katmandan farklı şekillerde etkilenebilir. Yalıtkan tabakanın (ξ) varlığında, yarıiletkendeki bir elektrik alanı yalıtkan tabaka boyunca (V_i) potansiyeli değiştirir ve bariyer yüksekliğini değiştirir. Yalıtkan tabaka boyunca voltaj düşüşü nedeniyle, sıfır beslemdeki Schottky bariyer yüksekliği, arayüzey tabakası olmadan olacağından daha düşüktür. Dolayısıyla, bir arayüzey tabakasının varlığında bariyer yüksekliği şu şekilde ifade edilebilir:



Şekil 2.11. Çok ince bir metal-yarıiletken temasının enerji bandı diyagramı ileri beslemde yalıtkan arayüzey tabakası (Urban, 2010).

$$\Phi_B = \Phi_M - \chi - V_i \quad (2.22)$$

Yarıiletkende elektrik maksimum elektrik alanı terimindeki bariyer azalması şu şekilde yazılabilir.

$$\Phi_B = \Phi_B^0 - \alpha \xi_{max} \quad (2.23)$$

Burada (ϕ_B^0) sıfır beslemdeki bariyer yüksekliğidir ve $\alpha = \frac{\delta \epsilon_s}{\epsilon_i + q \delta D_s}$ bariyer yüksekliğindeki azalma yarıiletkendeki (ξ_{max}) maksimum elektrik alanına bağlıdır ve bu ifade (D_s) arayüzey durumlarının yoğunluğu tüm enerji boyunca sabit kalırsa uygulanan herhangi bir voltaj için geçerlidir. Ayrıca (ϵ_i) düşük dielektrik sabitine sahip arayüzey katmanları için bariyer azalmasının daha yüksek olduğu açıktır.

Arayüzey tabakası bir tünel bariyeri gibi davranır ve akım akışını kısıtlamaya başlayacağı belirli bir gerilime kadar düşük ileri gerilimlerdeki akım akışını kısıtlamayacak şekilde çok ince olduğu varsayılır. Bu davranış Schottky diyot için η daha yüksek bir idealite faktörüne yol açar. Deneysel sonuçlar artan oksit kalınlığı ile artan değerler göstermektedir. 20 Å arayüzey katmanları η genellikle 1.3 – 1.5 değerini aralığına yükseltir. İleri öngerilimi uygulandığında, tükenme bölgesi azalmaya başlar ve sonuç olarak hem elektrik alanı hem de voltaj düşüşü yalıtım katmanı boyunca azalır ve uygulanan voltajla bariyer yüksekliğinde bir değişikliğe neden olur ($\frac{\partial \Phi_B}{q \partial V}$). Bu varyasyon, aşağıdaki şekilde verilen idealite faktörü cinsinden ifade edilir.

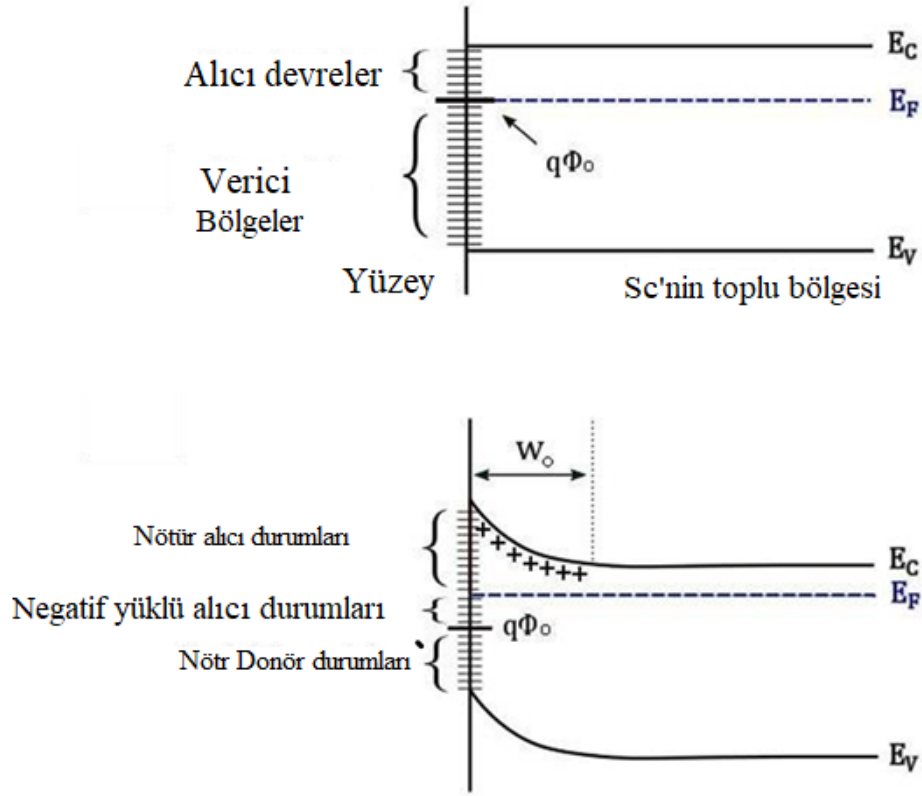
$$\eta^{-1} = (1 - \frac{\partial \Phi_B}{q \partial V}) \quad (2.24)$$

Bu nedenle, yalnızca yarıiletken-oksit arayüzündeki oksit enerji durumları düzgün bir şekilde dağılmışsa öngerilimden bağımsızdır. Ters Beslemkoşulunda, bir yalıtkan tabakanın varlığında bariyer yüksekliğindeki azalma, ters akımın doygunluğunun engellenmesine yol açar. Bariyer yüksekliğinin azalması nedeniyle, daha kalın bir yalıtkan tabakaya sahip diyotlar için ters akım, ultra ince bir tabakaya sahip diyotlardan daha yüksek olabilir. Bu

durumda, elektronlar yalıtım bariyeri boyunca tünellemelidir, ancak bariyer azalmasının etkisi daha belirgindir.

2.7.3 Yüzey durumları

Deneyssel olarak, bariyer yüksekliğinin Φ metal iş fonksiyonunun Φ_M denklem (2.2)'nin önerdiğinden daha az hassas bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Φ_M üzerindeki bu zayıf bağımlılık ilk olarak Bardeen tarafından açıklanmış ve bu tutarsızlığı yarıiletken yüzeyinde yüksek yoğunlukta yüzey durumlarının varlığına bağlamıştır. Yüksek yoğunlukta yüzey durumlarına sahip MS kontakları için, Fermi seviyesi konumunun yarıiletkenin bant boşluğu içinde bir seviyede sabitlendiğine ve Φ_M 'dan bağımsız hale geldiğine inanılmaktadır. Yüzey durumları, kristal periyodikliğinin kesintiye uğraması nedeniyle yarıiletken yüzeyindeki sarkan bağlardan kaynaklanır. Bu enerji durumları, Fermi seviyesine göre konumlarına bağlı olarak dolu veya boş olabilir. Yüzey durumları Şekil 2.12'de gösterildiği gibi nötr bir seviye ($q\Phi_0$) veya yük nötr seviyesi (CNL) (valans bandının kenarından ölçülür) ile karakterize edilir. Enerji durumları yukarıdaki bir enerji seviyesine kadar işgal edilirse, yüzey negatif yüklü olur ve yüzey durumları alıcı olarak hareket eder. Ayrıca, enerji durumları aşağıdaki bir enerji seviyesine kadar işgal edildiğinde, yüzey pozitif yüklü olur.



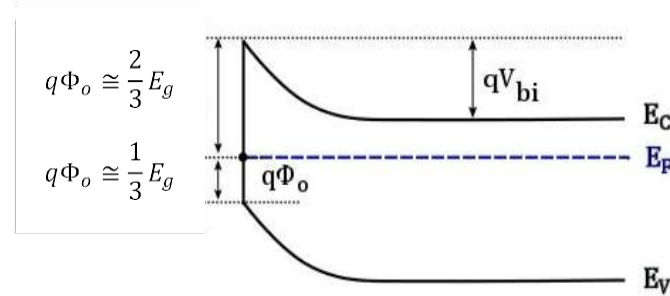
Şekil 2.12. Yüzey durumları dağılımını gösteren enerji bandı diyagramı yarıiletken yüzeyindeki bant aralığı (a) Nötr seviye Fermi ile çakışır seviyesindedir. (b) n-tipi yarıiletken, nötr seviye Fermi seviyesinin altındadır (Wilmsen, 2013).

Yüzey durumları donör olarak hareket eder (Wilmsen, 2013). Bariyer yüksekliği, yük-nötr seviyesinin fermi seviyesine olan konumuna bağlı olarak artacak veya azalacaktır. Yük nötr seviyesi $q\Phi_0$ Fermi seviyesinin üzerinde yer alıyorsa, yüzey durumları alıcı olarak davranır ve aşağı doğru bant bükülmesini azaltır. Fermi seviyesinin altında yer alıyorsa, $q\Phi_0$ yüzey durumları verici olarak davranır ve aşağı doğru bant bükülmesini artırır. Buna göre, Fermi seviyesi, nötr seviyenin etrafındaki yüzey durumları tarafından yüzeyde sabitlenir. Böylece, oluşan bariyer yüksekliği ideal Schottky-Mott modelinden ayrılır ve ifadedeki gibi yeniden biçimlendirilebilir:

$$q\Phi_B = E_g - q\Phi_0 \quad (2.25)$$

Yük-nötr seviyesinin valans bandına konumu, yarıiletken ve yüzey durumlarının bir fonksiyonudur. Genel olarak, yük-nötr seviyesinin enerji boşluğunun üçte birinde ($1/3E_g$),

elektronların bariyer yüksekliklerini 0,75 eV ve deliklerin 0,37 eV civarında sabitlediği bulunmuştur (Cowley ve Sze, 1965). Donör seviyesi iletim bandından uzakta bulunduğunda, derin donör seviyesi olarak adlandırılır. Buna karşılık, alıcı seviyesi valans bandının kenarından uzakta bulunduğunda, derin alıcı seviyesi olarak adlandırılır. Bunlar, sırasıyla iletim ve valans bantlarının kenarlarına yakın olduklarında sıg donör ve sıg alıcı seviyelerinden farklıdır (Achuthan, ve Bhat, 2012). Silikon ve GaAs gibi n-tipi yarıiletkenler için yük nötr seviyesi ($q\Phi_o$) bant aralığının üçte biri civarındadır. Bu nedenle, Φ_B değeri (Φ_M) değerinden bağımsızdır ve Şekil 2.13'te gösterildiği gibi n-tipi yarıiletkenler için enerji aralığının yaklaşık üçte ikisine eşittir. Böylece, bariyer



Şekil 2.13. Fermi seviyesini gösteren enerji bantı diyagramı yüksek yoğunluklu n-tipi yarıiletken üzerinde MS kontağında sabitleme yüzey durumları (Achuthan, ve Bhat, 2012).

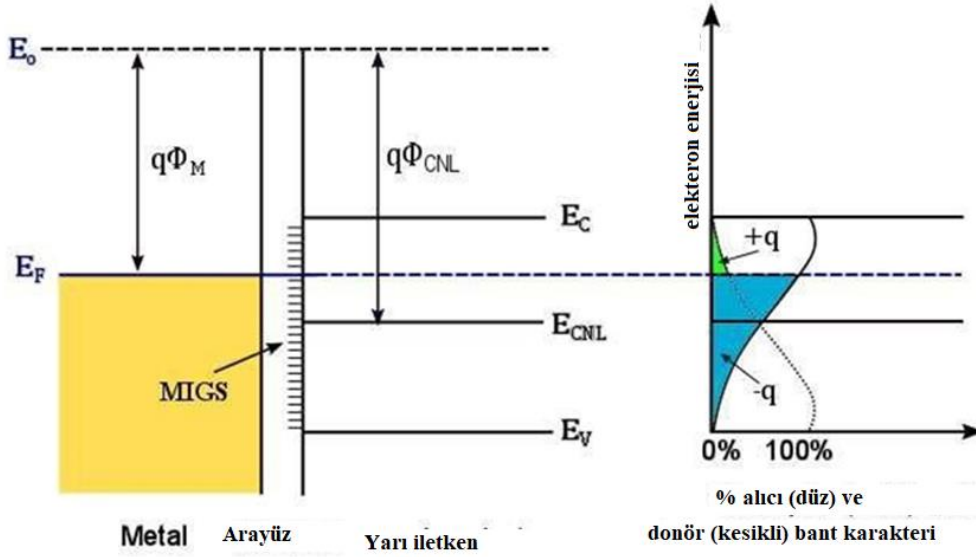
n-tipi yarıiletkenlerde Φ_B yüksekliği her zaman yüksektir. Ancak Φ_B p-tipi yarıiletkenlerde her zaman düşüktür. Yüzey durumlarının yoğunluğu yüksek olan III-V yarıiletkenlerde Schottky bariyer yüksekliklerinin deneysel ölçümleri (yani, $Dii = 10^{13} \text{ states/cm}^2\text{eV}$) (Li, 2012), bu varsayım ile iyi bir uyum göstermiştir. n-tipi yarıiletkenlere dayanan MS kontaklarının, metal iş fonksiyonundan bağımsız olarak doğrultucu kontaklar oluşturması beklenir.

2.7.4. Metal kaynaklı boşluk durumları

Yüksek kusur yoğunluğuna sahip bir arayüzey tabakası ile MS arayüzeyinde bulunan yüzey durumlarının Fermi seviyesi sabitlenmesinin birincil nedeni olduğu varsayılmıştır. Bununla birlikte, Fermi seviyesi sabitlenmesi yakın MS arayüzeylerinde de gözlemlenmiştir. Heine'nin yüzey durumları teorisine göre (Heine, 1965), bir MS temasındaki yüzey

durumları yalnızca yarıiletkenle ilgili değil, metal ve yarıiletken yüzey arasındaki etkileşimin sonucu olmalıdır. Yarıiletkenin yasak boşluğuna eşdeğer enerjilere sahip metal elektronunun dalga fonksiyonunun yarıiletkene doğru üstel olarak bozunacağını öne sürmüştür. Bu, yasak boşlukta metal kaynaklı boşluk durumları metal kaynaklı boşluk durumları olarak bilinen ve Fermi seviyesi pining'ine yol açabilen bir yüzey durumları sürekliliğine neden olur. Dalga fonksiyonlarının üstel kuyrukları, negatif yüklerin metalden yarıiletkene transferini temsil eder. Valans bandına yakın metal kaynaklı boşluk durumları donör olarak hareket ederken, iletim bandına yakın metal kaynaklı boşluk durumları alıcı olarak hareket eder. Şekil 2.14'te metal kaynaklı boşluk durumları, yük nötr seviyesindeki konumlarına karşılık gelen donör benzeri yükler veya alıcı benzeri yükler olabilir (E_{CNL}). İçsel yüzey durumlarının varlığı nedeniyle, yükler arayüzey boyunca hareket eder ve metal kaynaklı boşluk durumları durumlarını işgal eder. Alıcı benzeri durumların işgal edilmesi net bir negatif yükü sonuçlanırken, donör benzeri durumların boş bırakılması net bir pozitif yükü sonuçlanır. Böylece, metal kaynaklı boşluk durumları'nın doldurulması, bant çizgisini sıfır dipol yükü veren nötr bir konuma doğru zorlama eğiliminde olan bir dipol oluşturur. Şekil 2.14 (b) metalin Fermi seviyesinin (E_{CNL}) üzerinde olduğu durumu göstermektedir, böylece yarıiletken tarafında negatif yüklü olan yaratılan dipol E_F Fermi seviyesini (E_{CNL}) doğru hareket etmeye zorlar ve onunla aynı hizaya gelir. Fermi seviyesinin metal kaynaklı boşluk durumları tarafından (Φ_{CNL})'da sabitlenmesi ile Schottky bariyer yüksekliği ifadedeki gibi değiştirilir (Mönch, 1999).

$$\Phi_B = E_{CNL} - S(x_m - x_s) \quad (2.26)$$



Şekil 2.14. (A) Enerji bandı diyagramı ve (b) yük nötrallite seviyesi E_{CNL} 'yi gösteren bir metal yarıiletken kontaktındaki metal kaynaklı boşluk durumları'nın yüklenme karakteri. E_C 'ye yakın metal kaynaklı boşluk durumları alıcı benzeri iken, E_V 'ye yakın metal kaynaklı boşluk durumları donör benzeridir. alıcı benzeri durumların doldurulması negatif yükle (yeşil gölgeli alan) sonuçlanırken, donör benzeri durumların boş bırakılması pozitif yükle (mavi gölgeli alan) sonuçlanır (yeo, 2004).

Elektronegatiflikler çeşitli yarıiletkenlerde Fermi seviyesi sabitlemesi, sabitleme faktörü olarak bilinen ve şu şekilde ifade edilen bir parametre aracılığıyla belirlenebilir. Burada tipik olarak, S değeri daha küçük değerlere sahip olur.

$$S = \partial \Phi_B / \partial \Phi_M \quad (2.27)$$

Tipik olarak, (S) $0 \leq S \leq 1$ değerlerine sahip olabilir, burada daha küçük S değerine sahip malzeme güçlü Fermi seviyesi sabitleme ve tam tersi. Güçlü FL sabitleme arayüzleri durumunda, diyot Bardeen limitine yaklaşır, $S = 0$, burada Φ_B değeri bağımsızdır Φ_M . Güçlü Fermi seviyesi sabitlemesi, Φ_M 'yi aşan yüzey durumu yoğunluklarında kanıtlanmıştır. $10^{13} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ (Bardeen, 1947). Zayıf bir FL sabitlemesi için diyot Schottky-Mott sınırı, $S = 1$, burada Φ_B ideal durumda olduğu gibi Φ_M 'ye bağlıdır.

Metal kaynaklı boşluk durumları teorisi aracılığıyla yarıiletken katkısını ve elektronegatiflik farkları aracılığıyla metal ve yarıiletken katkılarını açıklar. Schottky bariyer yüksekliği esas olarak (E_{CNL} , yarıiletkenin bir özelliği) ve MS elektronegatiflik farkından kaynaklanan yüzey dipolü tarafından belirlenir.

2.7.5. İdealite faktörü

Schottky diyot için termiyonik emisyonun basit I-V modeline göre, idealite faktörü birimdir. Bununla birlikte birçok faktör diyotun ideal durumdan ayrılmasına katkıda bulunabilir ve ideallığı birliğin üzerine çıkarabilir. Örneğin, görüntü kuvveti etkisi idealite faktöründe hafif bir artışa yol açar, biri $\eta = 1.02$ için $N_D = 10^{17} \text{cm}^{-3}$ elde edilir (Rhoderick ve Williams, 1988). Metal ve kaplama arasında bir arayüzey tabakasının varlığı yarıiletkenin idealite faktörü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Örneğin, bir katman 20 Å kalınlık normalde $\eta \cong 1,3 - 1,5$ değerine yol açacaktır (Padovani ve Stratton, 1966). Bir idealite faktörü 2'nin üzerindeki değerler oda sıcaklığında tuzak (gizli) destekli tünellemeye atfedilmiştir (Casey ve ark., 1996). Bir kuantum mekaniksel tünelleme (FE ve TFE) veya taşıyıcının önemli katkısı Schottky diyot akımındaki rekombinasyon, sıcaklığa bağlı bir idealite ile sonuçlanan faktördür. Tamamen termiyonik emisyon akımından beklenenin aksine, sıcaklıktan bağımsızdır. Bariyer yüksekliğinin homojen olmaması, sıcaklıktan bağımsız olarak azalan sıcaklıkla birlikte idealite faktöründe anormal bir artışa yol açar (Kumar ve ark., 2013). Bununla birlikte, sıcaklığa bağlı bir idealite faktörü de gözlemlenmiştir. Bu akım mekanizmalarının yokluğunda ve bazı diyotlarda bu sıcaklık bağımlılığı (η) bağıntısını takip eder (Padovani ve Sumner, 1965).

$$\eta = \left(1 + \frac{T_o}{T}\right) \quad (2.28)$$

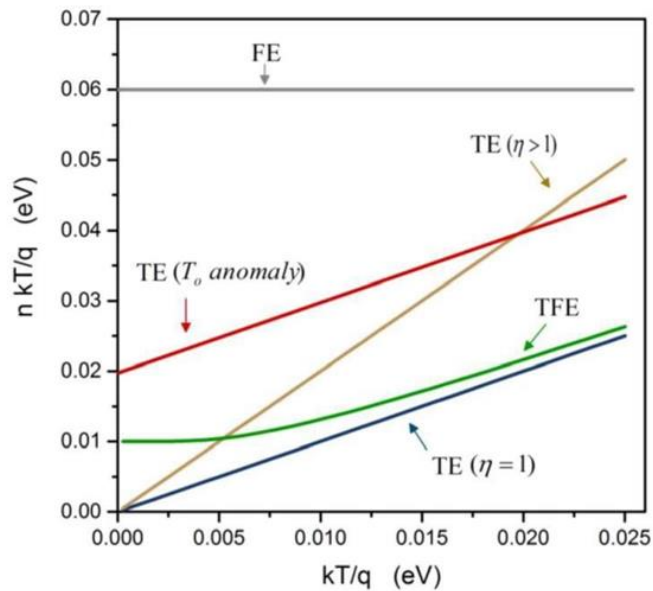
Burada;

(T_o) : erişim sıcaklığı

Tipik olarak 10-60 K (Wolf ve Yip, 1992). Bu davranış " T_o etkisi" olarak bilinir. Levine, T_o etkisini arayüzey durumlarının üstel dağılımının varlığına bağlamıştır (Levine, 1971). Bununla birlikte, bir arayüzey tabakasının varlığına bağlı olan bu analiz reddedilmiştir çünkü T_o etkisi aynı zamanda yakın SB temaslarında gözlemlenmiştir (Wolf ve Yip, 1992). Farklı sıcaklıklardaki I-V ölçümlerinin, belirli bir Schot'un η 'nın sıcaklıkla değişiminin akım taşıma mekanizmasını tanımlamak için kullanılabileceği önerilmiştir. (I-V-T) ölçümünü gözlemleyerek sıcaklığa bağlı akım voltajı tky diyotundan, idealite faktörü her bir sıcaklıkta değerlendirilebilir ve daha sonra Şekil 2.15'te gösterildiği gibi T'ye karşı ηT grafiği olarak temsil edilebilir. FE baskınsa, tünelleme sabiti, $\eta kT/q$, düz bir çizgi olurken, TFE için düşük

sıcaklıkta zayıf bir sıcaklık bağımlılığı vardır ve sıcaklık arttıkça artar. TE'nin baskın mekanizma olduğu durumda, $\eta kT/q$ üç farklı koşul için güçlü bir sıcaklık bağımlılığı gösterir: $\eta = 1$ olduğu ideal bir diyot; ideal olmayan diyot burada $\eta > 1$ ve T_0 etkisi gösterir.

Görüntü kuvvetinin azalması, TFE ve jenerasyon/rekombinasyon akımı nedeniyle idealite faktöründeki artış deneysel ölçümlerden değerlendirilebilir ve bu mekanizmalarla ilgili maksimum idealite faktörü tahmin edilebilir. Bununla birlikte, idealite faktörlerinin deneysel değerleri genellikle tahmin edilen değerleri çok aşmakta ve idealite faktörlerini birliğin üzerine çıkaran birincil nedenin arayüzey durumları olduğu varsayımını güçlendirmektedir. Arayüz durumları nedeniyle idealite faktörünün anormal davranışını açıklığa kavuşturmak için iki fikir önerilmiştir. İnce bir yalıtkan tabakaya sahip bir diyot MIS modeli ve metal kaynaklı boşluk durumları modelinin yakın teması. Bir arayüzey tabakasının varlığında bir diyoda ileri besleme uygulanması, yarıiletken tipine bağlı olarak yalıtkan-yarıiletken arayüzeyindeki negatif yükün artmasına veya azalmasına ve böylece beslem ile bariyer yüksekliğinin artmasına ve idealite faktörünün artmasına neden olur. Ancak, bu varsayımın sonucu Schottky bariyer yüksekliklerinin sıcaklığa bağımlılığı ile uyuşmamaktadır. Ayrıca, arayüzey durumlarının beklenmediği tavanmış temasların yanı sıra yakın temaslarda da büyük idealite faktörleri gözlemlenmiştir. Yakın temaslarda, η 'nin bandı metal kaynaklı boşluk durumları da yüksek idealite faktörlerine yol açar.



Şekil 2.15. $\eta kT/q$ 'nin bir fonksiyonu olarak $\eta kT/q$ 'nin teorik olarak oluşturulmuş grafikleri mevcut taşıma mekanizmalarının beş farklı kategorisini temsil etmektedir FE, TFE ve TE farklı koşullarda $\eta=1$, $\eta>1$ ve, T_0 etkisi (Levine, 1971).

Yarıiletken, elektrik alanına bağılı olarak potansiyel/SB yüksekliğinin dönüm noktalarını değıştiren negatif yüklerin uzamsal uzantısı nedeniyle MS arayüzü yakınında yukarı doğru bükölür. İdealite faktörünün yakın MS teması ile değışimi SBH değışimi ile aynı şekilde açıklanabilir. MS arayüzündeki bant bükölmesi katkılama türüne bağılı değıldir ve bu nedenle bir tür yarıiletkeni açıklamak için kullanılabilir. Belirli bir MS sistemi için, metal kaynaklı boşluk durumları yalnızca n tipi veya p tipi yarıiletken için yüksek olabilir, ancak her iki tip için de yüksek olmayabilir. Ancak, metal kaynaklı boşluk durumları mekanizmasıyla çelişkili olarak her iki yarıiletken türünde de yüksek gözlenmiştir. Biraz var arayüz durumları açısından açıklanamayan deneysel gözlem. Çünkü Örneğın, idealite faktörünün işleme ile önemli ölçüde değıştiğı bulunmuştur veya Benzer şekilde üretilmiş diyotlar arasında bariyer yükseklikleri temelde aynıdır. Bu sonuçlar, olması gerektiğı gibi arayüzey durumlarına göre açıklanamaz. Schottky diyotun hem idealite faktörü hem de bariyer yüksekliğı değıerlerini etkiler. Bazı diyotlarda idealite faktörü, bariyer yüksekliğinin değıeri ile ilişkili görünmektedir. yüksekliğı, aynı şekilde hazırlanmış diyotlar için daha yüksek idealite faktörü değıerleri her zaman daha düşük bariyer yükseklikleri ile birlikte (Wolf ve Yip, 1992). Bununla birlikte, mekanizma gözlem henüz net değıil.

2.8 Uygulamalar

Magnezyum oksit (MgO), geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan çok yönlü bir malzemedir (Uchiike ve ark., 1991). İşte magnezyum oksitin bazı yaygın uygulamalarını şöyle sıralaya biliriz.

2.8.1 İnşaat Malzemeleri

MgO, inşaat sektöründe çeşitli malzemelerin üretiminde kullanılır. Bu malzemeler arasında yangına dayanıklı duvar panelleri, çatı kaplamaları, dış cephe kaplamaları, yer döşemeleri ve iç dekorasyon malzemeleri bulunur (Maderve ark., 2000). MgO, dayanıklılığı, yangın direnci, yüksek sıcaklık dayanımı ve su geçirmezlik gibi özellikleri nedeniyle tercih edilir (Charlesve ark., 1984).

2.8.2 Tarım ve Bahçecilik

Magnezyum oksit, toprak düzenleme ve bitki beslemede kullanılır. Toprağı

uygulandığında, bitkilerin büyümesini teşvik eden magnezyum sağlar. Ayrıca topraktaki asiditeyi düzenleyebilir ve bitki besin maddelerinin emilimini artırabilir. Tarım alanında yaygın olarak kullanılan bir magnezyum oksit formu da dolomit (magnezyum kalsiyum karbonat) olarak bilinir (Güneş, 2017).

2.8.3 Refrakter Malzemeler

Magnezyum oksit, yüksek sıcaklık dayanımı nedeniyle refrakter malzemelerin üretiminde kullanılır. Bu malzemeler, yüksek sıcaklıkta dayanıklı ve erime direnci yüksek olan endüstriyel fırınlar, metal işleme ekipmanları, seramik üretimi ve cam endüstrisinde kullanılır (Aksoy, 2017).

2.8.4 Kimyasal Endüstri

Magnezyum oksit, kimyasal endüstride çeşitli uygulamalara sahiptir. Örneğin, refrakter malzeme üretiminde kullanılan metalurji sektöründe önemli bir rol oynar. Ayrıca katalizörler, klor üretimi, cam üretimi, seramik üretimi ve gübreler gibi farklı kimyasal süreçlerde kullanılır (Yıldırım ark., 2014).

2.8.5 Gıda ve İlaç Endüstrisi

MgO, gıda takviyelerinde ve farmasötik ürünlerde kullanılabilir. Magnezyum, vücut için önemli bir mineraldir ve sağlık takviyeleri ve ilaçlarda kullanılır. MgO, tabletlerde veya kapsüllerde stabil bir magnezyum kaynağı olarak kullanılabilir (Ekincioglu ark., 2022).

2.8.6 Tıbbi uygulamalar

MgO, tıbbi uygulamalarda da kullanım alanlarına sahiptir. Bazı örnekler şunlardır: tıbbi teşhis ve tedavi cihazları, implantlar ve protezler gibi medikal cihazlar, kemoterapi ilaçları ve diğer farmasötik ürünlerin üretiminde katalizör olarak kullanımı, yara iyileştirici kremler ve diş dolgusu gibi tıbbi malzemelerin üretiminde kullanımı gibi. Ancak, belirtmek gerekir ki MgO'nun tıbbi uygulamalarda kullanımı, diğer endüstriyel kullanım alanlarına kıyasla oldukça sınırlıdır. (Mingji ve ark., 2013).

2.9 Sonuç

Magnezyum oksit ince filmlere olan ilgi, bilim ve teknolojideki birçok uygulamadaki önemi nedeniyle hızla artmaktadır. EC materyali olarak işlev görmesinin yanı sıra, fotovoltaiik uygulamalar için fonksiyonel bir katman materyali olarak da kullanılabilir. MgO, oda sıcaklığında $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ dirence sahip bir yalıtkandır.

3. DENEYSEL SÜREÇLER

3.1. Çalışmalarda ve Hazırlık Aşamalarında Kullanılan Materyaller

İki yönlü bir çalışma yapmak için cam ve silisyum kristalleri üzerine aşağıdaki işlemleri gerçekleştirdik. Ağır metal ve organik kirleri temizlemek için cam altlık yüzeyini ultrasonik banyoda %10'luk hidroflorik asit ile seyreltiğimiz deiyonize su içerisine Şekil 3.1'de ki sterilize cihazda 5 dk boyunca bekletildi.



Şekil 3.1. Ultrasonik sterilize cihazı.

Daha sonra durulama işlemi yapılması için deiyonize su içerisinden alınıp bekleme işlemi yapıldı. Deneysel işlemlerimizi 350°C'de altaş üzerinde homojen bir yapı elde etmek amacıyla 3-4 defa Şekil 3.2'te durulama işlemi tekrarlandıktan sonra kurutulma işlemi gerçekleştirildi.

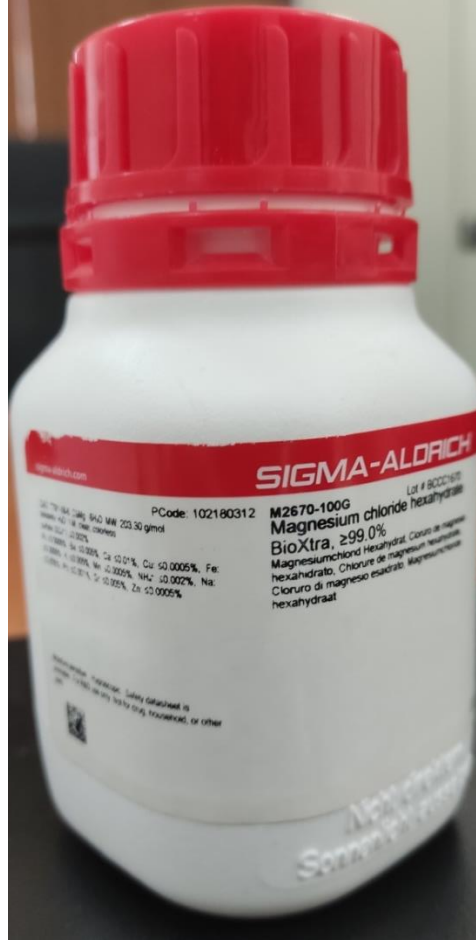


Şekil 3.2. Durulama işlemi.

Al/MgO/p-Si schottky diyotunu hazırlanmak için, $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ katkı konsantrasyonuna sahip, 400 μm kalınlığında ve $-10 \text{ } \Omega \text{ cm}$ özdirence sahip p-Si tipi alttaş kullanıldı. Kristal üzerindeki organik kirleri ve parçacıkları temizlemek için (100) yönelimine sahip alttabanın parlak yüzeyi pamuk yardımıyla %10'luk HF (hidroflorik asit) ile seyreltilmiş deiyonize suyla temizlendi. Sonrasında, kristal deiyonize suda 5 dakika boyunca durulandı ve kaplamaya hazır hale getirildi.

3.2. Deneysel Çözeltinin Hazırlanması

Deneysel araştırmalar sırasında, yüksek saflıkta Şekil 3.3'te verilen Magnezyum klorit hegzahidrat ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) tuzu Sigma-Aldrich markasıyla kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Magnezyum klorit hegzahidrat fotoğrafı.

MgO çözeltisi 0,5 molar konsantrasyonda hazırlanmıştır. Çözelti hesaplamaları aşağıdaki gibi yapılmıştır: 0,5 molarlık ve 50 ml hacminde su bazlı bir çözelti hazırlamak için denklem (3.1) kullanılarak 0,025 mol MgO (magnezyum oksit) eklemeniz gerekmektedir.

$$M=n/V \quad (3.1)$$

V: Hacim(lt)

M: Molarite

0,5 molar ve 50 ml çözelti hazırlamak için;

$$0,5 = n/0,05$$

$$n = 0,025 \text{ mol}$$

$$0,025 = m / 203,30 \quad m = 0,025 \times 203$$

$m = 5,082$ g çözeltiye Magnezyum klorit hegzahidrat tuzu eklenmiştir.

Bu durumda denklem (3.2) kullanılarak hesaplama şu şekildedir:

$$0,025 \text{ mol MgO'nun kütlesi: } 0,025 \text{ mol} \times 203,31 \text{ g/mol} = 5,08275 \text{ g MgO'dur.}$$

Dolayısıyla, 5,082 g MgO (magnezyum oksit) tuzunu 50 ml su çözücüsüne ekleyerek 0,5 M ve 50 ml hacminde bir çözelti hazırlanmış olmaktadır.

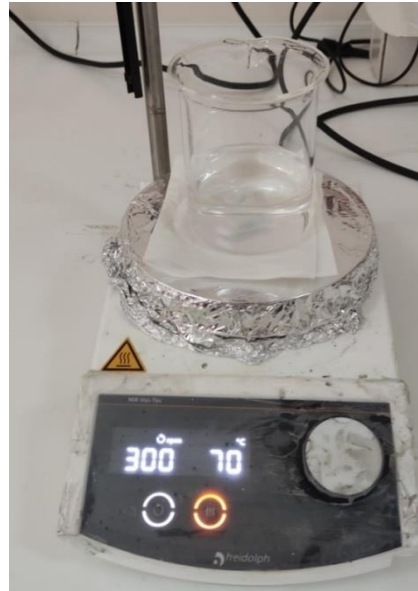
$$n = m / M_A \quad (3.2)$$

m : Madde miktarı (kütle)

n : Mol sayısı

M_A : moleküler ağırlık (203,30 g/mol),

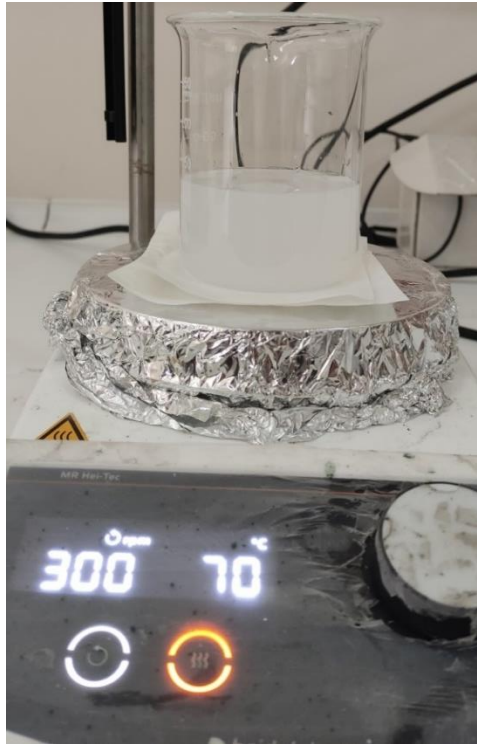
0,5 molar Magnezyum klorit hegzahidrat (molekül ağırlığı 203.30 g/mol) çözeltisi hazırlamak için; 50 ml deiyonize su'da 5,082 gr Magnezyum klorit hegzahidrat kullanılmalıdır. Şekil 3.4'te ki 70°C de ve manyetik karıştırıcı ile 300 ppm değerinde 10 dakika karıştırılmalıdır. Oluşan çözelti şeffaf bir renk elde edilmektedir.



Şekil 3.4. Hazırlanan Magnezyum klorit hegzahidrat çözeltisinin fotoğrafı.

Oluşan çözelti manyetik karıştırıcı ile 10 dakika boyunca karıştırıldı. Daha sonra, 5 ml amonyum hidroksit (NH_4OH) eklenerek karıştırmaya devam edildi. Bu aşamada çözeltinin rengi, önceden açık ve şeffaf olan renkten beyaz renge dönüşmektedir.

Çözeltilerin tamamen çözünmesini sağlamak ve kullanılan kaplama malzemelerinin aynı sıcaklıkta olmasını sağlamak için, tüm malzemeler Şekil 3.5'te ki gibi 70°C 'lik bir ısıtıcıda 30 dakika boyunca bekletildi.



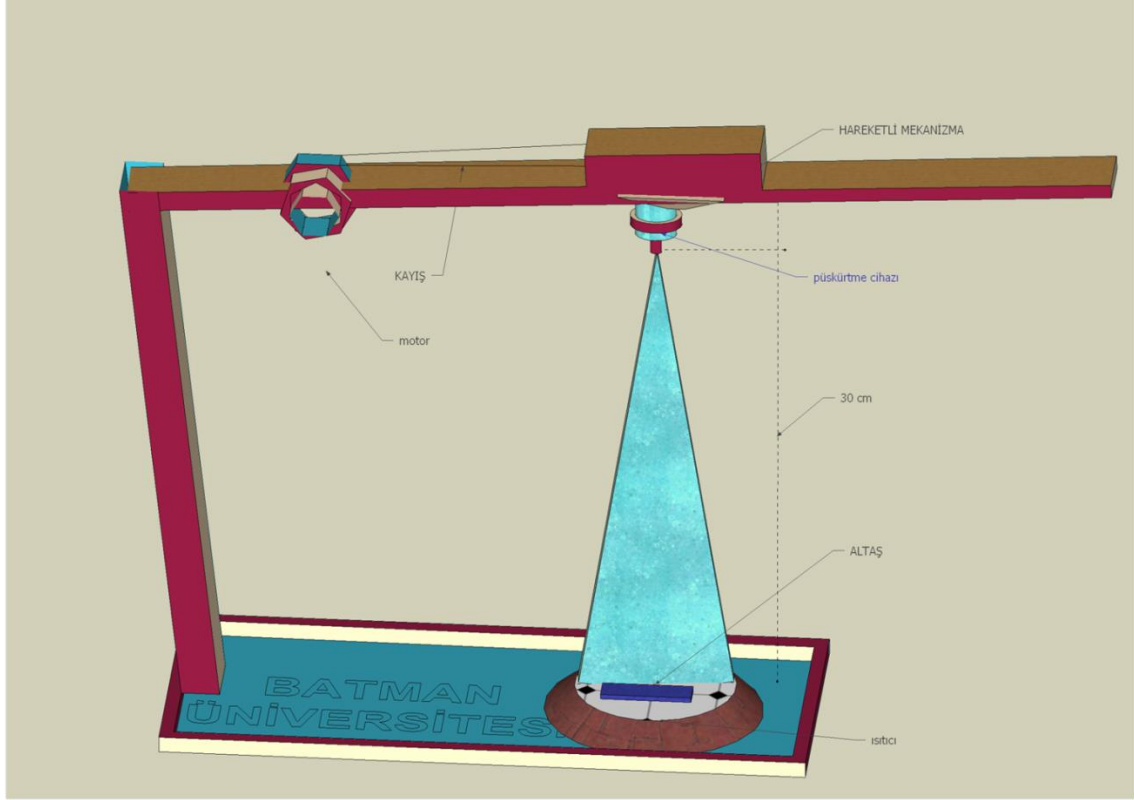
Şekil 3.5. Hazırlanan çözelti, amonyum hidroksit içeren Magnezyum klorit heksahidrat çözeltisinin fotoğrafı.

3.3.Filimlerin kaplanması

MgO ince film tabakasının püskürtme yöntemiyle oluşturulması için öncelikle kaplanacak çözelti hazırlandı. Daha sonra, kaplama işlemi cam altlığa uygulandı. Homojen bir değer elde etmek için alttaşın 350°C 'ye gelmesi gerekmektedir. Deneysel işlemler boyunca da 350°C de tutulmalıdır. Şekil 3.2'de ki düzeneğe göre MgO ince filmlerin oluşması için bir püskürtme büyütme yöntemi aşağıdaki adımları içerir:

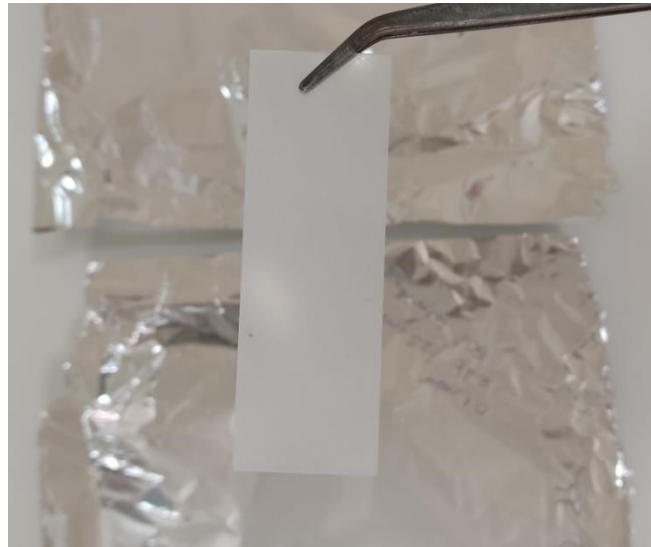
İlk olarak, püskürtme odası temizlenir ve gerekli güvenlik önlemleri alınır.

- 1- MgO malzemesi, uygun bir şekilde hazırlanan çözelti içerisinde çözünerek çözelti hazırlanır. Bu çözelti, püskürtme işlemi sırasında kullanılacak olan MgO ince filmi oluşturacak olan malzemeyi içerir.
- 2- Püskürtme odasının içerisinde cam altlık yerleştirilir. Cam altlık, MgO ince filmin oluşacağı yüzeyi temsil eder.
- 3- Püskürtme odası içerisinde uygun gaz ortamı oluşturulur. Bu gaz ortamı, püskürtme işlemi sırasında kullanılan malzemelerin daha iyi dağılmasını ve filmin oluşmasını sağlar.
- 4- Püskürtme işlemi için uygun bir püskürtme tabancası kullanılır. Bu tabanca, çözeltiyi yüksek hızda püskürtmek için tasarlanmıştır.
- 5- Püskürtme tabancası ile çözelti, cam altlık üzerine püskürtülür. Bu sırada çözelti damlacıkları, cam altlık yüzeyine yayılır ve MgO ince filmi oluşturur.
- 6- Püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra, oluşan MgO ince filmi kurumaya bırakılır. Püskürtme işlemi için 1.45ml/60sn ve 0.3 mikron boyutunda kapsamlı çalışan püskürtme cihazı kullanıldı.
- 7- Şekil 3.6'da ki gibi 30 cm mesafede püskürtülmelidir.
- 8- Hava akımından etkilenmemesi için çeker ocağında 4 dakika boyunca püskürtülür.
- 9- Homojen bir dağılım elde etmek için 10cm'lik yatay düzlemde periyodik gel-git hareketi ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.6. püskürtme mekanizması.

Kaplamalar 350 °C derece sıcaklıkta yapılmıştır. Biriktirme 4dk boyunca meydana gelen periyotlar sonucundan sonra Şekil 3.7’de ki kaplama elde edilmiştir.



Şekil 3.7. Cam alttaş üzerinde kaplanan MgO ince filmi.

İnce film üzerindeki mevcut herhangi bir hidroksit fazını uzaklaştırmak için, MgO materyali 500°C derecede 1 saat boyunca tavlansmıştır. Bu işlem, hidroksit fazının termal olarak ayrışmasını sağlar ve istenilen saf MgO fazını elde etmek için kullanılır. Tavlama işlemi, MgO materyalinin yapısal ve kimyasal özelliklerini değiştirerek daha istikrarlı bir yapı oluşturmaya yardımcı olur. 500°C ve 1 saat süre tavlama koşulları, hidroksit fazının tamamen uzaklaşması ve istenilen MgO fazının oluşması için uygun bir sıcaklık ve süre kombinasyonu olarak belirlenmiştir.

Oluşturulan filmlerin karakterizasyonu için çeşitli analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında XRD (X-ışını Kırınımı), yüzey morfolojisi analizi (örneğin AFM), optik spektrometre ile ölçüm ve akım-gerilim karakterizasyonu yer almaktadır.

XRD analizi, filmlerin kristal yapısını incelemek için kullanılan bir yöntemdir. X-ışınlarının örnek üzerinde kırınımını ölçerek, kristal yapı hakkında bilgi sağlar. Bu analiz, filmlerin kristal yapılarını ve kristal yapıya ait parametreleri belirlemek için kullanılmıştır.

Optik spektrometre ile ölçüm, filmlerin optiksel özelliklerini (örneğin, yansıtma, geçirgenlik, soğurma) belirlemek için araştırıldı. Bu analiz, filmlerin optik özelliklerini dalga boyu aralığında ölçerek, ışık etkileşimini ve optiksel performansı değerlendirmek için incelendi.

Akım-gerilim karakterizasyonu, film tabakalarının elektriksel iletkenlik ve direnç özelliklerini belirlemek için araştırıldı. Bu analiz, filmlerin elektriksel özelliklerini ölçerek, akım-gerilim karakteristiklerini ve iletkenlik profilleri incelendi.

Tüm bu karakterizasyon yöntemleri, oluşturulan filmlerin yapısal, morfolojik, optik ve elektriksel özelliklerini ayrıntılı olarak incelemek ve filmlerin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

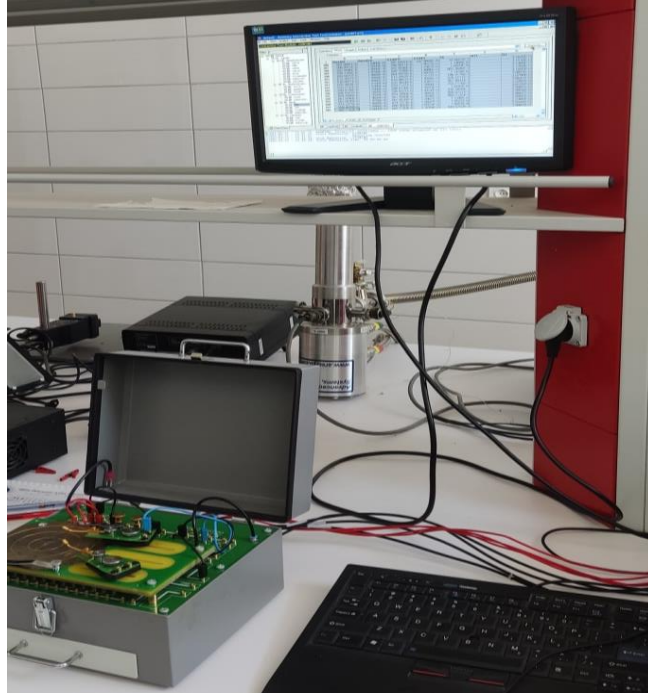
3.4. Al/MgO/p-Si Schottky diyotunun hazırlanması

Al/MgO/p-Si Schottky diyotunun hazırlanması için öncelikle p-Si kristali klasik kimyasal temizlik işlemine tabi tutulduktan sonra, 0,5 molar MgO çözeltisi hazırlandı. Bu amaçla, 5,082 gram Magnezyum klorit hegzahidrat tuzu 50 ml deiyonize suya eklenmiştir.

Çözelti 70°C'de manyetik karıştırıcı kullanılarak 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Ardından, 5 ml amonyum hidroksit (NH₄OH) eklenmiş ve karıştırma işlemi 30 dakika daha devam etmiştir. Bu süreç sonucunda Al/MgO/p-Si Schottky diyotunun hazırlanması için gerekli çözelti elde edilmiştir. p-Si kristal altaşımız püskürtme mekanizmasına yerleştirilir.

- 1- Sıcaklığı 350 °c dereceye getirilir.
- 2- 30 cm mesafede püskürtülmelidir.
- 3- Hava akımından etkilenmemesi için Çeker Ocağında 45 saniye boyunca püskürtülür.
- 4- Homojen bir dağılım elde etmek için 10cm'lik yatay düzlemde periyodik gel-git hareketi ile gerçekleştirilir.
- 5- Daha sonra Omik kontak yapımı için yüksek saflıkta Al metali, PVD (Physical Vapor Deposition) sistemi içerisinde p-Si kristalinin mat yüzeyine kaplanmıştır. PVD, bir vakum ortamında malzeme buharlaştırılarak substrat yüzeyine çökertilmesini sağlayan bir kaplama yöntemidir. Yüksek saflıkta Al metalinin buharlaştırılması ve p-Si kristalinin mat yüzeyine kaplanmasıyla birlikte, Al katmanı omik kontak oluşturmak için kullanılan bir iletkenidir. Bu işlem, Al/MgO/p-Si Schottky diyotunda omik kontak yapısının oluşturulmasını sağlar ve elektriksel iletimin sağlanmasına yardımcı olur.

Son aşamada, vakum sistemi kullanılarak fiziksel buharlaştırma yöntemiyle $\sim 4.09 \times 10^{-5}$ torr (mbar) basınç altında çalışılan tungsten filament yardımıyla altaşın MgO kaplanan yüzeyine oldukça saf ($\sim 99,99\%$) Alüminyum (Al) metali buharlaştırılarak ince bir Al tabakası oluşturulmuştur. Bu işlem, Al/MgO/p-Si/ MIS (Metal-Yalıtkan-Yarıiletken) diyot yapısının oluşturulmasını sağlar. PVD cihazı, Mg ve Al kaplamaları için kullanılmış olup, bu cihaz Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Şekil 3.9'da kaplama için kullanılan PVD cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Al/MgO/p-Si diyotunun elektriksel karakteristiğini değerlendirmek için kullanılan ölçüm cihazı (I-V (akım-gerilim)).

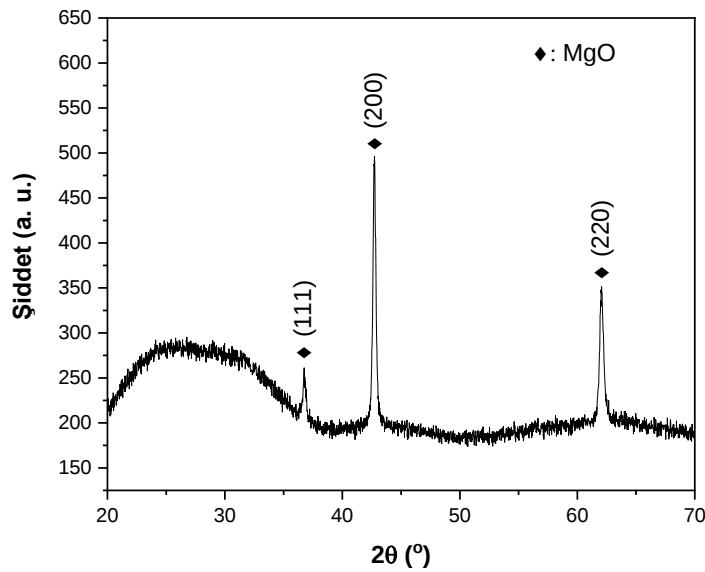


Şekil 3.9. Al metal kaplamasında kullanılan PVD cihazının fotoğrafı.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR

4.1. MgO Filminin X-Işını (XRD) Ölçümleri

Sprey Proliz yönteminden yararlanarak cam altaş üzerinde oluşturulan MgO ince filminin X-ışını analizini Ultima Rigaku IV, X-ray difraktometresi kullanılarak elde edilmiştir. Bu analizde, cam altlığı büyütülme işlemi yapılan MgO ince filmini X-ışınlarına maruz bırakılmasıyla kırınımın meydana geldiği desenleri elde edilmiştir. X-ışını kırınım deseni, MgO filminin kristal yapısı ve kristalin düzenliliği hakkında bilgi sağlar. Rigaku Ultima IV X-ray difraktometresi, yüksek hassasiyetli ve yüksek çözünürlüklü X-ışını analizleri için kullanılan bir cihazdır. Bu analiz sonucu Şekil 4.1’de gösterilen MgO ince filminin kristal yapısı ve kırınım özellikleri detaylı olarak incelenebilir.



Şekil 4.1. Cam altaş SPREY PROLİZ yönteminden yararlanılarak büyütülme işlemi ile MgO ince filmin X-ışınları difraksiyonu.

B 13.2 numunenin 0.5 molar değerindeki losyunun 350° C’de altaş ile kristal özellikleri XRD kırınımı ile incelenmiştir. Sırasıyla 2θ pikleri 37°, 43° ve 62° ve (111), (200), (220) yönelimlerine karşılık gelmektedir. Diğer araştırmacıların yapmış olduğu sonuçlar ile uyum içerisindedir (Visweswaran ve ark., 2020). Numunenin XRD ölçümlerinde herhangi bir ek tepelemeler olmadığı görülmüştür. Bu da numunemizin tüm basamaklarında uygun malzeme ve yöntemin kullanıldığını göstermektedir. Burada $k=0.9$

şekil faktörüdür ve λ , θ sırasıyla X-ışınlarının dalga boyu, radyan cinsinden Bragg açısı. Kristalit boyutunun değeri aşağıdakiler için 35.21 nm olarak bulunmuştur. Hesaplamada aşağıda verilen formüller ile maksimum yoğunluk değerleri XRD analizinde ortaya çıkan pik kullanılmış ve hesaplanan veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Kristal boyutunu hesaplanmak için aşağıdaki denklemi kullandık. XRD sonuçları Kristalit boyutu (D), kafes gerilmesi (ϵ) ve dislokasyon yoğunluğu (δ) kullanılarak hesaplanmıştır (Güllü ve ark., 2023).

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

$$\epsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (4.2)$$

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (4.3)$$

Çizelge 4.1. Üretilen MgO ince filmin bazı mikroyapısal parametreleri.

Film	D (nm)	ϵ (%)	δ ($10^{14}/m^2$)
MgO	35.21	0.27	8.07

4.2. MgO Filminin Optik Ölçümleri (UV-Vis)

UV-Vis spektroskopisi MgO'nun UV-Vis spektrumları Şekil 4.2'de verilmiştir. Yasak enerji bant aralığını hesaplamak için denklem (4.4)'te ki denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$Ah\nu = C(h\nu - E_g)^n \quad (4.4)$$

$n=1/2$ (doğrudan geçişler için)

E_g : Bant aralığı eğrisi

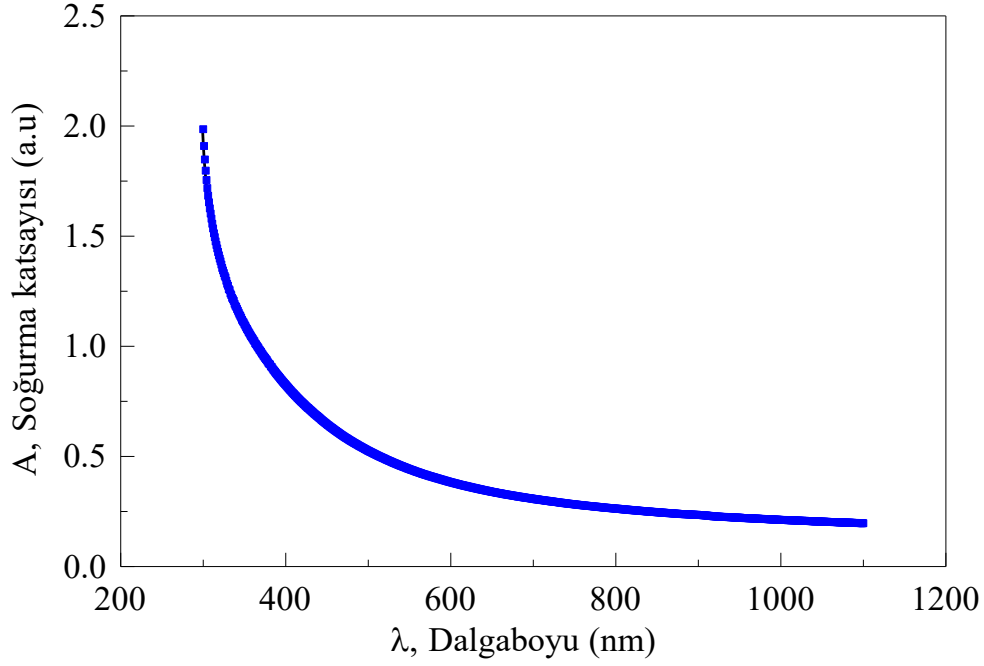
β : Orantılılık sabiti

$h\nu$ Foton enerjisi

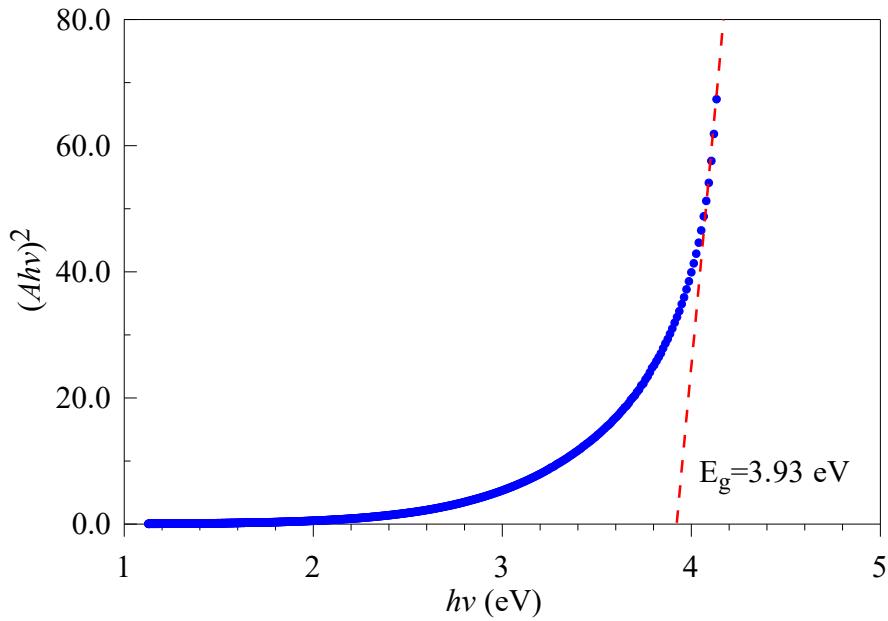
α : Soğurma katsayısı

MgO için soğurma spektrumu ölçümleri 250 ile 1200 nm'lik alan aralığı Şekil 4.2'te gösterilmektedir. Bu grafik daha önce yapılan MgO ince filmler ile uyum içerisindedir.

Eğri kısmı yaklaşık enerji eksenini temsil eder. Burada $(\alpha h\nu)^2 = 0$ durumunda, kesişim noktası nanoyapının enerji aralığını belirtir. MgO nanoyapıların yasak enerji bant aralığı değerleri 3,93 eV olarak bulunmuştur. Bu grafik Şekil 4.3'te verilmektedir. Bant aralığındaki değişimler parçacık boyutundaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Hollingbery, 2010).

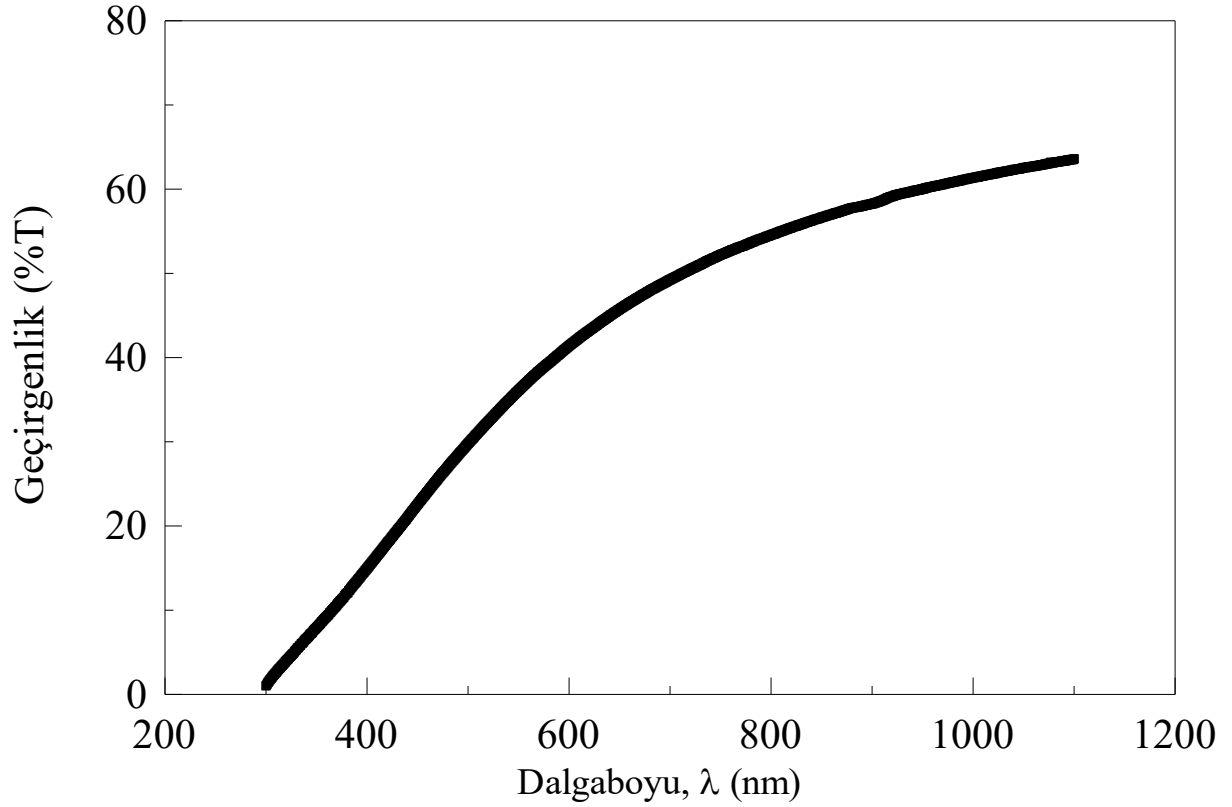


Şekil 4.2. Tespit edilen MgO ince film tabakaların emilim-dalga boyu grafiği.



Şekil 4.3. Elde edilen filmin $(\alpha h\nu)^2$ foton enerjisine ($h\nu$) göre değişimi.

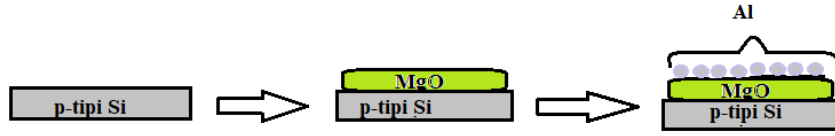
Şekil 4.4’de MgO ince filmlerin 300 ile 1100 nm dalga boyu aralığındaki geçirgenlik spektrumlarını göstermektedir. Görünür bölgede dalga boyu artıkça geçirgenliğinde artığı Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Üretilen MgO ince filmin geçirgenlik-dalga boyu grafiği.

4.3. Al/MgO/p-Si Schottky Diyotunun Elektriksel (akım - gerilim) Karakterizasyonu

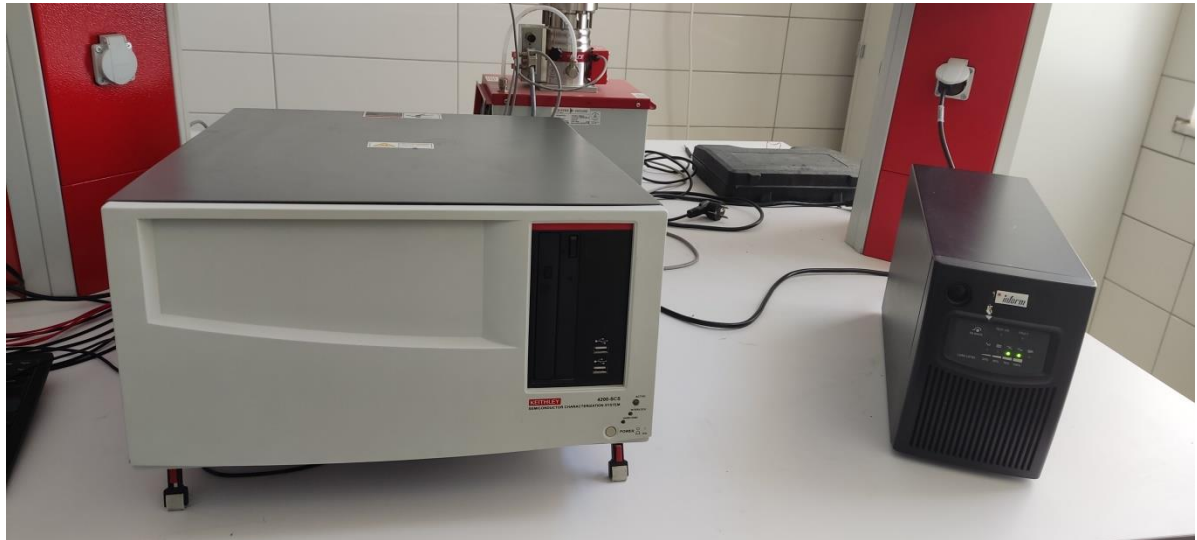
Yaptığımız deneysel araştırmalar sonucunda Al/p-Si diyot ve Al/MgO/p-Si diyot arasındaki farkları incelemek için bir karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Yaptığımız çalışmada, literatürdeki Al/p-Si diyot çalışmalarının incelenmesi ve Al/MgO/p-Si diyotu için gerçekleştirdiğimiz deneysel işlemlerle karşılaştırma yapılması üzerine odaklanmıştır. Akım-gerilim (I-V) verileri, Al/MgO/p-tipi silisyum alttaş diyot yapısının performansını değerlendirmek için ölçülmüş ve bu veriler karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bu karşılaştırma sayesinde, MgO katmanının Al/p-Si diyot üzerindeki etkisi ve Al/MgO/p-Si diyotun potansiyel katkıları hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Burada izlediğimiz adımlar şekil 4.5’te ki gibidir.



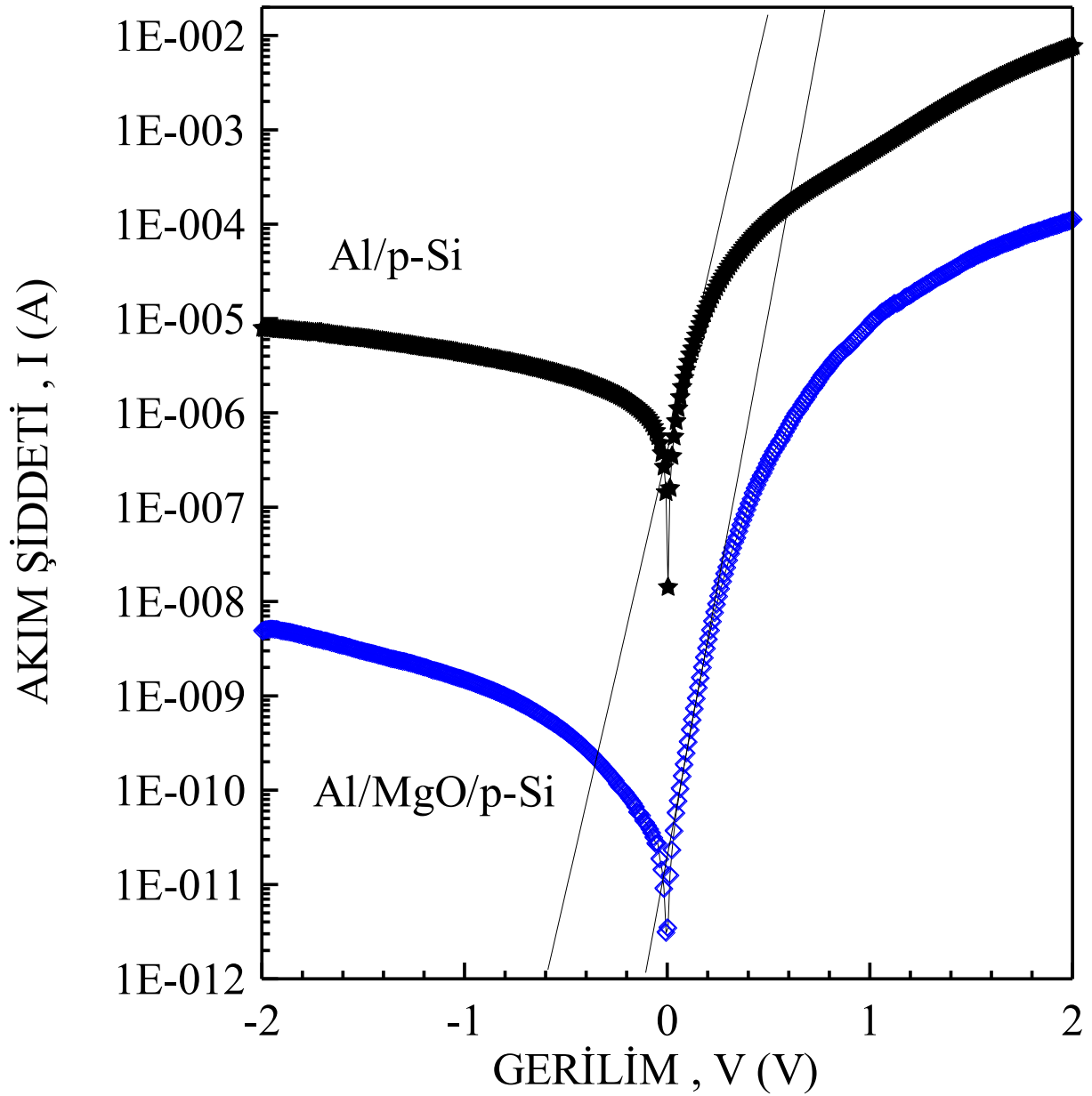
Şekil 4.5. Al/MgO/p-Si yüzeyin şematik gösterimi.

Şekil 4.7’de Al/p-Si (MS) ve Al/MgO/p-Si yapının I-V eğrileri grafikte görülmektedir. Ters besleme durumunda, akım gerilime zayıf bir şekilde bağlıdır. Doğru besleme durumunda ise orta voltajlarda gerilimin artmasıyla akım üssel olarak artar ve iyi bir doğrultucu davranışı sergiler. Ancak daha yüksek voltajlarda doğal ve polimer ara katmanların etkisi nedeniyle doğrusallıktan sapma görülür. Bu sapma, tabakada arayüzeyin ve seri direnç etkisiyle ortaya çıkar (Demirezen ve ark., 2020).

Günlük hayatımızda birçok alanda yer alan Schottky diyotları bilindiği gibi doğrultucu olarak çalışırlar. Yüksek hızlarda anahtarlama karakterine sahip olduğu için hızı yüksek olan uygulamalar için uygundur. PVD işlemleri sonucunda elde etmiş olduğumuz MIS diyotu Şekil 4.6.’da ki Keithley 4200-Scs cihazı kullanılarak karanlık ve oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümleri yapıldı.



Şekil 4.6. MIS diyotların akım-gerilim ölçümlerinin yapıldığı KEITHLEY 4200-SCS cihazı.



Şekil 4.7. Oda sıcaklığında arayüzeyli Al/p-Si referans diyotu ve MgO arayüzeyli Al/MgO/p-Si diyotunun I-V (akım-gerilim) karakteristikleri grafiği gösterilmektedir.

Schottky bariyerde diyotta Akım (I) ve gerilim (V) ilişkisi, termiyonik emisyon (TE) kuramına bağlı olarak ($n > 1$, $R_s > 0$) sırasıyla (2.4), (2.5), (2.6) ve (2.7) denklemlerle ifade edilebilir (Sharma, 1984). Al/MgO/p-Si diyotu için bulunan Cheung ve Norde fonksiyonları değerleri çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Verilen bilgilere göre, Al/MgO/p-Si yapının doğrultulma oranı ($RR = IF/IR$) ± 2 V’da düzenli biçimde 2.24×10^{-11} ve 4.32×10^{-7} değerleri olarak tesbit edilmiş. Bu değerler Al/p-Si yapılarla kıyasla belirgin bir şekilde daha fazladır. Bu pozisyon, bariyer homojensizliği, sistem içinde sanal veya hayali kuvvetlerin varlığından dolayı enerji kaybı yaşanması ve Al/MgO/p-Si arayüzeyindeki Dit (Yoğunluk-of-States) belirli bir dağılımı gibi faktörlerle açıklanabilir. Ayrıca, n değerinin 1’den büyük bulunması,

diyottaki termiyonik emisyon mekanizmasının etkili olduğunu göstermektedir. (Sharma, 1984). Al/p-Si referansı ile Al/MgO/p-Si MIS yapısındaki I-V özellikleri oda sıcaklığında ve karanlıkta (-2 V)-(+2 V) değerinde (düz ve tess beslem) ve 0,02 V değerleri ile ölçeklendirilmiştir. Şekil. 7'de bu grafikler gösterilmiştir. İncelenen I-V grafiklerine göre, Al/MgO/p-Si yapısının akım değerlerinin ters ve düz besleme durumunda referans diyota kıyasla yaklaşık 1000 kat daha az olduğu görülmektedir. Bu azalma, MgO ince film katmanının metal ile p-Si arasında ek bir direnç etkisi göstermesinden, arayüzey katmandaki doğal oksit tabakası ve arayüzey katmanının oluşumundan kaynaklanmaktadır. Şekil 4.7'de ölçüt olarak alınan Al/p-Si diyotundaki engel yüksekliği $\Phi_B=0,639$ eV ve idealite faktörü $n=1,799$ değerleri olarak ortaya koymaktadır. Elde ettiğimiz numunemiz olan Al/MgO/p-Si diyotunda engel yükseklik ise $\Phi_B=0,894$ eV ve idealite faktörünü $n=1,454$ olarak hesap edilmiştir. (Çizelge 4.2). Numune diyotumuzda idealite faktörü 1'den büyük bir değer alması, çoğunlukla imal ediliş esnasında olabilecek arayüzey katmanı oksit tabakasına, seri direnç (R_s) ve yüzey/arayüzey katman etkisine bağlı olarak meydana gelir (Güllü, 2018). Seri direnç (R_s) etkisiyle diyottan geçen akım Denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) \quad (4.5)$$

değeri ile ifade edilir.

Burada;

R_s : Seri direnç

V :Uygulanan gerilim

I :Diyottan geçen akım

I_0 : Doyum akımı

T : Sıcaklık

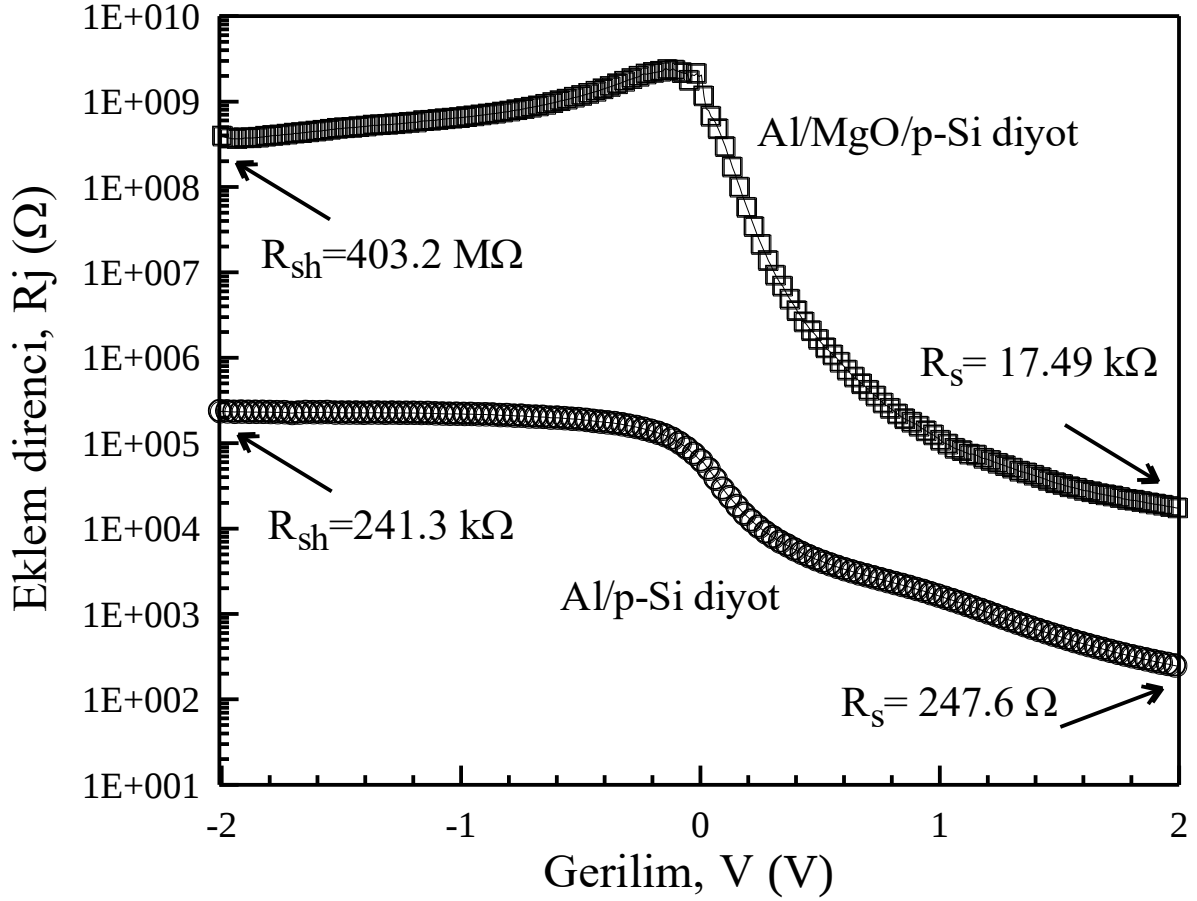
k : Boltzmann sabiti

q : Elektron yükü

n :İdealite faktörüdür.

Seri direnç (R_s), diyotun yapısında ve bağlantılarında kaynaklanan dirençtir ve diyotun gerilim-akım karakteristiğini etkileyebilir.Bu bilgilere göre, Al/MgO/p-Si diyotunun engel yüksekliği ve idealite faktörünün Al/p-Si referans diyottan farklı olması, hatta Şekil 4.8'e bakıldığında Al/MgO/p-Si MIS diyotu neredeyse 0.255 eV değeri kadardan daha fazla

bir değeri alması MgO arayüzeyin oksit katman varlığına ve seri direnç etkisine bağlı olarak diyotun uzay yükü bölgesindeki yük dağılımında değişim olduğunu gösterir.



Şekil 4.8. Elde edilen Al/MgO/p-Si ve Al/p-Si diyotlarının R_j -V grafiği.

Diyotunun engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi değerlerinin hesaplanmasında en etkili yöntem, Norde'nin geliştirdiği Norde fonksiyon değeridir. Norde fonksiyonları, diyot karakteristiklerini analiz etmek ve bu parametreleri tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan matematiksel modellerdir. Bu fonksiyonlar, diyotun özelliklerini belirlemek ve optimize etmek için kullanılan önemli araçlardan biridir.

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

Bu durumda, γ ifadesi, idealite factornden büyük olan ilk tam sayıdır. IV grafiğinden akım değeri $I(V)$ değeridir. İdealite kavramı;

$$n = \left(\frac{q}{kT} \right) \frac{dV}{d \ln(I)} \quad (4.7)$$

Norde metodu kullanılarak hesaplanması sonucunda engel yüksekliğini elde etmiş oluyoruz.

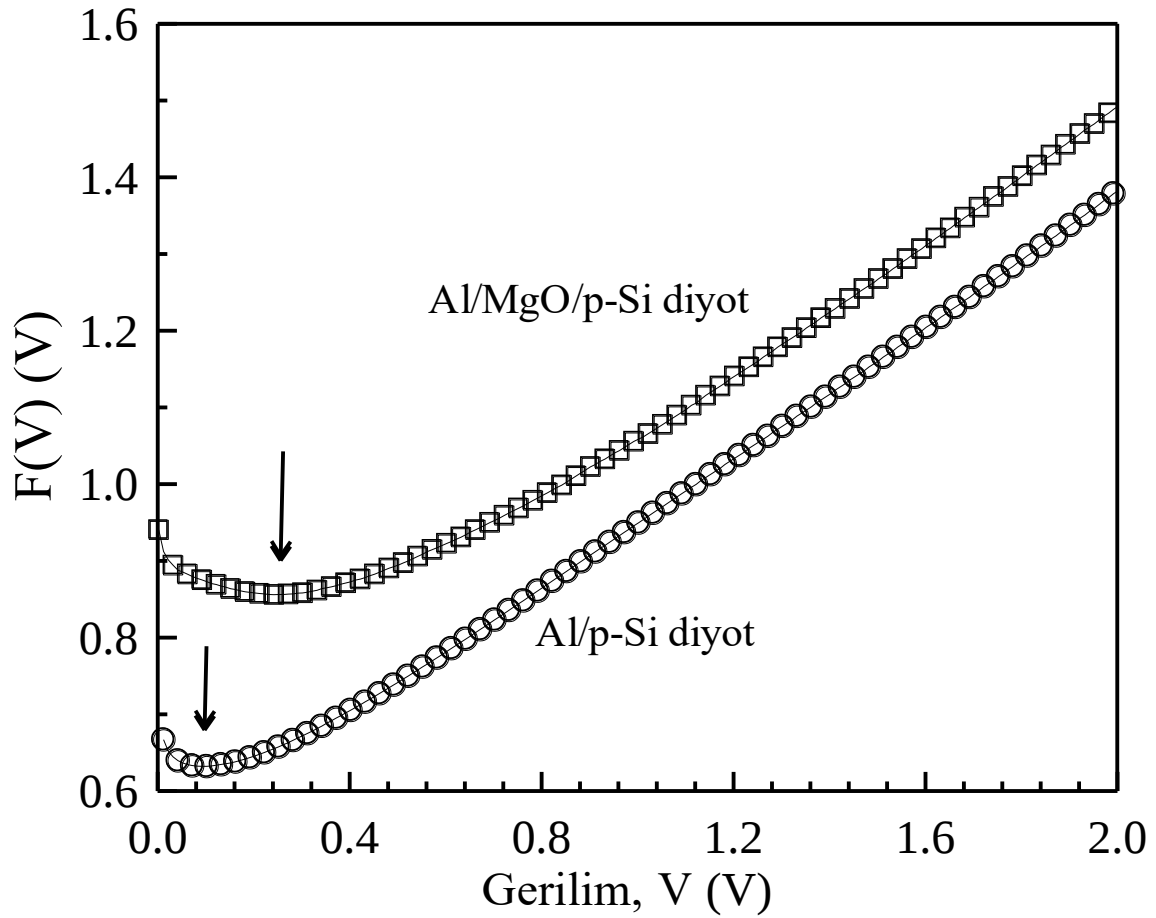
$$\Phi_B = F(V_o) + \frac{V_o}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.8)$$

$F(V_o)$ değeri, Şekil 4.9’da verilen F-V grafiğindeki en küçük $F(V)$ değerini ifade eder.

Seri direnç kavramı;

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI} \quad (4.9)$$

Böylece (4.9)’da ki Eşitlik elde edilir.



Şekil 4.9. Al/p-Si referans diyotu ve Al/MgO/p-Si diyot ölçümlerine göre $F(V)$ - V grafiği.

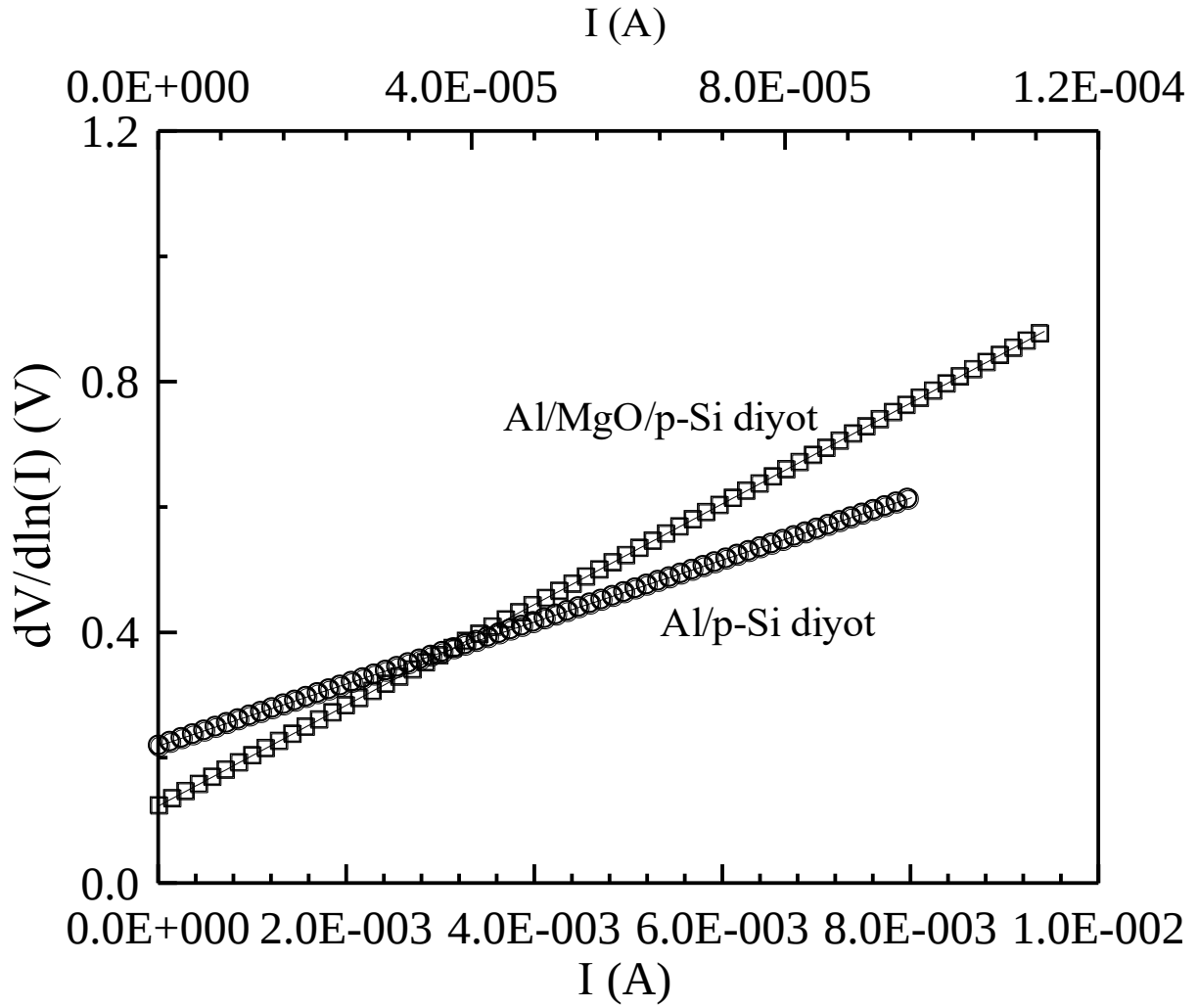
Norde değeri kullanılarak elde edilen $F(V)$ - V grafikleri incelendiğinde, referans olarak alınan Al/p-Si diyotun engel yüksekliğinin değeri $\Phi_B=0,652$ eV, seri direnç değeri ise $R_s=1,729$ k Ω olduğu ve Al/MgO/p-Si diyotun engel yükseklik değerinin $\Phi_B=0,956$ eV, seri direnç değerinin ise $R_s=1225,1$ k Ω olduğu hesap edilmiştir. Çizelge 4.2 bu değerleri göstermektedir. Diyotun seri direnç durumunda engel yüksekliğini hesaplamak için idealite faktörü ve seri direnç gibi değişkenlerin kullanılmasında ikinci bir yöntemde Cheung metodudur. Cheung metodu, S.K. Cheung ve N.W. Cheung (1986) tarafından geliştirilmiştir.

$$\frac{dv}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + I \cdot R_s \quad (4.10)$$

$$H(I) = n\phi_b + I \cdot R_s \quad (4.11)$$

(4.10) ve (4.11) eşitlikleri ile Cheung metodu elde edilmiştir.

Al/p-Si referans diyotu ile Al/MgO/p-Si diyotunun $dV/d(\ln I)$ - I grafiğindeki lineer doğruların eğiminin bir sonucu olarak, Al/p-Si diyotunun seri direnci $R_s=0,0494$ k Ω 'dur. Ek olarak, lineer doğrunun düşey geçişi ile kesildiği noktadan faydalanarak idealite faktörünü kullanan Cheung metodunun değerinin sonucu $n=8,527$ olarak bulunmuştur. Bu değerler Şekil 4.10'da da verilmiştir. Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi, Al/MgO/p-Si Schottky diyotunun Cheung metoduna göre benzer şekilde seri direnç $R_s=6,697$ k Ω ve idealite faktörü $n=4,838$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10. Al/p-si diyotu ile Al/MgO/p-si diyotunun $dV/d(\ln I)$ -I grafiği.

Şekil 4.11 Cheung metodu kullanarak elde edilen $H(I)$ -(I) grafiklerini göstermektedir. Bu grafiklerden, Al/p-Si diyotun seri direnç değeri $R_s=0,583 \text{ k}\Omega$ ve engel yüksekliği $\Phi_B=0,567 \text{ eV}$ değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde , Al/MgO/p-Si diyotunun seri direnci $R_s=5,990 \text{ k}\Omega$ ve engel yüksekliği $\Phi_B=0,772 \text{ eV}$ değeri elde edilmiştir. Çizelge 4.2 de bu parametreleri göstermektedir.

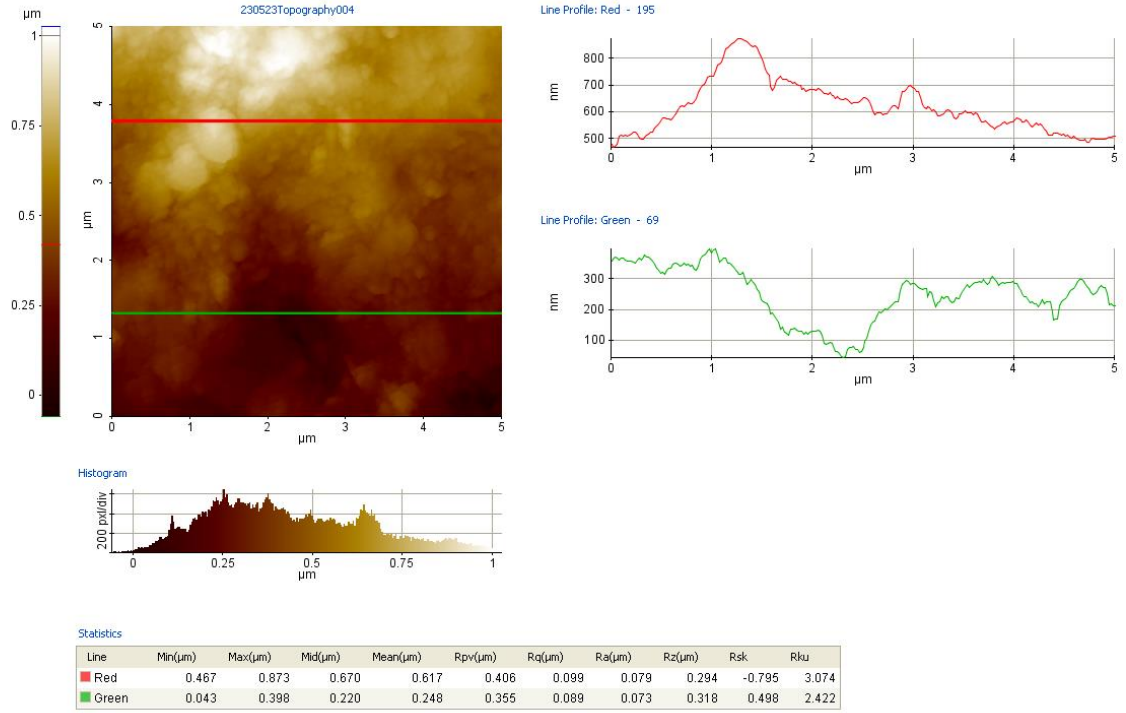
Çizelge 4.2. Al/p-Si diyotu ve Al/MgO/p-Si diyotunun I-V, Norde ve Cheung değerlerinde elde edilen diyot parametreleri (Diyot alanı 0,00785 cm²'dir).

[illegible]

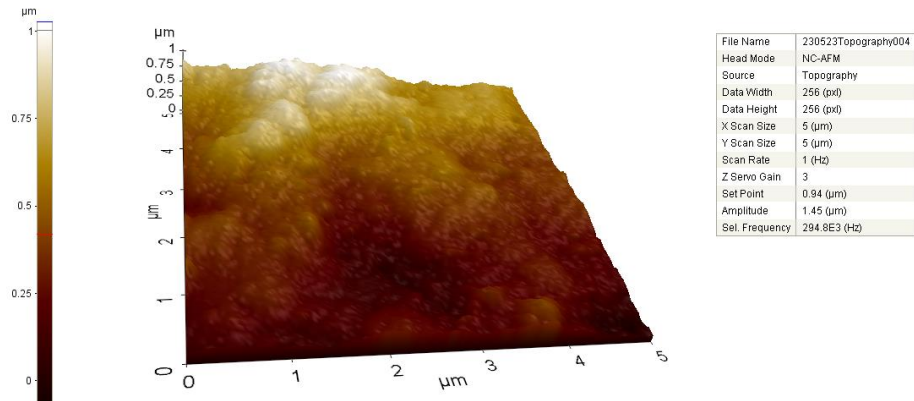
4.4. AFM karakterizasyonu (Atomik Kuvvet Mikroskopisi)

Kontak direnci büyük ölçüde yüzey pürüzlülüğüne bağlı olduğundan, MgO ince filmlerin yüzey topografyasını incelemek için AFM analizi yapılmıştır, bu da onlara bağlı diğer yüzeylerle olası yüzey temas noktalarını ortaya çıkaracaktır. Genel olarak, yüksek yüzey pürüzlülüğü pürüzlülük alanındaki hava tutucularını artırdığı ve bu nedenle havanın zayıf iletkenliği nedeniyle iki yüzey arasında zayıf ısı transferi olduğu için iyi termal temas oluşturmak için önerilmez. AFM karakterizasyonu, ince filmin farklı yüzey morfolojisi ve dokusunun incelenmesi için olağanüstü bir analitik tekniktir. 350 °C' alt tabaka sıcaklıklarında cam üzerinde biriktirilen MgO ince filminin AFM topoğrafik görüntüsü Şekil 4.12 (2 boyut) ve 4.13 (3 boyut)'te gösterilmektedir. Burada X ve Y koordinatlarındaki boyutu 5 mikron kadardır. Görüntülerden dar boyut dağılımına sahip küresel şekilli tanecik kümeleri görülmektedir. Film yüzeyindeki parlak nokta, tane morfolojisi üzerinde nispeten büyüyen MgO kristalitlerini temsil etmektedir (El Sayed ve ark., 2018). Şekil 4.13'te gösterilen ince filmin homojen, pürüzsüz yüzeyi, filmin atomik olarak düz yüzeyi boyunca eşit olarak dağılmış taneleri temsil etmektedir.

Belirli bir alanda oluşan kümedeki küresel şekilli taneler Şekil 4.13'da gösterilmiştir. Küresel şekilli taneleri gözlemlendiğinde bir iplik topolojisi gibi bölümlere ayrılmıştır ve 3D görüntüden (Şekil 4.13), 350 °C'de MgO filminin artan pürüzlülüğüne bakıldığında diğer çalışmalarla özdeş yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenir. Bu durum anizotropi ve atomların hareketliliğine atfedilebilir (Chowdhury ve ark., 2006). İyi tanımlanmış sınırlara sahip belirgin küresel taneler Şekil 4.12'te gözlemlenmektedir. Burada MgO ince film kaplı cam substratları için gözlenen basamak profilleri (derinlik - vadi) elde edilen pik değerleri Şekil 4.12' de sunulmuştur. Kök ortalama kare pürüzlülüğü (R_q), ortalama pürüzlülük (R_a), maksimum tepeden vadiye yükseklik (R_t), ortalama yükseklik pürüzlülüğü (R_2), pürüzlülük çarpıklığı (R_{sk}) ve pürüzlülük basıklığı (R_{ku}) gibi parametreler Şekil 4.12'te gösterilmektedir. Cam üzerinde büyütülen MgO numunelerin ortalama pürüzlülük (R_a) değerleri kırmızı çizgi için 79 nm ila yeşil çizgi için 73 nm'dir. MgO ince filmin yüzey pürüzlülüğünden dolayı film gaz sensörleri ve fotokatalitik uygulamalar için uygundur. (Rajesh Kumar ve ark., 2012).



Şekil 4.12. MgO ince filmin topografik AMF görüntüsü ve ölçüm parametreleri.



Şekil 4.13. MgO ince filmin 3 boyutlu yüzey görüntüsü.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar ve Tartışma

MgO filmine ait optik soğurma spektrumu 300 ile 1100 nm'lik dalgaboyu aralığında ölçüldü ve daha önceki çalışmalarla uyumlu bir şekilde MgO için tipik bir soğurma spektrumu elde edildi. MgO'nun yasak enerji bant aralığı $E_g=3,93$ eV olarak belirlendi.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Al/MgO/p-Si (MIS) diyotunun üretilmesi ve elektriksel ve arayüzey özelliklerinin değerlendirilmesi gerçekleştirildi. Al/p-Si referans diyotu ve Al/MgO/p-Si MIS diyotunun I-V özellikleri, MgO arayüzey tabakasının etkisini belirlemek için ölçüldü. Analiz sonuçları, Al/MgO/p-Si MIS diyotunun ters ve düz beslem özelliklerinde Al/p-Si referans diyotundan yaklaşık 1000 kat daha az akım ürettiğini gösterdi. Bu akım azalmasının, MgO ince filminin Mg metali ile p-Si yarıiletkeni arasında daha fazla direnç göstermesi nedeniyle arayüzeydeki doğal oksit tabakasının oluşumuna bağlanmasına neden olduğu bulundu.

Ayrıca, Al/p-Si diyotundaki engel yüksekliği $\Phi_B=0,639$ eV ve idealite faktörü $n=1,799$ değerleri olarak ortaya koymaktadır. Elde ettiğimiz numunemiz olan Al/MgO/p-Si diyotunda engel yükseklik ise $\Phi_B=0,894$ eV ve idealite faktörünü $n=1,454$ olarak hesap edilmiştir). Numune diyotumuzda idealite faktörü 1'den büyük bir değer alması, çoğunlukla imal ediliş esnasında olabilecek arayüzey katmanı oksit tabakasına, seri direnç (R_s) ve yüzey/arayüzey katman etkisine atfedildi. Al/MgO/p-Si MIS diyotunun engel yüksekliğinin Al/p-Si referans diyotundan daha yüksek olması, MgO arayüzey oksit tabakasının varlığına bağlı olarak diyotun uzay yük bölgesindeki yük dağılımında değişiklik olduğunu gösterir.

Seri direnç etkisi, Al/MgO/p-Si diyotunun ideal durumdan sapma nedenlerinden biridir. Bundan dolayı, Norde ve Cheung metotları kullanılarak akım-gerilim özellikleri incelenmiştir. Norde değeri kullanılarak elde edilen $F(V)$ -V grafikleri incelendiğinde, referans olarak alınan Al/p-Si diyotun engel yüksekliğinin değeri $\Phi_B=0,652$ eV, seri direnç değeri ise $R_s=1,729$ k Ω olduğu ve Al/MgO/p-Si diyotun engel yükseklik değerinin $\Phi_B=0,956$ eV, seri direnç değerinin ise $R_s=1225,1$ k Ω olduğu hesap edildi.

Al/p-Si referans diyotu ile Al/MgO/p-Si diyotunun $dV/d(\ln I)$ -I grafiğindeki lineer doğruların eğiminin bir sonucu olarak, Al/p-Si diyotunun seri direnci $R_s=0,0494$ k Ω 'dur. Ek

olarak, lineer doğrunun düşey geçişi ile kesildiği noktadan faydalanarak idealite faktörünü kullanan Cheung metodunun değerinin sonucu $n=8,527$ olarak hesaplandı. Benzer şekilde Al/MgO/p-Si Schottky diyotunun Cheung fonksiyonuna göre seri direnci $R_s=6,697 \text{ k}\Omega$ ve idealite faktörü $n=4,838$ olarak belirlendi. $H(I)-(I)$ grafiklerinden ise Mg/p-Si diyotunun seri direnç değeri $R_s=0,0583 \text{ k}\Omega$, engel yüksekliği $\Phi_B=0,567 \text{ eV}$ olarak hesaplandı. Al/p-Si referans diyota karşılık Al/MgO/p-Si diyotunun seri direnci $R_s=5,990 \text{ k}\Omega$ ve engel yüksekliği $\Phi_B=0,772 \text{ eV}$ değeri elde edilmiştir.

Cheung ve Norde metotlarıyla hesaplandığında seri direnci ve engel yüksekliğinin farklı değerlere sahip olması, bu yöntemlerin farklı gerilim bölgelerinde çalışmasından kaynaklanmaktadır. Her iki yöntemin de farklı çalışma prensipleri ve varsayımları bulunmaktadır, bu da sonuçların farklı olmasına yol açabilmektedir.

Schottky diyot deplasyon tabakasının kapasitif özellikleri, sadece I-V (akım-gerilim) ölçümleriyle diyot karakteristiklerini tam olarak yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı, diyotların özelliklerini daha iyi anlamak için en yaygın olarak tercih edilen yöntemlerden biri olan kapasite-gerilim değerlerinin hesaplanmasının yapılmasıda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ölçümler, diyotun kapasitif özelliklerini ve deplasyon tabakasının davranışını daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olmaktadır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada $0,02 \text{ V}$ 'luk adımlarla (-2V) ila ($+2\text{V}$) ileri ve geri voltaj aralıklarında diyot ölçümleri alınmıştır. Farklı voltaj aralıkları ve adımları uygulanarak, uygulanan voltajın diyot değişkenleri üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir. Ayrıca MIS kontaklarında arayüz tabakası kalınlıkları değiştirilerek arayüz kalınlığının diyot yapısına etkisi araştırılabilir. Bu çalışmada filmler $350 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika tavlansmıştır ve tavlama değiştirilerek kristal yapıları sıcaklık ve süre bağlı olarak optimize edilebilir.

Püskürtme mesafesi değiştirilerek farklı parametreler kullanılarak farklı numuneler elde edilebilir.

Tavlama sıcaklığı değiştirilerek farklı parametreler kullanılarak farklı numuneler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, M., Kamarudin, S. K., 2017, Enerji ve Çevre Uygulamalarında Magnezyum oksit Nanotüpler (TNT): Genel Bir Bakış. *Yenileme. Sürdürülebilir. Energy Rev.*, 76 (Şubat 2016), 212-225.
- Achuthan, M. ve Bhat, M. A. K., 2006, Fundamentals of semiconductor devices: *Tata McGraw-Hill*.
- Aksoy, T., 2012, ZrSiO₄-ZrO₂-Y₂O₃ ilaveli MgO-MgAl₂O₄ İle MgO-FeAl₂O₄ kompozit refrakter malzemelerin mekanik özellikleri, ısıl şok ve korozyon davranışları.
- Archer, R. ve Atalla, M., 1963, Metals contacts on cleaved silicon surfaces, *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 101, pp. 697-708.
- Baba, S., Mori, I., Nakano, T., 2000, Vakum 59 531.
- Bardeen, J. 1947, Surface States and Rectification at a Metal Semi-Conductor Contact, *Physical Review*, vol. 71, pp. 717-727, 05/15.
- Banerjee, A.N. , ve Chattopadhyay, K.K., 2005, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 50 52 -105.
- Bishop, C. A., 2007, Ağlar, filmler ve folyolar üzerinde vakum birikimi, *William Andrew Publishing*, New York.
- Bozkurt, N., 2016, Eş püskürtme tekniği ile büyütülen mgzno ince filmlerin yapısal ve optiksel karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesifen Bilimleri Enstitüsü*.
- Busnaina, A., 2007., Nanoman Manufacturing el kitabı. *Taylor & Francis Group*, ABD.
- Caceres, D., Colera, I., Vergara, I., Gonzalez, R., Roman, E., 2002 ,*Vacuum* 67 577.
- Casey Jr, H., Muth, J., Krishnankutty, S. ve Zavada, J., 1996, InGa_N/AlGa_N çift heteroyapılı mavi ışık yayan diyotlarda tünelleme akımı ve bant dolununun baskınlığı, *Applied physics letters*, cilt 68, s. 2867-2869.
- Casey, P., Connor, E.O. ,Long, R., Brennan, B., Krasnikov, S.A. , D.O., Connell, Hurley, P.K., Hughes, G., 2009, Growth, ambient stability and electrical characterization of MgO thin films on silicon surfaces, *Microelectron. Eng.* 86, 1711–1714 .
- Charles, E., Lorival, R. , Boyer , A. ve Malbrunot, P., 1984, *Sensörler ve Aktüatörler* 6, 135.
- Chowdhury, A., Kumar, J., 2006, *Bull. Mater. Sci.* 29(5), 513–521.
- Coleman, RV., ve Horovitz, KL, Katı hal fiziği, *Academic Press*, New York. 67.
- Cowley, A. ve Sze, S., 1965, Metal yarıiletken sistemlerin yüzey durumları ve bariyer yüksekliği, *Journal of Applied Physics*, cilt 36, s. 3212-3220.
- Crowell, C. ve Rideout, V., 1969, Normalized thermionic-field (TF) emission in metal-semiconductor (Schottky) barriers, *Solid-State Electronics*, vol. 12, pp. 89-105.
- Demirezen, S., Altındal Yerişkin S., 2020, A detailed comparative study on electrical and photovoltaic characteristics of Al/p-Si photodiodes with coumarindoped PVA interfacial layer: the effect of doping concentration, *Polymer Bulletin*, 77(1), 49-71.
- Durusoy, HZ, Mater, J., 1991, . Sci. Lett. 10 1023.
- Ekinci A., 2018. SILAR metodu ile hazırlanan CdS ince filmlerinin yapısal yüzeysel ve optik özellikleri üzerinde Mo katkısının etkisi, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 9:1 (2018): 81-88. ORCID:0000-0002-3068-8657

- Ekincioglu, G., Başibüyük, Z., Büyükbayrak, F., & Akbudak, İ. K., 2022, Kırşehir Bölgesi Mermerlerinin Mikronize Kalsit Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 6(2), 178-191.
- El Sayed, A.M., 2018, *Mater. Res. Express*.
- Er, I.K., Cagırtekin, A.O., Artuc, M., Acar, S., 2021, Synthesis of Al/ HfO₂/p-Si Schottky diodes and the investigation of their electrical and dielectric properties, *J. Mater. Sci. Mater. Electr.* 32(2), 1677.
- Ertugrul, İ., & Ülkir, O., 2020, MEMS tabanlı mikro rezonatörün tasarımı ve analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 25-29.
- Funk, S., Hokkanen, B., Burghaus, U., Ghicov, A., Schmuki, P., 2007, MgO Nanotüp Dizileri Üzerinde Beklenmedik Oksijen Adsorpsiyonu: Kristal Yapının Etkisi, *Nano Lett.*, 7 (4), 1091-1094.
- Goerke, F., Thorns, A., Merkt, U., 1996, *Appl. Surf. Sci.* 96 708.
- Guo, XL., Lu, ZG., Chen, XY., Zhu, SN., Xiong, SB., Hu, WS., Lin, CY., 1996, *J. Appl. Phys.* 79 1632.
- Güllü, Ö., Okumuş, M., Aytuğ, A., Canan., 2023, Investigation of the structural and morphological features of TiO₂:80BA composites for MIS semiconductor diodes, *Materials Science and Engineering: B*, Volume 289.
- Güneş, Ö., 2017, Isparta-Keçiborlu amorf silis yataklarının tarım teknolojileri alanında kullanım özelliklerinin belirlenmesi, *Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Gürbüz, A., & Kork, Y. E. (2020). Magnezyum Oksit (MgO) Levhalar Üzerine Bir Derleme, *Sciennovation*, 2(1), 29-38.
- Haruna, M., Nishihara, H. ve Suhara, T., 1989, Optik entegre devreler, *McGraw - Hill Professional Publishing*.
- Heine, V., 1965, Theory of surface states, *Physical Review*, cilt 138, s. A1689.
- Hollingbery, L. A., and Hull, T. R., 2010, The thermal decomposition of huntite and hydromagnesite a review, *Thermochemical Acta*, 509.(2) 1-11.
- Holmberg k., ve Matthews A., 1994. Kaplamalar Triboloji Yüzey Mühendisliğinde Özellikler, Teknikler ve Uygulamalar, *Elsevier*.
- Hsu, W.Y., Raj, R., 1992, *Appl. Phys. Lett.* 60 3105.
- Idektessabi, A., Nomura, H., Yasui, N., Tsukuda, Y., 2004, *İnce Katı Filmler* 447-448 383.
- Jlassi, M., Sta, I., Hajji, M. et al., 2014, Optical and electrical properties of nickel oxide thin films synthesized by sol-gel spin coating, *Mat. Sci. Semicond. Proc.* 21, 7–13.
- Kamarulzaman, N., Badar, N., Chayed, N.F., Kasim, M.F., 2016, Band gap widening and quantum tunnelling effects of Ag/MgO/p-Si MOS structure, *Mater. Res. Express* 3(10), 106401.
- Kim, J., Lee, E., Kim, D.H., Kim, D.G., 2004, *İnce Katı Filmler* 447-448 95.
- Kim, S.S., Kang, Y.M., Baik, S., 1996, *J. Am. ceram. Soc.* 79 1105.
- Kitabatake, M., Wasa, K. ve Adachi, H., 2004, Thin Films Material Technology: Sputtering of Compound Materials, *William Andrew Publishing*, New York.
- Kumar, A., Arafin, S., Amann, M. C. ve Singh, R., 2013, UHV e-beam buharlaştırma ile üretilen Pt/GaN Schottky diyotun elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağımlılığı, *Nanoscale research letters*, cilt 8, s. 481.

- Kumar, A., Mondal, S., Rao, K.S.R.K., 2016, Low temperature solution processed high-k ZrO₂ gate dielectrics for nanoelectronics, *Appl. Surf. Sci.* 370, 373 .
- Levine, J. D., 1971, Schottky Barrier Anomalies and Interface States, *Journal of Applied Physics*, vol. 42, pp. 3991-3999.
- Li, S. ,Lin, Y., Wu, Y. , Guo, Y., Yu, H., Miao, R.,Wang, Z., Tian, W., Li, X., 2019, Effect of Fe impurity on performance of La₂O₃ as a high-k gate dielectric, *Ceram. Int.* 45, 21015.
- Li, S. S., 2012, Yarıiletken fiziksel elektronik: Springer Science & Business Media.
- Liu, A., Liu, G.X., Zhu, H.H., Meng, Y., Song, H.J., Shin, B.C., Fortunato, E. ,Martins, R. ,Shan, F.K. , 2015, A water-induced high-k yttrium oxide dielectric for fully-solution-processed oxide thin-films, *Curr. Appl. Phys.* 15, S75 .
- Mader, H., Widmann, D. ve Friedrich, H., 2000, Entegre devrelerin teknolojisi, *Springer Verlag*, Berlin.
- Mader, H., Widmann, D. ve Friedrich, H. 2000, Entegre devrelerin teknolojisi, *Springer - Verlag*, Berlin.
- Mark A. Shand 2006, Magnezyanın kimyası ve teknolojisi, *John Wiley and Sons Inc.* ISBN 978-0-471-65603 -6.
- Mettan, X., Jaćimović, J., Barišić, O. S., Pisoni, A., Batistić, I., Horváth, E., Brown, S., Rossi, L., Szirmai, P., Farkas, B., Berger, H., Forró, L., 2019 Anataz MgO'de Termal İletimi Uyarlama, *İletişim Phys.*, 2 (1), 1-7.
- Mihara, T., Mochizuki, S., Makabe, R., 1996, *Jpn. J. Appl. Phys.* 35 4905.
- Milnes, A. G., 2012, Heterojunctionlar ve metal yarıiletken junctionlar, *Elsevier*.
- Mingji L, Xiufeng W, Hongji L, Dai W, Guojun Q, Fude L, Baohe Y, Mater Lett 2013;106:45 -48.
- Moon, S., Heo, T., Park, S., Kim, J., Kim, H., J., 2007, *Electrochem. Soc.* 154 J408.
- Moshfegh, Z. ve ark., 2004,. World Scientific Publishing, ABD.
- Mönch, W., 1999, Barrier heights of real Schottky contacts explained by metal- induced gap states and lateral inhomogeneities, *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, vol. 17, pp. 1867-1876.
- Neamen, D., 2002, *Yarıiletken fiziği ve aygıtları*, McGraw-Hill, Inc.
- Neumann, N., Bruchhaus, R., 1995 , *Entegre Ferroelektrikler* 8 243.
- Padovani, F. ve Stratton, R. 1966, Field and thermionic-field emission in Schottky barriers, *Solid-State Electronics*, cilt 9, s. 695-707.
- Padovani, F. ve Sumner, G., 1965, Experimental Study of Gold Gallium Arsenide Schottky Barriers, *Journal of Applied Physics*, vol. 36, pp. 3744-3747.
- Panko, J. I. ve Moustakas, T. D., 1999, Yarıiletkenler ve yarıölçümler, *Galyum Nitrür (GaN) II*, Academic Press, San Deigo.
- Park, C., Choi, J., Choi, M., Kim, Y., Lee, H., 200, *Sörf. Mont Technol.* 197 223.
- Park, J. H. ve Sudarshan, T. S., 2001, *Kimyasal Buhar Birikimi*, ASM International.
- Patil, R.B., Puri, R.K., 2007, Vijaya Puri, *Appl. Sörf. Sci.* 253 8682.
- Pauleau, Y. 2002, Mikro ve nanoteknolojiler için ince film biriktirme işlemlerinin kimyasal fiziği, *Kluwer Academic Publishers*, Hollanda.
- Pierson, H. O., 1999, Kimyasal Buhar Deposyonu El Kitabı, *Noyes Yayınları*, New York.

- Prasher, R., 2006, Thermal interface materials, *Historical perspective, status, and future direction*, Proc. IEEE 94(8), 1571–1587 .
- Raj, A., Nehru, L.C., Jayachandran, M., Sanjeeviraja, C., 2007, Cryst. Res. Technol. 42 867.
- Rajesh Kumar, B., Subba Rao, T., 2012, Digest J. Nanomater, *Biostruct.*7(4), 1881–1889.
- Rhoderick, E. H. ve Williams, R., 1988, Metal-yarıiletken kontaklar: Clarendon Press Oxford.
- Ropp, R. C. 1999 Alkali toprak bileşiklerinin ansiklopedisi, *Elsevier*. s. 109. ISBN 9780444595508.
- Senzaki, J., Mitsunaga, O., Uchida, T., Ueno, T., Kuroiwa, K., 1996, *Jpn. J. Appl. Phys.* 35 4195.
- Senzaki, J., Mitsunaga, O., Uchida, Uchida, T., Ueno, T., Kuroiwa, K., Jpn. J. 1996, *Appl. Phys.* 35 4195.
- Seshan, K., 2002, İnce Film Bırakma El Kitabı, Proses ve Teknolojiler. 2. baskı, *William Andrew Publishing*, New York.
- Sharma, B. L. 1984, Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications, *New York, Plenum Press*, 1-3.
- Sharma, B., 2013, Metal-yarıiletken Schottky bariyer bağlantıları ve uygulamaları, *Springer Science & Business Media*.
- Sullivan, J., Tung, R., Pinto, M. ve Graham, W., 1991, Homojen olmayan Schottky bariyerlerinde elektron taşınımı: Sayısal bir çalışma, *Uygulamalı Fizik Dergisi*, cilt 70, s. 7403-7424.
- Sze, S. ve Mattis, D. C., 2008, Physics of Semiconductor Devices, *Physics Today*, vol. 23, pp. 75-75.
- Şafak Asar, Y., Asar, T., Altındal, Ş, Özçelik, S., 2015, Dielectric spec troscopy studies and ac electrical conductivity on (AuZn)/ TiO₂/p-GaAs (110) MIS structures, *Philos. Mag.* 95(26), 2885– 2898.
- Tarsa, E.J., Graef, M.De., Clarke, D.R., Gossard, A.C., Speck, J.S., 1993, *J. Appl. Phys.* 73 3276.
- Tatekawa Y, Nakatani K, Ishii H, vd. 1996, Bugün ameliyat var. 26 (1): 68 -70.
- Trapalis, C. C., Keivanidis, P., Kordas, G., Zaharescu, M., Crisan, M., Szatvanyi, A., Gartner, M., 2003, Antibakteriyel Özelliklere Sahip MgO(Fe³⁺) Nanoyapılı İnce Filmler, *Thin Solid Films*, 433 (1-2 SPEC.), 186-190.
- Tung, R., 1991, Homojen olmayan Schottky bariyerlerinde elektron taşınımı, *Applied physics letters*, vol. 58, pp. 2821-2823.
- Tung, R., 1992, Metal-yarıiletken arayüzeylerinde elektron taşınımı: Genel teori, *Physical Review B*, cilt 45, s. 13509.
- Tung, R., 1993, Schottky bariyer yüksekliği ölçtüğümüz şeyi gerçekten anlıyor muyuz?, *Journal of Vacuum Science & Technology B*, Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena, vol. 11, pp. 1546-1552.
- Turk, C.G., Tan, S.O. ,Altındal, S., Inem, B., 2020, Frequency and volt age dependence of barrier height, surface states and series resistance in Al/Al₂O₃/p-Si structures in wide range frequency and voltage, *Phys. B Condens. Matter.* 582, 411979 .
- Uchiike, H., Harada, S., 1991, SID 91 Digest, 444 .
- Urban, C. J., 2010, NiSi Schottky bariyerli MOSFET'lerin dopant ayrışması ile DC ve RF karakterizasyonu cilt 12, Forschungszentrum Jülich.

- Vellaikal, M., Kingon, A. I., 1996, İnce Katı Filmler 287-139.
- Visweswaran, S., Venkatachalapathy, R., Haris, M., Murugesan, R., 2020, Characterization of MgO thin film prepared by spray pyrolysis technique using perfume atomizer, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 25, 3846–3853.
- Wang, Z., Chen, G., Xia, D., Zhang, L., 2008 Metanolün Oksidasyonuna Yönelik PtRu/C-MgO'nin Elektrokatalitik Özellikleri Üzerine Çalışmalar, *J. Alloys Compd.* 450 (1-2), 148-151.
- Werner, J. H. ve Güttler, H. H., 1991, Barrier inhomogeneities at Schottky contacts, *Journal of applied physics*, cilt 69, s. 1522-1533 .
- Wilmsen, C., 2013, III-V bileşik yarıiletken arayüzlerinin fiziği ve kimyası, *Springer Science & Business Media*.
- Wolf, D. ve Yip, S., 1992, s Malzeme arayüzleri: atomik düzeyde yapı ve özellikler, *Springer Science & Business Media*.
- Yeo, Y.-C., 2004, Metal gate technology for nanoscale transistors materialselection and process integration issues, *Thin Solid Films*, vol. 462, pp. 34-41.
- Yi Liu, Wang, Z.L. ve Ze., 2003, Akşam Partisi Nanofaz ve Nanoyapılı Malzemeler El Kitabı: Cilt. 1, *Kluwer Academic, Plenum Publishers*, New York.
- Yildirim, S., Yurdaşkal, M., Öztürk, B., Batar, T., & Çelik, E., 2014, Bir Katalizör Malzeme Olarak Grafen Üretimi İçin Alev Sprey Piroлиз Yöntemiyle Nanoboyutlu MgO Tozlarının Sentezi ve Özellikleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(3), 461-465.
- Yoon, J.G., Kim, K., 1996, *Appl. Fizik Lett.* 68 2523.
- Zabihi, F., Ahmadian-Yazdi, M. R., and Eslamian, M., 2016, Fundamental study on the fabrication of inverted planar perovskite solar cells using two-step sequential substrate vibration-assisted spray coating (2S-SVASC), *Nanoscale Res. Lett.* 11 (1), 1–15.
- Zhang, Z., Gong, Z., Yang, Y., 2004, Lityum-İyon Pillerde Çıplak ve TiO₂-Kaplı Katot Malzemelerinin Elektrokimyasal Performansı ve Yüzey Özellikleri, *J. Phys. Chem. B*, 108, 17546-17552.

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER****Adı Soyadı :** Murat TÜRKERİ**Uyruğu :** T.C.

EĞİTİM DERECE	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise :	20 mayıs vakfı Turgut özal Anadolu Lisesi/Malatya	2013
Üniversite :	İnönü Üniversitesi, Merkez, Malatya	2018
Yüksek Lisans :	Batman Üniversitesi FBE Fizik ABD, Merkez, Batman	2023
Çalıştığı Kurum:	MEB (Fen Bilimleri Öğretmeni) /Şırnak	2019- Devam ediyor