



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**Al/ZnO/p-Si ve Au/CuO/p-Si SCHOTTKY YAPILARIN FARKLI
METOTLARLA ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

SAMED ÇETİNKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY

TEMMUZ-2011

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al/ZnO/p-Si ve Au/CuO/p-Si SCHOTTKY YAPILARIN FARKLI
METOTLARLA ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

SAMED ÇETİNKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. H. Ali ÇETİNKARA danışmanlığında hazırlanan bu tez 22/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.H. Ali ÇETİNKARA
Başkan

Yrd.Doç.Dr.Osman ŞAHİN
Üye

Yrd.Doç.Dr.Yener TEKELİ
Üye

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof.Dr. Hüseyin GÖZÜBENLİ

Enstitü Müdürü

Bu çalışma MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenmiştir.

Proje No: 1004 Y 0102

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER	Sayfa
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. KURAMSAL TEMELLER.....	4
1.1.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar	4
1.1.2. Metal/p-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar	5
1.1.3. Metal/p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar	8
1.1.4. Metal/p-Tipi Yarıiletken/Metal Yapısı	10
1.1.5. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlarda Akım İletimi ve Termiyonik Emisyon	11
1.1.6. Metal-Yarıiletken Diyotlarda Ara Yüzey Tabaka Etkisi	14
1.1.7. Metal Oksit Yarıiletken (MOS) Yapısı.....	14
1.1.8. Doğru Ön Besleme I-V Karakteristikleri ve Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Seri Direnç Hesaplanması	16
1.1.9. Norde Fonksiyonları Yardımıyla Diyot Karakteristiği	17
1.1.10. İnce Film Depolama Yöntemleri	23
1.1.10.1. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi.....	23
1.1.10.2. Sol-Jel Tekniği	25
1.1.11. Kristalografik Yapı Analizi	27
1.1.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	29
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	30
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1. Materyal.....	35
3.1.1. Üretilen Filmlerin Yapısal İncelemesi.....	35
3.1.2. Üretilen Filmlerin Morfolojik İncelemesi.....	35
3.1.3. Akım Gerilim Ölçümleri ve Karakteristiklerinden Gerekli Diyot Parametrelerinin Hesaplanması.....	36

3.2. Yöntem.....	36
3.2.1. Kristallerin Temizlenmesi ve Hazırlanması	36
3.2.2. Omik Kontakların Hazırlanması	37
3.2.3. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile ZnO ve CuO Filmlerinin Büyütülmesi.....	38
3.2.3.1. ZnO Filmlerinin Büyütülmesi.....	38
3.2.3.2. CuO Filmlerinin Büyütülmesi.....	39
3.2.4. Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile ZnO ve CuO Filmlerinin Büyütülmesi	39
3.2.4.1. ZnO Filmlerinin Büyütülmesi.....	39
3.2.4.2. CuO Filmlerinin Büyütülmesi.....	40
3.2.3. Schottky Diyotların Hazırlanması	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	42
4.1. Üretilen Filmlerin Yapısal İncelenmesi	42
4.1.1. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi ile Üretilen Filmlerinin Yapısal İncelenmesi.....	42
4.1.1.1. Üretilen ZnO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri.....	43
4.1.1.2. Üretilen CuO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri.....	44
4.1.2.Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Üretilen Filmlerinin Yapısal İncelenmesi.....	45
4.1.2.1. Üretilen ZnO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri...	46
4.1.2.2. Üretilen CuO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri...	47
4.2. Üretilen Yapıların Morfolojik İncelenmesi	48
4.2.1. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi ile Üretilen Film Yapılarının Morfolojik İncelenmesi.....	49
4.2.1.1. ZnO filminin Morfolojik İncelenmesi.....	49
4.2.1.2. CuO filminin Morfolojik İncelenmesi.....	50
4.2.2. Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Üretilen Film Yapılarının Morfolojik İncelenmesi	51
4.2.2.1. ZnO filminin Morfolojik İncelenmesi.....	51
4.2.2.2. CuO filminin Morfolojik İncelenmesi.....	52
4.3. Üretilen Yapıların Elektriksel İncelenmesi	53

4.3.1. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi ile Üretilen	
Diyot Yapılarının Elektriksel İncelenmesi	53
4.3.1.1. Al/ZnO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky	
Diyot Yapısının İncelenmesi	53
4.3.1.2. Au/CuO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky	
Diyot Yapısının İncelenmesi	58
4.3.2. Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Üretilen Diyet	
Yapılarının Elektriksel İncelenmesi	64
4.3.2.1. Al/ZnO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky	
Diyot Yapısının İncelenmesi.....	64
4.3.2.2. Au/CuO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky	
Diyot Yapısının İncelenmesi.....	69
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
TEŞEKKÜR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÖZET

Al/ZnO/p-Si ve Au/CuO/p-Si SCHOTTKY YAPILARIN FARKLI METOTLARLA ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Bu çalışmada, [100] doğrultusuna sahip, B (Boron) katkılandırılmış $d_0 = 380 \mu\text{m}$ kalınlığında $\rho = 1-10 \Omega\text{cm}$ öz dirençli, önceden parlatılmış p-Si (Silisyum) wafer kullanılmıştır. Metal-yarıiletken arasına yerleştirilen iki farklı ince metal-oksit filmin diyot karakteristikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Al/ZnO/p-Si/Al ve Au/CuO/p-Si/Al diyot yapıları üretilmiştir. Metal yarıiletken arasına yerleştirilen ZnO ve CuO nano yapıları ince filmleri büyütme için kolay uygulanabilir, düşük sıcaklıklı ve ucuz bir yöntem olan Kimyasal Banyo depolama (CBD) yöntemi ile çözüldürme büyütme yöntemlerinden biri olan Sol-Jel Spin Coating (döndürme kaplama) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen filmlerin, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Ayrıca, üretilen filmleri kristalografik olarak incelemek amacıyla X-Işını Kırınımı (XRD) analizlerinden elde edilen yapıların tanecik boyutları ve yönelimleri hakkında bilgiler edinildi.

Diyot yapısını oluşturabilmek amacıyla, yapının omik ve doğrultucu kısmı, Fiziksel Buhar Depolama (PVD) yöntemi ($\sim 10^{-5}$ Torr) ile oluşturuldu. Üretilen diyot yapılarının geleneksel I-V, Cheung&Cheung ve Norde fonksiyonları kullanılarak; idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_s) değerleri hesaplandı. Sonuç olarak iki farklı film büyütme yöntemi ile üretilen diyot yapılarının karakteristik parametrelerinden idealite faktörleri ve engel yüksekliklerinin birbiri ile uyum içersindeyken, seri direnç değerlerinin beklendiği gibi birbirinden bağımsız olduğu gözlemlendi. Elde edilen sonuçların, literatür de yer alan sonuçlar ile uyumlu olduğu görüldü.

ABSTRACT**PRODUCTION and CHARACTERIZATIONS of Al/ZnO/p-Si and Au/CuO/p-Si SCHOTTKY STRUCTURES by DIFFERANT METHODES**

In this study, previously polished B-doped p-type Si wafer which has a direction of [100], a thickness of 380 μm and resistivity of 1-10 Ωcm was used. The effect of two different film deposition methods of a thin metal-oxide placed in between metal and semiconductor to diode characterizations have been investigated. Al/ZnO/p-Si/Al and Au/CuO/p-Si/Al diode structures were produced. In order to produce ZnO and CuO nanostructured thin films at the boundary of metal and semiconductor Chemical Bath Deposition (CBD) and Sol-gel Spin Coating methods which are easy to use, low temperature and cost effective were used. Scanning Electron Microscopy (SEM) pictures of the produced films were taken. Also, X-ray diffraction analyses were investigated in order to get information on the grain sizes and orientations of the structures.

In order to produce a diode structure, ohmic and rectifier contacts were produced by evaporation under 10^{-5} Torr pressure by Physical Vapor Deposition (PVD) method. The ideality factor (n), barrier height (ϕ_B) and series resistance (R_s) values of the produced structures were calculated by conventional I-V, Cheung&Cheung and Norde functions. As a result, ideality factor and the barrier hight values of the diode structures which were produced by two different methods are in accordance with each other, but the serial resistance values of the films are not in accordance with each other as expected. The obtained results are found to be compatible with the results in the literature.

2011, 93 pages

Key Words: Schottky, Metal-Semiconductor, Chemical Bath Deposition, Sol-Gel Spin Coaitng Deposition, ZnO, CuO.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
C-V	Kapasitans-gerilim
°C	Santigrat derece
CBD	Kimyasal banyo depolama
CVD	Kimyasal buhar depolama
DEA	Diethanolamine
d	Düzlemler arası mesafe
eV	Elektronvolt
E_g	Yasak enerji aralığı
E_c	İletkenlik bandı enerji seviyesi
E_v	Valans bandı enerji seviyesi
E_F	Fermi enerji seviyesi
FWHM	Yarı maksimum genişliğin radyan cinsinden değeri
ICDD	Uluslar arası difraksiyon data merkezi
ITO	İndiyum katkılı kalay oksit
I-V	Akım-Gerilim
JCPDS	Toz numune difraksiyon standartları komitesi
K	Kelvin
MESFET	Metal yarıiletken alan etkili transistör
ml	Mililitre
M	Molarite
MS	Metal yarıiletken
MIS	Metal yalıtkan yarıiletken
MOS	Metal oksit yarıiletken
nm	Nanometre
OLED	Organik ışık yayan diyot
ρ	Özdirenç
PEG	Polietilen glikol
PLD	Atmalı lazer depolama
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
RCA	Amerikan radyo şirketi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SBD	Schottky Bariyer Diyotu
SD	Schottky Diyot
TE	Termiyonik emisyon
TEM	Geçirimli elektron mikroskobu
V_d	Difüzyon potansiyeli
λ	Dalga boyu
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
ϕ	İş fonksiyonu
XRD	X-ışını difraktometresi
UV	Ultraviyole

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Scherrer formülü ile hesaplanan tane boyutları.....	42
Çizelge 4.2. CBD yöntemiyle üretilen nano yapılı ZnO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri	44
Çizelge 4.3. CBD yöntemiyle üretilen nano yapılı CuO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri	45
Çizelge 4.4. Scherrer formülü ile hesaplanan tane boyutları.....	45
Çizelge 4.5. Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen nano yapılı ZnO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri.....	47
Çizelge 4.6. Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen nano yapılı CuO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri.....	48
Çizelge 4.7. Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri.....	58
Çizelge 4.8. Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri.....	63
Çizelge 4.9. Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri.....	69
Çizelge 4.10. Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	p-tipi yarıiletken ve metalin kontak yapılmadan önceki enerji bant diyagramları.....	6
Şekil 1.2.	p-tipi yarıiletken/metal doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı....	7
Şekil 1.3.	p-tipi yarıiletken/metal omik kontağın enerji bant diyagramı.....	9
Şekil 1.4.	P ⁺ PM yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji bant diyagramı	10
Şekil 1.5.	Schottky etkisinin varlığında metal-yarıiletken yapının enerji bant diagramı.....	13
Şekil 1.6.	MOS yapısının şematik gösterimi.....	14
Şekil 1.7.	Kimyasal banyo depolama düzeneği.....	24
Şekil 1.8.	Döndürme Kaplama Aşamaları.....	26
Şekil 1.9.	Numune yüzeyine gönderilen monokromatik X-ışınlarının atomik düzlemlerden yansımaları.....	27
Şekil 3.1.	Numunelerin yüzey analizinde kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobu.....	35
Şekil 3.2.	Omik kontak yapımında kullanılan tavlama fırını.....	38
Şekil 3.3.	Döndürerek kaplama yöntemi ile ZnO ince film büyütme işlem basamakları.....	40
Şekil 3.4.	Döndürerek kaplama yöntemi ile CuO ince film büyütme işlem basamakları.....	41
Şekil 4.1.	CBD yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin XRD deseni.....	43
Şekil 4.2.	CBD yöntemi ile üretilen CuO ince filminin XRD deseni.....	44
Şekil 4.3.	Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin XRD deseni.....	46
Şekil 4.4.	Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen CuO ince filminin XRD deseni	47
Şekil 4.5.	CBD yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin SEM görüntüsü.....	49
Şekil 4.6.	CBD yöntemi ile üretilen CuO ince filminin SEM görüntüsü.....	50
Şekil 4.7.	Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin SEM görüntüsü.....	51
Şekil 4.8.	Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen CuO ince filminin SEM görüntüsü.....	52
Şekil 4.9.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği.....	54
Şekil 4.10.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının dV/d(lnI)-I grafiği.....	55
Şekil 4.11.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği.....	56

Şekil 4.12.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği.....	57
Şekil 4.13.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği.....	59
Şekil 4.14.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının dV/d(lnI)-I grafiği.....	60
Şekil 4.15.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği.....	61
Şekil 4.16.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği.....	62
Şekil 4.17.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği.....	65
Şekil 4.18.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının dV/d(lnI)-I grafiği.....	66
Şekil 4.19.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği.....	67
Şekil 4.20.	ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği.....	68
Şekil 4.21.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği.....	70
Şekil 4.22.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının dV/d(lnI)-I grafiği.....	71
Şekil 4.23.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği.....	72
Şekil 4.24.	CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği.....	73

1. GİRİŞ

Metal ve yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlik özelliklerinden faydalanma ve uygun kontaklar yaparak elektronik endüstrisinde kullanılması ile ilgili olarak ilk sistemli araştırma, 1874 yılında Braun tarafından yapılmıştır. II.Dünya savaşından sonra elektronik endüstrisinde hafif, az yer kaplayan, güvenilir ve ucuz cihazlara doğan ihtiyaç, imalatçıları yeni bir teknolojik uygulama alanına doğru götürmüştür (Gürler, 1971). Başlangıçta radyo detektörü, daha sonraları da radar detektörü ve mikrodalga diyotu olarak geliştirilerek kullanılan ilk pratik devre elemanlarından birisi, 1900'li yılların başlarında, kullanılan Metal/Yarıiletken (MS) schottky kontaklardır. 1930'lar da ilk kabul edilebilir teori Walter Schottky tarafından geliştirildi (Çetinkara, 2002).

Genellikle metal-yarıiletken kontakların teorisi, teknolojik gelişmelerin çok sonrasında anlaşılabilmiştir. Bu teorik gelişmelerin bir çoğu metal vakum sistemleriyle çalışan araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Schottky'nin metal-vakum sistemlerinde uygulanan elektrik alanın etkisiyle engel alçalması olayı, bu uygulamadan aşağı yukarı elli yıl sonra Sze ve arkadaşları tarafından metal-yarıiletken yapılarda doğrulanmıştır (Çetinkara, 2002). 1921 yılında Richardson, aynı sistemler üzerine Termiyonik emisyon olayını açıklamaktadır. 1942 yılında ise Bethe, aynı olayın metal-yarıiletken doğrultucularda da uygulanabileceğini göstermiştir (Bethe, 1942). Metal-yarıiletken kontaklar üzerinde yapılan araştırmalar 1960'lı dönemlerde daha büyük bir ivme kazandı. 1964'te Baird, Schottky engelini silisyum transistor ile birleştirerek, Schottky engel kapılı metal-yarıiletken alan etkili transistor (MESFET)'ü buldu (Büget ve Wright, 1967).

Daha sonraki çalışmalarda, Schottky'nin Difüzyon ve Bethe'nin Termiyonik emisyon teorileri birleştirilerek tek bir teori halinde 1966 yılında Crowell ve Sze tarafından ortaya konuldu. İdeal Schottky diyotlarındaki akım iletim mekanizmasında Termiyonik emisyon ile difüzyon teorisi ve Crowell ve Sze tarafından birleştirilen Termiyonik emisyon-difüzyon teorileri önemli yer tutmaktadır (Çetinkara, 2002).

Metal-Yarıiletken kontaklar eskiden olduğu gibi günümüz elektroniğinde de önemli araştırmalara konu olan bir alandır (Ayyıldız ve ark., 2003). Güneş pilleri, hızlı anahtar (switching) uygulamaları, mikrodalga karıştırıcı detektörler, Schottky Diyotlar (SD), Schottky Engel Tabakalı Alan Etkili Transistorlar (MESFET), Metal Oksit

Yarıiletken Alan Etkili Transistorlar (MOSFET), Işık Yayan Organik Diyot (OLED) ve birçok yarıiletken elektronik devre elemanlarında bu yapılardan faydalanılmaktadır.

İdeal olmayan metal-yarıiletken Schottky kontak yapısının, metal ile yarıiletken ara yüzey etkisinin ve bu ara yüzey arasındaki davranışlarının bilinmesi, devre elemanlarının üretilmesinde oldukça önemlidir. Çünkü üretilen bir devre elemanının istenilen performansta çalışabilmesi, devre yapısına ait tüm fiziksel parametrelerinin bilinmesine bağlıdır. Yapılan araştırmaların amacı, bir yandan bu yapıların fiziksel özelliklerini belirlemek, diğer yandan da bu fiziksel özelliklerinden faydalanarak yeni devre elemanları geliştirmektir (Çetinkara, 2002).

Metal-yarıiletken Schottky yapıların kimyasal olarak hazırlanan yarıiletken yüzeyleri üzerinde kaçınılmaz bir oksit tabaka oluşmaktadır. Oluşan tabaka 5-10 Å kalınlığında ince bir oksit tabakadır. Bu oksit tabaka kalınlığı içerisinde tünelleme yoluyla elektron transferi yapabilecek kadar incedir. Yarıiletken yüzeyi üzerinde istenmeyen bu doğal oksit tabaka, Schottky yapılarının I-V ve C-V ölçümleri ile belirlenen karakteristik özelliklerinde ideallikten sapmalar göstermesine sebep olur. Bu oluşum, metal-yarıiletken yapıların üretimi esnasında kontrol edilebilirliği ve güvenilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Normal laboratuvar koşullarında yarıiletken yüzeyi üzerinden oluşan bu oksit tabakanın fiziksel özellikleri ne derece etkilediği geçmişten bu güne kadar birçok araştırmacı tarafından teorik ve deneysel çalışmalar ile anlaşılması amaçlanmıştır (Çetinkara, 2002).

Genel olarak ideal olmayan Schottky kontaklarda metal ile yarıiletken arası her zaman ideal şartlarda oluşturulamaz. Bu sebeple yapının karakteristiklerinde idealite faktörü adı verilen bir çarpan ortaya çıkar. Akım-gerilim karakteristiklerinde karşılaşılan bir ikinci durum ise seri direnç etkisidir. Bu etki ideal akım-gerilim denklemlerinde değişikliklerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur (Çetinkara, 2002).

Metal-yarıiletken (MS) yapı arasına farklı özelliklere sahip organik/inorganik ince/kalın film tabakaları yerleştirilerek yapılan çalışmalarda, engel (bariyer) yükseklikleri ve ara yüzey durumları kontrol altına alınması amaçlanmıştır. Metal-yarıiletken (MS) kontakların bariyer yüksekliği, organik ince/kalın film ile yarıiletken arasına bir dipol tabaka konulmasıyla diyot yapıların veriminin ve performansının artırılması amaçlanan çalışmalar yapılmıştır (Ocak, 2009).

Metal oksit olarak bilinen veya saydam iletken olarak da tanımlanan malzemeler, geniş bant aralıklarına sahip optik olarak geçirgen ve elektriksel olarak da iletken bir yapıya sahiptirler. ZnO, ITO... gibi metal oksit bu malzemeler, düşük elektrik direncine, metalik iletkenliğe yakın iletkenliğe, 400 nm ile 700 nm arası görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğe sahip iletkenlerdir. ZnO, $10^{-3} \Omega\text{cm}$ ile $10^{-5} \Omega\text{cm}$ arasında öz direncine ve 3.3 eV doğrudan band genişliğine sahiptir (Kahraman, 2010). Çinko oksit (ZnO) ince filmler yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerinin iyi sonuç vermesinden dolayı araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Şener, 2006). CuO, çeşitli metal oksit yarıiletkenler arasında 2.0 eV yasak enerji aralığı (bandgap) ile p-tipi yarıiletken, zehirli olmayan, bol bulunabilen ve üretim maliyeti düşük malzemedir. CuO ince film yarıiletkeninin hetero-birleşimli güneş pillerinde, elektronik cihazlarda ve sensör uygulamalarında kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2009).

Yarıiletken devre elemanları gelişen teknolojiyle boyutları küçülmüş ve aynı zamanda üstün karakteristik özellikler sergilemesiyle, baskı devreler artık bu uygulamalarda yetersiz kalmaya başlamıştır. Ayrıca hacim, ağırlık ve üstün incelik yönünden daha kullanışlı olarak tanımlanan ince film teknolojisini uygulamaya başlatmıştır (Doğan, 2006).

Günümüzde katı hal fiziğinin en fazla araştırma dalları arasında ince film teknolojisi ve bu filmlerin özellikleri önemini korumaktadır. İnce film detektörler, güneş pilleri, optiksel kütle bellekleri, görüntülü aletlerde ekran gibi her türlü elektronik aygıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu aygıt ve sistemlerin daha verimli çalışması için bilimsel çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir (Kavgacı, 2007;Doğan, 2006;Gürler, 1971).

Çalışmamızda iki farklı çözültiden büyütme yöntemi kullanılarak depolanan ZnO ve CuO ince filmlerinin diyot yapıları karşılaştırılmıştır. Hangi yöntem ile üretilen filmlerin diyot yapılarının daha verimli sonuçlar verebileceğini belirlemek ve üretilen diyot yapılarının karakteristik parametreleri bulunmaya çalışıldı. Bu parametreleri hesaplayabilmek için geleneksel I-V, Cheung&Cheung, Norde fonksiyonları kullanıldı. Elde edilecek sonuçlardan yola çıkarak hangi yöntem kullanılarak üretilen diyot yapılarının ideale yaklaştığı, verimliliği, performansı ve kullanılabilirliği tespit edilmeye çalışıldı.

1.1. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde; metal-yarıiletken Schottky diyotlar ve akım iletim teorileri, ara yüzey tabaka etkisi, metal oksit yapılar, ince film üretim metotları, kristalografik yapı analizi ve taramalı elektron mikroskobu hakkında teorilere yer verildi.

1.1.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar

Metal-yarıiletkenlerle ilgili ilk sistemli araştırma, 1874'lü yıllarda Braun tarafından yapılmıştır. İlk kullanılan pratik devre elemanlarından birisi, 1900'lü yılların başlarında, metal/yarıiletken (Schottky) yapılarıdır.

Kontak; genel anlamda iki maddenin en az dirençle (idealde sıfır) birbirine temas etmesi şeklinde düşünülür. Temas eden yüzeylerin temiz, pürüzsüz ve parlak olması ile ideal bir kontak elde edilebilir.

İki madde kontak durumuna getirildiğinde aralarında yeni bir yük dağılımı olur. Böyle bir sistemde, ısıl dengenin bir sonucu olarak her iki maddenin fermi enerji seviyeleri aynı düzeye gelir. Bu durum iki metal arasında olduğu gibi, metal ile n-tipi veya p-tipi yarıiletkenler arasında ki kontaklarda da olabilir (Çetinkara, 2002).

Bir metal ile bir yarıiletken, kontak haline getirildiğinde meydana gelen yeni sistem, metal-yarıiletken yapı olarak isimlendirilir. Bu kontaklar, her iki madeninde iş fonksiyonlarına bağlı olarak; taşıyıcı hareketinin bir yönde diğerine göre çok büyük olduğu, doğrultucu kontak ve taşıyıcıların bir maddeden diğerine kolayca geçebildiği, omik kontak olmak üzere ikiye ayrılır (Çebişli, 2007).

Omik ve doğrultucu kontakın yük ve potansiyel dağılımlarına ait fiziksel özellikleri ve akım iletim olayı katihal elektroniğinde önemli yer tutmaktadır. Bir kontakın özelliklerini belirleyen parametreleri şöyle tanımlayabiliriz.

Fermi enerji seviyesi (E_f): İletkenlik ve valans bandındaki taşıyıcı sayısına bağlı olarak, yasak enerji bölgesinde yer alan ve mutlak sıfırda (OK) dolmuş olan enerji seviyelerinin en yükseğine denir ve $f(E)$ ile ifade edilir.

İş fonksiyonu (Φ_m): Metal veya yarıiletkenin fermi seviyesinden bir elektronu sıfır kinetik enerji ile yüzeye çıkarmak için gerekli olan enerji miktarıdır.

Yarıiletkenin elektron ilgisi (χ_s): iletkenlik bandının en alt enerji seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkına denir.

Vakum seviyesi: Metalin dışındaki hareketsiz bir elektronun enerjisidir.

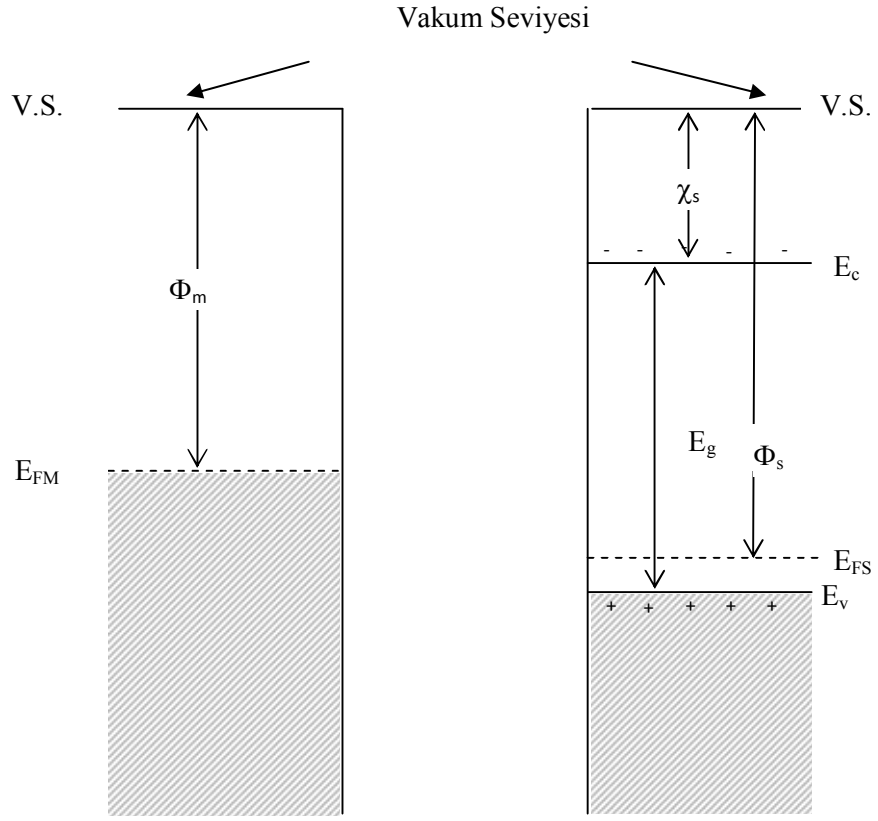
Yüzey yükü : Metal ile yarıiletken kontak yapıldığında, kontak esnasında karşılıklı yük geçişleri olur. Burada metalin kontak yüzeyindeki elektronlar koparak yarıiletken tarafına geçerler. İşte bu şekilde metalin kontak yüzeyinde (+) pozitif yük tabakası oluşur ve yüzey yükü olarak adlandırılır.

Uzay yükü, deplasyon bölge, geçiş bölgesi: kontak esnasında metal tarafından yarıiletkene geçen ve yarıiletken gövde üzerinde biriken negatif yük tabakasıdır (Çetinkara, 2002).

1.1.2. Metal/p-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

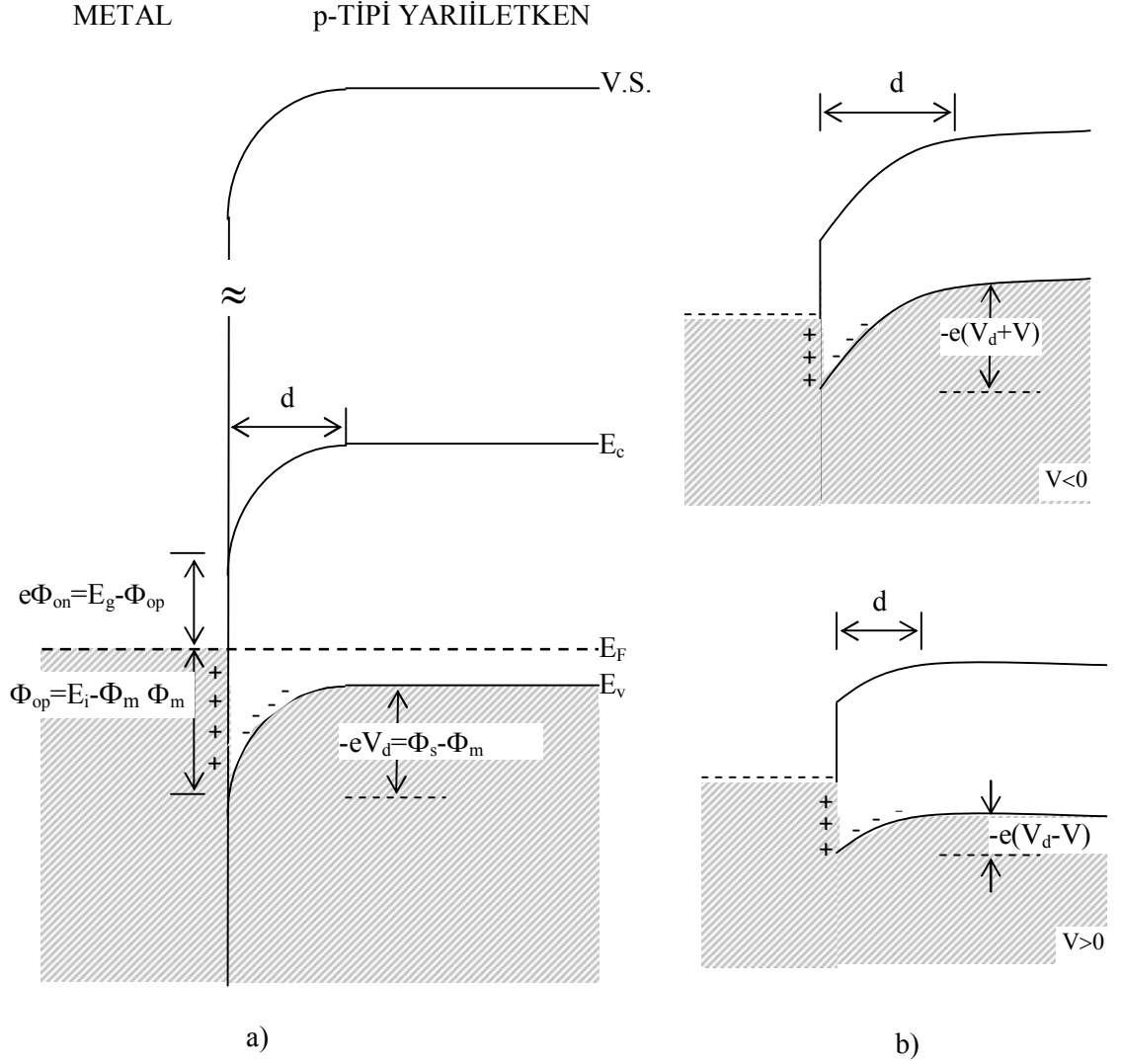
Akım taşıyıcılarını (deşik ve elektron) bir doğrultuda diğerine göre daha kolay geçiren kontaklara doğrultucu kontak denir. p-tipi yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_s > \Phi_m$ ise metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı oluşur. Burada Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s ise yarıiletkenin iş fonksiyonudur (Şekil 1.1.).

Yarıiletkenin fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar farklıdır. Kontakta sonra bir yük alış-verişi olur. Elektronlar metalden yarıiletkene geçer. Yük alış-verişi bittikten sonra, metalin ve p-tipi yarıiletkenin fermi seviyeleri aynı değere gelir. Bu, yarıiletken gövdede enerji seviyelerinin $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yer değişmesini ifade eder. Sonuçta, metal tarafındaki yüzey yükleri ile p-tipi yarıiletken tarafındaki uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakası, kontakta bir potansiyel engelinin oluşmasına neden olur. Kontakta sonraki metal/p-tipi yarıiletkenin enerji bant diyagramı Şekil 1.2.a'da görülmektedir.



Şekil 1.1. p-tipi yarıiletken ve metalin kontak yapılmadan önceki enerji bant diyagramları (Çetinkara, 2002).

Bu potansiyel engelinin yarıiletken tarafındaki değeri: $eV_d = \Phi_s - \Phi_m$ olur. Burada metal yüzeyine göre ölçülen V_d potansiyeline difüzyon potansiyeli denir. Potansiyel engelinin metal tarafındaki değeri ise; $e\Phi_{0p} = E_i - \Phi_m$ dir. Burada E_i vakum seviyesi ile valans bandının kontak bölgesindeki üst enerji düzeyi arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır.



Şekil 1.2. p-tipi yarıiletken/metal doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı (Çetinkara, 2002).

- a) Kontak uygulandıktan sonra ısıl dengedeki enerji bant diyagramı
 b) $V \neq 0$ olması durumunda enerji bant diyagramı

Metal tarafında dik olarak yükselen potansiyel engeli, yarıiletken içerisinde d genişliğine sahiptir. Böylece yarıiletken tarafında elektronlardan boşalmış bir bölge oluşur. Bu d genişliğindeki bölgeye engel bölgesi (tabakası), uzay yükü bölgesi, geçiş bölgesi veya boşalma bölgesi (depletion layer) denir. Pozitif ve negatif yükler arasında kalan bu bölge kapasite özelliğine sahiptir ve Schottky kapasitesi veya kontak kapasitesi olarak adlandırılır. Engel bölgesinin d kalınlığı, iyonlaşmış alıcıların (akseptörlerin) yoğunluğuna ve difüzyon potansiyeli V_d 'nin değerine bağlıdır.

Şekil 1.2.b'den de görüldüğü gibi yarıiletken tarafındaki potansiyel engeli yüksekliği, uygulanan V gerilimine bağlı olarak değişir. Ancak metal tarafındaki potansiyel engeli yüksekliği, gerilim uygulamalarından (Schottky etkisi ve ara yüzey tabakası etkisi hariç) bağımsızdır. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağında $V < 0$ ise kontak ters beslemede, $V > 0$ ise kontak doğru beslemededir.

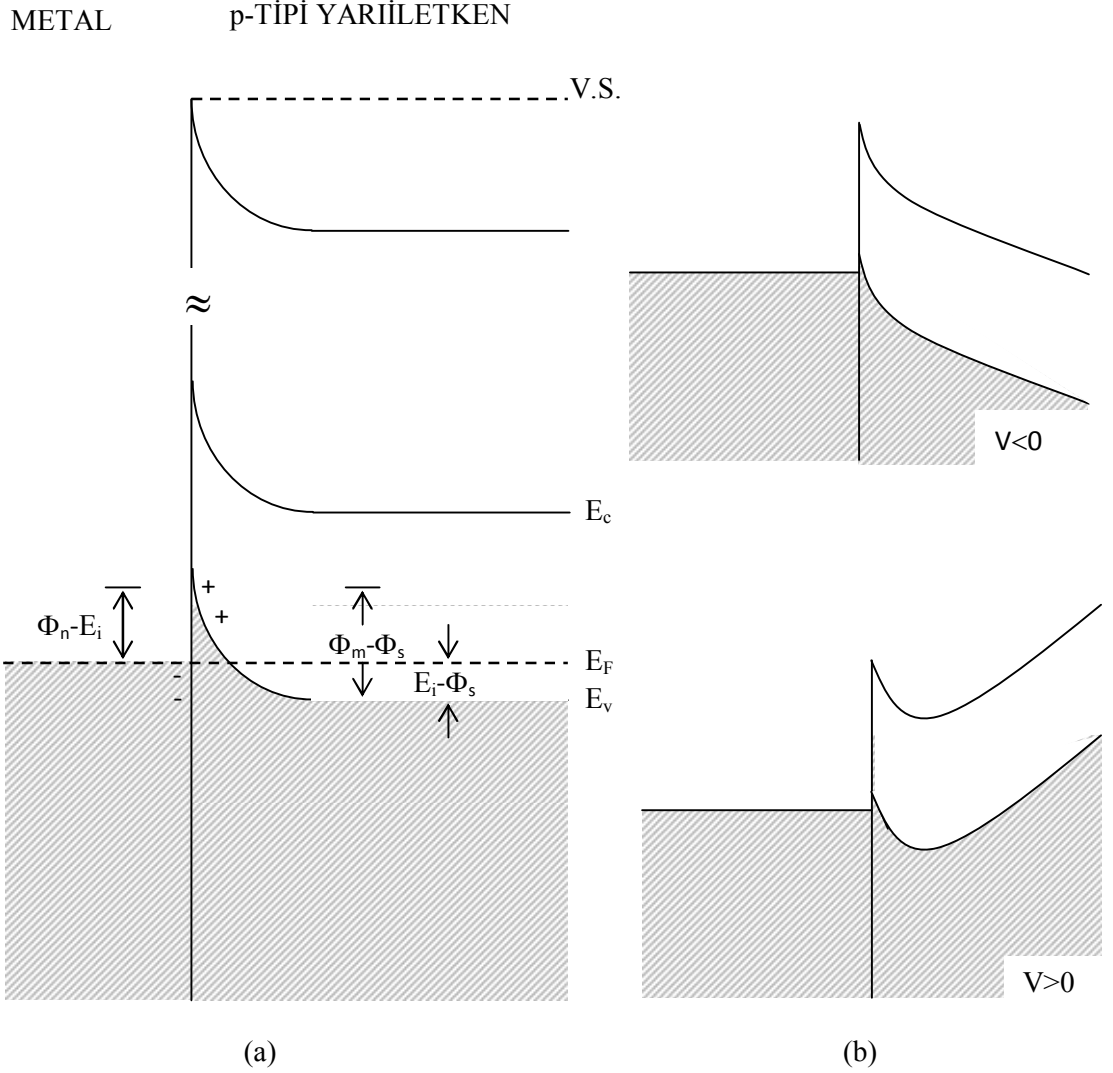
Isıl uyarılmadan dolayı, yeterli enerjiye sahip olan metalin bazıdeşikleri, potansiyel engelini aşır yarıiletkenin içine geçer. Aynı şekilde, yarıiletkenin bazıdeşikleri de potansiyel engelini aşır metalin içine geçer. Bu, denge durumunda eşit ve zıt I_0 akımlarına sebep olur. Yarıiletkene bir (V) gerilimi uygulanırsa soldan sağa (metalden yarıiletkene) gidendeşikler için engel değişmez ve bundan dolayı sağdan sola karşılık gelen akım da değişmeyecektir. Fakat iletkenlik bandındaki enerji seviyeleri eV kadar yükseldiğinden, sağdan sola (yarıiletkenden metale) gidendeşikler için engel eV kadar azalmış olur (Şekil 1.2.b). Böylece soldan sağa olan akım akışı $e^{eV/kT}$ çarpanı kadar değişmiş olacaktır. Sonuç olarak; net akım,

$$I = I_0 \left[e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right] \quad (1.1)$$

denklemin eştir olur (Çetinkara, 2002).

1.1.3. Metal/p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

p-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , metalin iş fonksiyonu Φ_m olsun. $\Phi_m > \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. Metalin fermi seviyesi yarıiletkenin fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar farklıdır. Kontakdan sonra, elektronlar yarıiletkenden metalin içine geride pozitif bir yüzey yükü bırakarak geçer ve kontağın metal tarafında negatif bir yüzey yüküne sebep olur. Yük alış-verişi bittikten sonra, yarıiletken gövdedeki fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar alçalarak metalin fermi seviyesi ile aynı düzeye gelir. Deşik yoğunluğunun artmasından dolayı yarıiletken yüzey daha fazla p-tipi olur. Böylece elektronlar metalden yarıiletken içerisindeki boş durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketideşiklerin yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçendeşikler hemen nötr duruma gelirler.



Şekil 1.3. p-tipi yarıiletken/metal omik kontakın enerji bant diyagramı (Çetinkara, 2002).

- Kontak uygulandıktan sonra ısıl dengedeki enerji bant diyagramı
- $V \neq 0$ olması durumunda enerji bant diyagramı

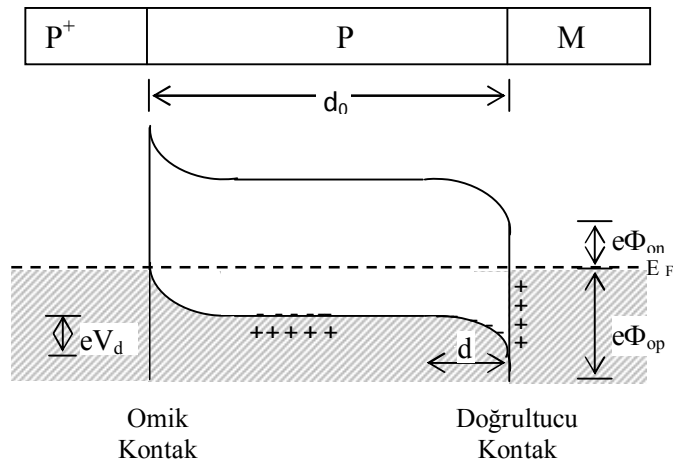
Isıl dengeden sonra, kontakın her iki tarafında meydana gelen yüzey yüklerinden dolayı bir dipol tabakası oluşur. Böyle bir kontakta, taşıyıcılar metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metale serbestçe geçer. Bir V gerilimi uygulanırsa bu potansiyel farkı doğrultucu kontakta olduğu gibi sadece kontak bölgesinde değil bütün yarıiletken gövde boyunca dağılacaktır. Kontakın sonraki enerji bant diyagramı Şekil 1.3.a'da görülmektedir.

Yarıiletkene negatif ve metale pozitif gerilim uygulandığında, yarıiletkenin dolu (valans) bandına deşik salınması olur ve bundan dolayı omik kontaklara enjeksiyon kontaktları da denir.

Pratikte omik kontak elde edebilmek için p-tipi yarıiletkenin yüzeyine buharlaştırılan metal yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Böylece yarıiletkenin yüzeyinde bir P^+ tabakası oluşur. Bu tabaka yarıiletken gövdeye göre deşik bakımından daha zengindir (Çetinkara, 2002).

1.1.4. Metal/p-Tipi Yarıiletken/Metal Yapısı

Metal/p-tipi yarıiletken/metal P^+PM yapısı; p-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine deşik (hole) bakımından çok zengin P^+P omik kontağı ile diğer yüzeyine uygulanan PM doğrultucu kontağından ibarettir. Isıl dengede böyle bir yapının enerji bant diyagramı Şekil 1.4.'de görölmektedir. P^+ omik kontak tarafı $V>0$ olacak şekilde beslendiğinde yapı doğru beslemede olur. P^+ tarafı $V<0$ olacak şekilde beslendiğinde yapı ters beslemede olur. P^+PM yapısı diyot özelliğine sahip bir yapıdır. Böyle bir yapı kısaca yarıiletken diyot olarak adlandırılır (Şekil 1.4.) (Çetinkara, 2002).



Şekil 1.4. P^+PM yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji bant diyagramı

1.1.5. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlarda Akım İletimi ve Termiyonik Emisyon

Termiyonik emisyon, sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların salınması anlamına gelir. Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklarda bu olay, metal ya da yarıiletken tarafındaki taşıyıcıların (elektronların ve deşiklerin) potansiyel engelini termal (ısı) enerjileri nedeniyle aşması olarak tanımlanır (Keleş, 2008). Metal n-tipi yarıiletken yapılarda bu olay elektronlar, metal p-tipi yarıiletken yapılarda ise deşiklerin tarafından sağlanır

Termiyonik emisyon teorisi; doğrultucu kantağın potansiyel engelini, kT enerjisinden büyük olduğunu ve Schottky bölgesindeki taşıyıcı çarpışmalarının çok küçük olduğunu kabul eder (Çetinkara, 2002).

İlk olarak yarıiletkenden metale doğru olan Termiyonik emisyon akım yoğunluğu J_{Y-M} 'yi çıkaralım. x-y önünü kontak yüzeyine dik olarak alalım. Hızları V_x ile $V_x + dV_x$ arasında olan elektronların yoğunluğu;

$$d_n = N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(- \frac{\frac{1}{2} m_n^* V_x^2}{kT} \right) dV_x \quad (1.2)$$

ifadesi ile verilir. Burada N_d donar yoğunluğunu m_n^* yarıiletkendeki elektronların etkin kütlesi, k Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Yarıiletkenin potansiyel uygulanmadığı zamanki akım yoğunluğu, hızları $(1/2) m_n^* V_x^2 \geq eV_d$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının e ile çarpımı aşağıdaki ifadeyle verilir.

$$J_{Y-M} = \int_{0x}^{\infty} eV_x d_n = eN_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \int_{V_{0x}}^{\infty} V_x \exp \left(- \frac{\frac{1}{2} m_n^* V_x^2}{kT} \right) dV_x \quad (1.3)$$

$$= eN_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(- \frac{eV_d}{kT} \right) \quad (1.4)$$

Burada, $V_{0x} = \left(\frac{2eV_d}{m_n^*} \right)$ olup, taşıyıcının eV_d engelini aşması için gerekli olan eşik hızıdır. İletkenlik bandının tabanı, sıfır enerji seviyesi olarak alınır, donar yoğunluğu:

$$N_d = 2 \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{\frac{1}{2}} \exp(E_F/kT) \quad (1.5)$$

eşitliği ile verilir. Bu ifade

$$J_n = eN_d |V_d| \exp\left(-\frac{eV_d}{kT}\right) \{\exp(eV/kT) - 1\} \quad (1.6)$$

de yerine konulursa

$$J_{Y-M} = \frac{4\pi e m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{eV_d + E_F}{kT}\right) \quad (1.7)$$

elde edilir. Şekil 1.5.'den de görüldüğü gibi, metal tarafında yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre engel yüksekliği $e\phi_{bn} = eV_d + E_F$ olur. Böylece;

$$J_{Y-M} = R_n^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right) \quad (1.8)$$

İfadesini yazabiliriz. Burada

$$R_n^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2 T^2}{h^3} \quad (1.9)$$

Değerine sahiptir ve elektronlar için etkin Richardson sabiti diye adlandırılır. Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru beslemede olduğu zaman engel yüksekliği azalacağından akım yoğunluğu $\exp(eV/kT)$ çarpanı ile artacaktır. Dolayısıyla

$$J_{Y-M} = R_n^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right) \{\exp(eV/kT) - 1\} \quad (1.10)$$

Olur. Burada

$$J_0 = R_n^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{bn}}{kT}\right) \quad (1.11)$$

J_0 doyma akım yoğunluğudur. Denklem (1.11) ile verilen doyma akım yoğunluğu uygulanan gerilimden bağımsız olması gerekirken Schottky etkisinden dolayı uygulanan gerilime bağlı olarak bir miktar artış gösterir. Schottky etkisi (Şekil 1.5.); elektrostatik etkileşme ve uygulanan gerilimden (elektrik alan) dolayı engel yüksekliğinin ($e\Delta\phi_{bn}$) kadar alçalmasıdır. Bu engel alçalması; ($e\Delta\phi_{bn}$) imaj kuvvet etkisinden dolayı engel alçalması

$$e(\Delta\phi_{bn}) = \alpha_0(V_d + V)^{\frac{1}{4}} \quad (1.12)$$

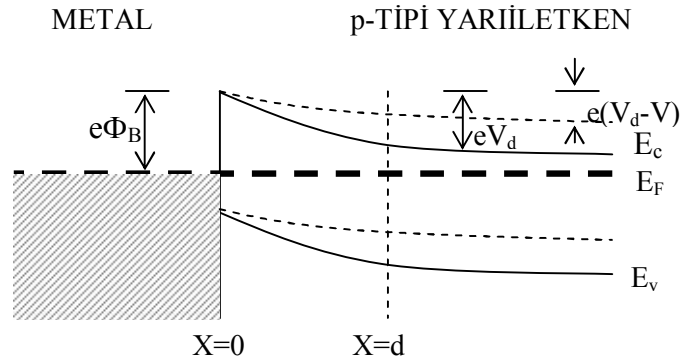
bağıntısı ile verilir. Böylece akım yoğunluğu ifadesi $e\phi_{bn}$ yerine $e(\phi_{bn,0} - \Delta\phi_{bn})$ yazılırsa;

$$J_0 = R_n^* T^2 \exp(-e\phi_{bn}/kT) \exp\left(\alpha_0(V_d + V)^{\frac{1}{4}}\right) \quad (1.13)$$

olur. Denkleminde de görüldüğü gibi bu ifade, uygulanan gerilime bağlıdır. Burada $\phi_{bn,0}$ sıfır besleme voltajında imaj-kuvvet etkisiz engel yüksekliğidir ve α_0 sabiti;

$$\alpha_0 = \left[\frac{e^7 \cdot N_d}{8(\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2 (kT)^7} \right] \quad (1.14)$$

şeklindedir. Burada ϵ_s yarıiletkenin ve ϵ_0 ise boşluğun dielektrik sabitleridir (Keleş, 2008).



Şekil 1.5. Schottky etkisinin varlığında metal-yarıiletken yapının enerji bandı diagramı

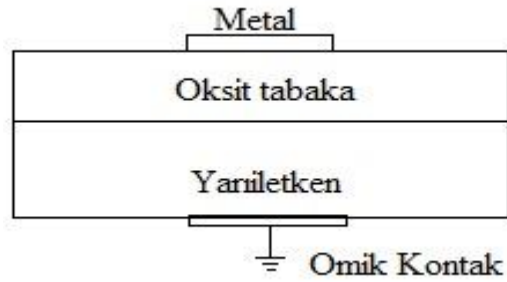
1.1.6. Metal-Yarıiletken Diyotlarda Ara Yüzey Tabaka Etkisi

Bir yarıiletken çok yüksek bir vakumda yarılarak üretilmedikçe, Schottky diyotlarda hemen hemen her zaman metal ve yarıiletken arasında ince bir oksit tabakası bulunur. Tabaka, kalın bir oksidin bant yapısı karakteristiklerine sahip olamayacak kadar ince bile olsa, bir yalıtkan olarak göz önüne alınabilir ve şu üç etkiye sahiptir:

1. Yalıtkan tabaka boyunca potansiyel düşmesinden dolayı sıfır ön besleme engel yüksekliği, ideal bir diyota göre daha düşüktür.
2. Belli bir ön besleme için akım, R_n^* 'deki bir azalmaya denk bir tarzda azalsın diye, elektronlar yalıtkanlar tarafından oluşturulan engelin içinden tünel olayı ile geçmek zorundadır.
3. Bir ön besleme uygulandığında, ön besleme geriliminin bir kısmı yalıtkan tabakası üzerinde düşer. Bu durumda engel yüksekliği ön besleme geriliminin bir fonksiyonudur. Engel yüksekliğinin bu besleme bağımlılığı etkisi, n idealite faktörü cinsinden tanımlanabilecek bir tarzda akım-gerilim karakteristiğinin şeklini değiştirmektedir (Çetinkara, 2002).

1.1.7. Metal Oksit Yarıiletken (MOS) Yapılar

Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS, Metal Oxide Semiconductor) elemanları, katıhal fiziğinde metal-yarıiletken kontaklar sınıfına girmektedir (Şekil 1.6.). Metal-yarıiletken kontaklar çağdaş elektronikte önemli rol oynayan yapılardır. Bu yapıların kullanıldığı modern elektronik devre elemanlarının performansı, MOS kalitesine önemli ölçüde bağlıdır (Sağlam, 1994)



Şekil 1.6. MOS yapısının şematik gösterimi

Yapıdaki oksit tabakasının dielektrik özelliğinden dolayı MOS yapılar, paralel levhalı bir kondansatöre benzer ve levhalardan birisinin metal, diğerinin yarıiletken olmasından dolayı asimetrik kondansatör olarak tanımlanabilir. İdeal ve Gerçek MOS yapılar olmak üzere ikiye ayrılır.

Aşağıda verilen özellikleri taşıyan eleman ideal MOS yapısı olarak tanımlanmaktadır.

- 1) Metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki oksit, bant aralığı çok büyük olduğundan ideal bir dielektriktir. Oksit içinde ve oksit-yarıiletken arayüzeyinde tuzaklar, sabit ve hareketli iyonlar bulunmaz.
- 2) Metal ve yarıiletken iş fonksiyonları arasındaki fark sıfırdır.
- 3) Oksitin bant aralığı o kadar büyüktür ki oksitin iletim bandında temik yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

İdeal bir MOS yapıda metal elektroda gerilim uyguladığı zaman yarıiletkende yük kaymaları oluşur. Yarıiletkendeki serbest hareketli yük yoğunluğu metaldekine göre daha az ve uygulanan gerilime bağlıdır. Gerçek MOS yapısında; arayüzey halleri, iyonlaşmış tuzaklar, hareketli iyonlar, sabit oksit ve arayüzey yükleri gibi sebeplerle ideal MOS yapıdan sapmalar gözlenir (Sağlam, 1994)

Gerçek MOS yapıda sapmalar genel olarak arayüzey hallerinden kaynaklanır. Arayüzey hali (durumu) oksit-yarıiletken arayüzeyinde bulunan bir enerji seviyesidir.

MOS yapısının, metal-oksit ve oksit-yarıiletken arayüzeylerindeki davranışları ile oksitin ve yarıiletkenin davranışlarının fabrikasyon teknolojisinde öncelikle bilinmesi gerekir. Seri üretilen elektronik devre elemanlarında amaç, her zaman ideale yakın bir performans sunmasıdır. Devre elemanlarının istenilen performansı sunabilmesi, devre yapısına ait tüm hususiyetlerinin bilinmesi ile mümkün olabilir. Bu sebepten, elektronik devre elemanlarının fiziksel ve elektriksel özelliklerini araştırmak büyük bir öneme sahiptir.

1.1.8. Doğru Ön Besleme I-V Karakteristikleri ve Cheung Fonksiyonları Yardımıyla Seri Direnç Hesaplanması

Cheung tarafından, doğru ön besleme I-V karakteristikleri yardımıyla Metal-yarıiletken diyot parametrelerinin hesaplanması için farklı bir yöntem ileri sürüldü (Çetinkara, 2002).

Termiyonik emisyon teorisinde kullanılan akım yoğunluğu denklemi;

$$J_n = R_n^* T^2 e^{-\frac{e\phi_{Bn}}{kT}} \left[e^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right] \quad (1.15)$$

Denklemi diyotun etkin alanı (A) ile çarptığımızda, toplam I_n akımı aşağıdaki gibi bulunur ($eV_F \gg 3kT$):

$$I_n = A R_n^* T^2 e^{-\frac{e\phi_{Bn}}{kT}} e^{\frac{eV_F}{kT}} \quad (1.16)$$

Burada, V_F engel boyunca düşen potansiyel olup, ($eV_F \gg 3kT$) olduğundan denklem (1.15)'deki (-1) ihmal edilmiştir. Denklem (1.16) ideal durum içindir.

Uygulanan gerilimin tümü boşalma bölgesinde düşmediğinden, I-V karakteristiklerinde ideal durumdan sapmalar olabilir. Bu ideal durumdan sapmaları da ifade edebilmek için, idealite faktörü denilen boyutsuz bir sabit tanımlanır. Nötr bölge direnci (R_s) ile gösterilirse ve $V_F = V - IR_s$ alınarak (1.16) denklemi;

$$I_n = R_n^* T^2 e^{-\frac{e\phi_{Bn}}{kT}} \left[e^{\frac{e(V - IR_s)}{nkT}} \right] \quad (1.17)$$

şekline dönüşür. Denklem (1.17)'nin logaritmasını alarak V bulunursa;

$$V = + \left(\frac{nkT}{e} \right) \ln \left(\frac{I}{A R_n^* T^2} \right) + n\phi_{Bn} + IR_s \quad (1.18)$$

elde edilir. Bu denklemin $\ln I$ 'ya göre türevi alınırsa;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (1.19)$$

elde edilir. Bu son denkleme dikkat edildiğinde, $dV/d(\ln I)$ 'nin I 'ya göre grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun eğimi ise seri direnç R_s 'yi verir. Yine bu doğrunun $I=0$ değeri için, doğrunun düşey eksenini kestiği değeri kT/e 'ye bölündüğünde idealite faktörü (n) bulunabilir.

Ayrıca potansiyel engel değerini bulmak için (1.18) denklemindeki son iki terime $H(I)$ dersek (Çetinkara, 2002);

$$H(I) = n\phi_{Bn} + IR_s \quad (1.20)$$

elde edilir. Denklem (3.18) aşağıdaki şekilde düzenlenirse;

$$H(I) = V - \frac{nkT}{e} \ln \left(\frac{I}{AR_n^* T^2} \right) \quad (1.21)$$

Açıkça görülüyor ki (1.20) denklemine göre de çizilecek olan $H(I)-I$ grafiğinden elde edilecek doğrunun eğimi, nötr bölgenin direnci R_s ve $I=0$ değeri için, yani doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan, $e\phi_{Bn}$ engel yüksekliği bulunabilir. (1.20) ve (1.21) denklemleri Cheung&Cheung fonksiyonları olarak bilinir (Çetinkara, 2002).

1.1.9. Norde Fonksiyonları Yardımıyla Diyot Karakteristiği

a) İdeal Schottky Diyot Karakteristiği

Daha önce çıkartılan akım yoğunluğu denklemi (1.15) diyotun etkin alanı A ile çarpıldığında, toplam I_n akımı aşağıdaki gibi bulunur ($eV_F \gg 3kT$);

$$I_n = AR_n^* T^2 e^{-\frac{e\phi_{Bn}}{kT}} \left[e^{\left(\frac{e(V_F)}{kT}\right)} \right] \quad (1.22)$$

İdeal bir Schottky diyot için Termiyonik emisyon etkili akım ifadesi

$$I=I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_d}{kT}-1\right) \right] \quad (1.23)$$

ile verilir. Burada V_d difüzyon potansiyeli, $b = e/kT$ ve I_0 , doyma akımı olup

$$I_0=AR_n^*T^2 \exp(-\beta\phi_{bn}) \quad (1.24)$$

ifadesine sahiptir ($eV_d / kT \gg 1$ için

$$I \cong I_0 \exp\left(\frac{eV_d}{kT}\right) \quad (1.25)$$

elde edilir. Burada $\ln(I)$ 'nın V 'ye karşı grafiği (ϕ_{bn}) engel yüksekliğinin tayini için farklı bir imkan sağlar. Bu durum yarıiletken diyotta bir seri dirence neden olur. Akım-Voltaj karakteristiği, $kT/e \ll V \ll IR$ aralığındaki gerilimler için doğru şekilde iken, R çok büyük ise doğru kısım oldukça dar olur. Bu seri direnç etkisini ortadan kaldırmak için $F(V)$ fonksiyonu kullanılır:

$$F(V)=\frac{V}{2}-\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{1}{AR_n^*T^2}\right) \quad (1.26)$$

Seri dirençli bir diyot için akım; $V_d = V-IR$ alınır

$$I=I_0[\exp(\beta V_d)-1] \Rightarrow I=I_0[\exp(\beta(V-IR))-1] \quad (1.27)$$

bağıntısı ile verilir. $V_d \gg kT/e$ olduğu kabul edilip Denklem (1.27), Denklem (1.26)'da yerine yazılırsa

$$F(V)=\phi_{Bn}-IR-\frac{V}{2} \quad (1.28)$$

elde edilir. İdeal halde $R=0$ olur. Bu durumda $F(V)$ yeniden yazılırsa

$$F(V) = \phi_{Bn} - \frac{V}{2} \quad (1.29)$$

ifadesi bulunur. Bu fonksiyonun grafiği, eğimi (-1/2) olan bir doğrudur. Denklem (1.26)'da ohm yasası gereğince $I=V/R$ 'dir. Bu ifade denklem (1.26)'da yerine yazılarak,

$$F(V) = F_R(V) = \frac{V}{2} - \frac{1}{\beta} \ln \left(\frac{1}{R A R_n T^2} \right) \quad (1.30)$$

elde edilir. Çok büyük voltajlar için bu ifade eğimi 1/2 olan bir doğruya ulaşacaktır. Burada $F(V)$ 'nin küçük akımlar için ideal hale, büyük akımlar için $F_R(V)$ eğrisine yaklaşacağı sonucuna varılır. $F(V)$ fonksiyonu bu iki nokta arasında bir minimum değere sahiptir. (1.28) denkleminin V 'ye göre türevi alındığında,

$$\frac{dF(V)}{dV} = R \left(\frac{dI}{dV} \right) - \frac{1}{2} \quad (1.31)$$

bağıntısı elde edilir.

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI}{dV_d} \left[1 + R \left(\frac{dI}{dV_d} \right) \right]^{-1} \quad (1.32)$$

ve

$$\frac{dI}{dV_d} = \frac{dI}{dV_d} [I_{\min} \exp(\beta V_d)] = \beta I \quad (1.33)$$

olduğundan, fonksiyonun türevi

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{\beta R I}{1 + \beta R I} - \frac{1}{2} \quad (1.34)$$

olarak elde edilir. $dF(V)/dV=0$ değeri $F(V)$ 'nin minimum noktasındaki I_{\min} akımını verecektir. Buna göre Denklem (1.34)'den I_{\min} akımı

$$I_{\min} = \frac{1}{\beta R} = \frac{kT}{qR} \quad (1.35)$$

olarak bulunur. I_{\min} akımına karşılık gelen voltaj,

$$V_{\min} = I_{\min} R + V_d(I_{\min}) \quad (1.36)$$

$$V_{\min} = \frac{1}{\beta} + \ln\left(\frac{I_{\min}}{AR_n^* T^2}\right) \quad (1.37)$$

şeklinde elde edilir. Buna göre $F(V)$ 'nin minimum değeri

$$F(V_{\min}) = \frac{V_{\min}}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{I_{\min}}{AR_n^* T^2} \right) \quad (1.38)$$

Şeklinde elde edilir. I_{\min} ve V_{\min} 'nin ölçülen değerleri kullanılarak

$$R = \frac{kT}{qI_{\min}} \quad (1.39)$$

$$\Phi_{Bn} = F(V_{\min}) + \frac{V_{\min}}{2} + \frac{kT}{q} \quad (1.40)$$

Denklem (1.39) ve denklem (1.40) elde edilir.

b) İdeal Olmayan Schottky Diyot Karakteristiği

İdeal Schottky diyot yapısının akım-voltaj karakteristiği (1.23) ifadesi ile verilir. Doğru beslem I-V karakteristiğinden sapmalar idealite çarpanı n ile gösterilir ve doğru besleme altında I-V karakteristiği de $\exp(eV/nkT)$ olur. Buna göre doyma akımı denklem (1.24)'de verilmiştir. Simdi n , Φ_{Bn} ve R 'yi belirleyebilmek için yeni bir yöntem ortaya konulacaktır. Doğru gerilim uygulanan Schottky diyotta akım;

$$I = AR_n^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV_d}{nkT}\right) \quad (1.41)$$

şeklindedir. Burada n idealite faktörü olup $1 < n < 2$ dir. n , sıcaklık ve uygulama gerilimden bağımsız bir sabittir. Denklem (1.25)'de (1.26) bağıntısı yerine yazılarak $F(V)$ için;

$$F(V) = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right) V + \phi_{Bn} + \frac{IR}{n} \quad (1.42)$$

ifadesi elde edilir. $R=0$ ideal hali için $F(V)$ fonksiyonu $(n-2)/2n (<0)$ eğimli bir doğru olacaktır. $n=1$ iken eğim $(-1/2)$ 'ye eşittir. O halde $n=1$ durumu ideal Schottky diyot durumudur. Denklem (1.42)'nin V 'ye göre diferansiyeli alınarak

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{1}{2} - \frac{1}{n} + \left(\frac{R}{n}\right) \left(\frac{dI}{dV}\right) \quad (1.43)$$

elde edilir. Denklem (1.41)'in V_d 'ye göre diferansiyeli

$$\frac{dI}{dV_d} = \frac{\beta I}{n} \quad (1.44)$$

eşitliğini verir. Diyot boyunca voltaj V_d ise,

$$V_d = V - IR \quad (1.45)$$

Şeklinde elde edilir. Bu denklemin I 'ya göre diferansiyeli alınarak,

$$\frac{dV_d}{dI} = \frac{dV}{dI} - R \quad (3.46)$$

denklemini elde edilir. Gerekli düzenlemeler yapılarak,

$$\frac{dI}{dV} = \frac{dI/dV_d}{1 + R dI/dV_d} \quad (1.47)$$

bağıntısı bulunur. Denklem (1.47) Denklem (1.43)'de yerine yazılarak

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{n-2+\beta RI}{2(n+\beta RI)} \quad (3.48)$$

elde edilir. $dF(V)/dV=0$ durumu $F(V)$ 'nin minimum noktasındaki akımı verecektir.

Buna göre,

$$\frac{dF(V)}{dV} = \frac{n-2+\beta RI}{2(n+\beta RI)} = 0 \quad (3.49)$$

ifadesinden

$$R = \frac{2-n}{\beta I_{\min}} \quad (3.50)$$

elde edilir. Buna karşı gelen gerilim denklemi (1.44)'den

$$V_{\min} = V_d I_{\min} - R I_{\min} \quad (3.51)$$

şeklinde yazılır. Denklem (1.42)'de V yerine V_{\min} , I yerine I_{\min} ve R 'nin değerini yerine koymak suretiyle

$$F(V_{\min}) = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right) V_{\min} + \Phi_{Bn} - \frac{2-n}{\beta n} \quad (3.52)$$

ifadesi bulunur. $n=1$ için R ve Φ_{Bn} hesaplanırsa, $[R = (2-n)/\beta I_{\min} \Rightarrow R = (kT/e)I_{\min}]$ için;

$$F(V_{\min}) = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right) V_{\min} + \Phi_n - \frac{I_{\min} R}{n} \quad (3.53)$$

ifadesinde yerine konup $n=1$ yazılarak Φ_{Bn} çözümlerse,

$$\Phi_{Bn} = F(V_{\min}) + \frac{V_{\min}}{2} - \frac{kT}{q} \quad (1.54)$$

elde edilir (Çebişli, 2007).

1.1.10. İnce Film Depolama Yöntemleri

Yarıiletken devre elemanları, gelişen teknolojiyle boyutları küçülmüş ve üstün karakteristik özellikler sergilemeleriyle birlikte, baskı devreler artık bu uygulamalarda yetersiz kalmaya başlamıştır. Artık hacim, ağırlık ve üstün incelik yönünden daha kullanışlı olan ince film teknolojisine geçilmiştir (Doğan, 2006).

İki mikron kalınlığın altındaki filmler ince film olarak tanımlanır. Bu malzemelerin boyutları küçük olduğundan dolayı elektronik devre tasarımlarında kullanıma uygundur.

İnce film üretimi yapabilmek için kullanılan farklı birçok metot bulunmaktadır. Fiziksel Buhar Depolama, Kimyasal Buhar Depolama, Elektrokimyasal Depolama, Alkol Bazlı Çözelti Hazırlama diğer adıyla Sol-Jel Yöntemleri, Kimyasal Banyo Depolama gibi yöntemler mevcuttur. Bunlardan deney aşamamızda kullandığımız, Kimyasal Banyo Depolama, alkol bazlı çözelti hazırlama Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemlerine yer verildi.

1.1.10.1. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi

Kimyasal Banyo Depolama yöntemi çözültiden büyütme yöntemlerinden biridir. Temel olarak kaplanmak istenen oksitli metalin tuzunu ve ortamı alkalın yapan çözeltinin belirli bir sıcaklığa ısıtılması esasına dayanır. Bu yolla ısı etkisiyle ardışık reaksiyonlar sonucu son ürün olarak çıkan ilgili metal oksidin, altlık malzeme üzerine kontrollü olarak çökertilmesi sağlanır. Kimyasal Banyo Depolama yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Düşük sıcaklık uygulanabilir.
- Pahalı deney ekipmanları gerektirmez.
- Ucuz, hızlı ve basit bir uygulamadır.
- Geniş yüzeylere metal oksit yarıiletken film kaplamak için uygundur.

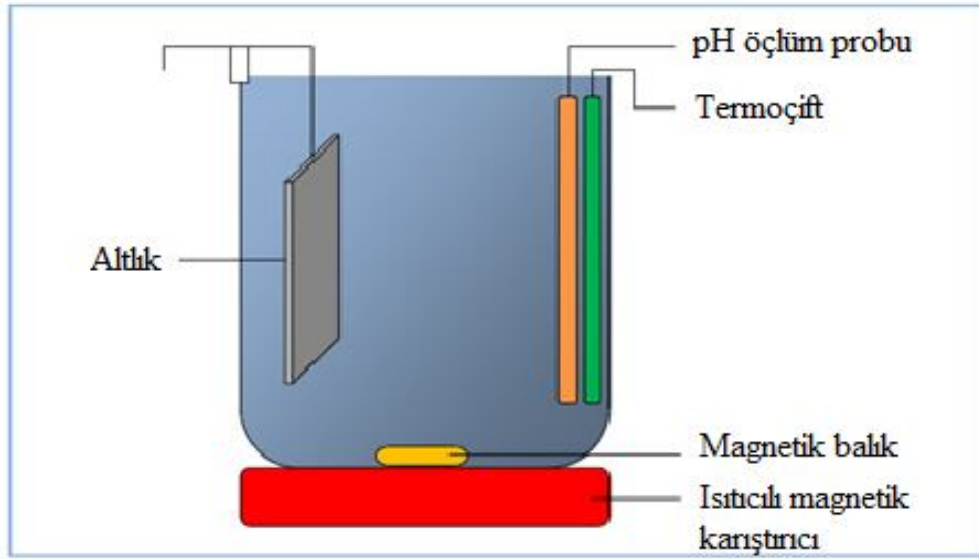
Bu yöntemle nano yapıları metal oksit filmler kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ayrıca Kimyasal Banyo Depolama gibi çözültiden büyütme yöntemlerinde büyütme ortamının oksijen zenginliğinden dolayı stokiyometrik ZnO filmler elde etmek

mümkündür. Elde edilen nano yapıların morfolojileri büyütme parametreleri ile doğrudan ilişkilidir.

CBD yönteminin parametreleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Çözeltinin pH değeri
- Metal iyon kaynağının molaritesi
- Reaksiyon sıcaklığı
- Reaksiyon süresi
- Çözeltinin karıştırılma hızı

CBD yöntemi ile film büyütme esnasında banyo ortamında heterojen ve homojen çekirdeklenme/büyüme arasında bir rekabet söz konusudur. Homojen büyüme mekanizması, çözelti içerisinde yığınlar meydana gelmesine, pürüzlü ve altlık yüzeyine iyi tutunmamış film oluşmasına neden olur (Şekil 1.7.) (Kahraman,2010).



Şekil 1.7. Kimyasal banyo depolama Düzeneği (Kahraman, 2010)

1.1.10.2. Sol-Jel Tekniği

İnce film üretim tekniklerinden biri de Sol-Jel tekniğidir. Genelde Sol-Jel tekniği bir çözeltilinin sıvı fazından (Sol) katı fazı (Jel)'na geçişini içermektedir. Bu teknikte ilk olarak metal organik bileşiklerin alkol bazlı çözeltiler içerisinde çözünmesiyle oluşan başlangıç (precursor) çözeltisi olarak tanımlanan çözeltinin hidrolize olmasıdır. Daha sonra polimerleşme sonucunda oluşan çözelti dehidrolize olmaktadır. Elde edilen çözelti kaplanmak istenen altlık malzeme üzerine filtre edilerek damlatılır ve döndürme kaplama, daldırma ya da sprey yöntemlerinden biriyle kaplanır (Sheppard, 1992).

Bu yöntemlerden herhangi biriyle elde edilen kaplamalar amorf yapıya sahip olacağından dolayı, 500 ile 800 °C sıcaklık aralığında tavlansarak kristalleşir ve yoğunlaştırılır. Böylece homojen filmler elde edilebilir.

Bu yöntem, ekonomik olması, düzgün kaplama yüzeyi elde edilmesi, homojen ve film kalınlığının kontrol edilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Kaplama sürecini etkileyen diğer faktörleri ise; sıcaklık, nem ve çözeltinin tazeliğidir (Sorar, 2008).

a) Daldırma Kaplama (Dip-Coating) Yöntemi ile İnce Film Kaplama

Daldırma kaplama metodu bir taşıyıcının bir çözeltiliye belirli bir hızda daldırılıp çıkarılmasını içeren ve beş aşamadan oluşan bir metottur. Bu aşamalar: (1) Daldırma, (2) Yukarı çekme, (3) Kaplama, (4) Süzülme ve (5) Buharlaşıma (Brinker ve Scherer, 1990). Alkol gibi uçucu çözücüler kullanıldığında buharlaşma normal olarak yukarı çekme, kaplama ve süzülme aşamalarında da olur.

Daldırma kaplama metodunun bazı avantajları şunlardır (Klein, 1988)

- ❖ Düzgün yüzey ve kalınlık kontrolü sağlanabilir
- ❖ Her şekilde ve boyuttaki numune bu metot ile kaplanabilir
- ❖ Kolay bir metot olduğundan maliyeti daha ucuzdur
- ❖ Çok katmanlı kaplamalar yapılabilir

Bu metodun dezavantajları ise;

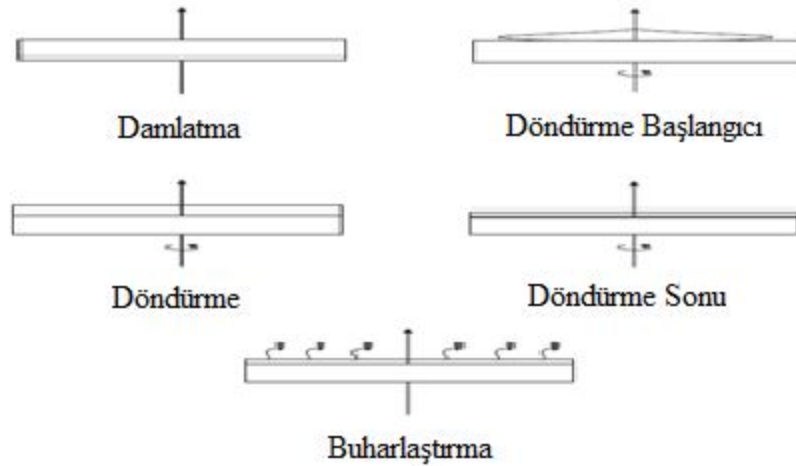
- ❖ Özellikle büyük taşıyıcılar için çok fazla çözelti gerekir

- ❖ Taşıyıcının her iki tarafı kaplandığından sadece bir tarafının kaplanması istenirse maskelemek gerekir.

b) Döndürerek Kaplama (Spin-coating) Yöntemi ile İnce Film Kaplama

Döndürerek kaplama metodu, mikro elektronik endüstrisi için geliştirilmiştir. Bu metot, bazı sınırlamalar ile birlikte, Sol-Jel kaplamaların hazırlanmasında hızlı ve kullanışlı bir yöntemdir. Bu kaplama metodu ile nanometre mertebelerinden mikron mertebelerine kadar değişen aralıkta film kalınlıkları elde etmek mümkündür.

Bu yöntem taşıyıcılar döndürülürken üzerine damlatılan sol'un merkezci kuvvetin etkisi ile taşıyıcı üzerine yayılması esasına dayanır. Şekil (1.8.) döndürerek kaplama aşamalarını göstermektedir. Bu metot beş aşamada gerçekleşir: (1) Damlatma, (2) Döndürme başlangıcı, (3) Döndürme, (4) Döndürme sonu ve (5) Buharlaştırma. Damlatma aşamasında, dönecek yüzeye sabitlenmiş olan taşıyıcı üzerine sol damlatılır. Başlangıçta durmakta olan taşıyıcı döndürülür. Dönme sırasında taşıyıcı üzerine damlatılmış sol, merkezkaç kuvvetin etkisi ile taşıyıcının tüm yüzeyine yayılır. Döndürme sonunda filmin kalınlığı taşıyıcı yüzeyinde her yerde aynı olur.



Şekil 1.8. Döndürme Kaplama Aşamaları (Sorar, 2008)

Döndürme kaplama metodunun diğer kaplama metotlarına göre bazı avantajları şunlardır:

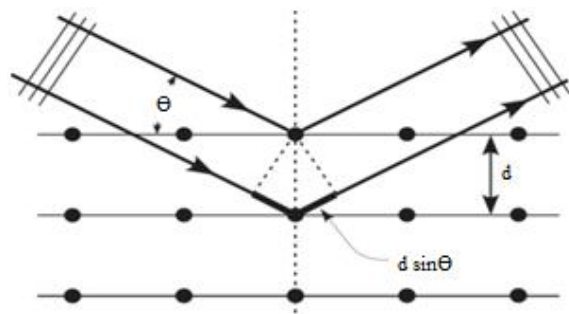
- ❖ Büyük taşıyıcılar için bile sadece az bir miktar kaplama sıvısı gerekir.
- ❖ Sıvı fazlası normal olarak tekrar kullanılmaz.
- ❖ Çok hızlı bir metot dur.
- ❖ Ticari ekipmanların bütün türleri mevcuttur.

Bu metodun dezavantajları ise;

- ❖ Sadece dairesel ve dairesele yakın taşıyıcılar için iyi bir metottur.
- ❖ Düzensiz şekillerin köşe ve kenarlarında hava ve sıvının akması çok iyi bir şekilde sağlanmalıdır.
- ❖ Temiz tutulması zordur (Sorar, 2008).

1.1.11. Kristalografik Yapı Analizi

X-ışını kullanılarak kristal düzlemleri tayin edilebilir ve örgü sabitleri bulunabilir. Atomik düzlemlerden yansıyan X-ışını dalgalarının girişim yapması ve bunların algılanarak anlamlandırılması esasına dayanır. Bu yöntemde numune yüzeyine herhangi bir θ açısı ile gönderilen X-ışını demeti atomik örgü içine girer ve yansımalar oluşturur (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Numune yüzeyine gönderilen monokromatik X-ışınlarının atomik düzlemlerden yansıması (Kahraman, 2010).

Gönderilen ışıklardan birinin üst atomik tabakadan, diğerinin alt atomik tabakadan yansır. Bu durumda ikinci ışın 2θ mesafesi kadar fazladan yol alır. Eğer 2θ mesafesi gelen X-ışının dalga boyunun tam katlarına denk gelirse iki ışında aynı fazda olur.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1.55)$$

Denklem (1.55)'deki ifadeye Bragg eşitliği denir. Bu eşitlikten yola çıkılarak numune yüzeyi belirli bir açı aralığında tarandığı zaman, 2θ mesafesinin dalga boyunun tam katlarına eşit olduğu durumlara ait açılar, numuneyi meydana getiren atomik düzlemler hakkında bilgi verir.

Bir X-ışını difraktometresi temel olarak; monokromatik X-ışını üretebilen bir kaynak, gonyometre ve detektörden meydana gelmektedir. Gonyometre yardımıyla istenen değer aralığında numune yüzeyine gönderilen ışınlar yansdıktan sonra detektör tarafından sayılarak bilgisayara gönderilir. Sayım miktarına karşılık 2θ grafiği çizildiğinde belirli açılara karşılık pikler elde edilir. Her bir pik açısından Bragg eşitliği kullanılarak atomik düzlemler arası (d) mesafesi ve örgü sabitleri bulunabilir. Bu yöntemle binlerce kristal malzemenin kırınım desenleri farklı zamanlarda farklı çalışma grupları tarafından elde edilmiş ve merkezi Amerika'da bulunan Uluslararası Difraksiyon Data Merkezi (ICDD, International Centre for Diffraction Data) ve Toz Kırınım Standartları Ortak komitesi (JCPDS, Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kartları tarafından toplanıp düzenlenmiştir.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1.56)$$

Denklem (1.56)'da, D tane boyutu, K Scherrer sabiti (0.89), λ kullanılan X-ışınlarının dalga boyu, β pikin yarı maksimumdaki genişliğinin (FWHM, Full Width Half Maximum) radyan cinsinden değeri ve θ ise değerlendirilen pikin Bragg yansıma açısıdır. Scherrer formülünden yalnızca nano mertebesindeki parçacıkların boyutlarının analizi için uygun olup, $0.1 \mu\text{m}$ 'den daha büyük boyutlu parçacıklar için kullanılamaz.

1.1.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Elektron mikroskobu genel olarak cisimden saçılan elektronların görüntülenmesi üzerine kuruludur. Maddeyle etkileşen elektronların dalga boyu bu görüntülemenin nanometre boyutlarında yapılmasına olanak sağlar. Bu tip mikroskoplar, elektron enerjisine ve ölçüm aletinin çalışma moduna göre, geçirimli elektron mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu, düşük enerjili elektron mikroskobu gibi farklı sınıflara ayrılır. Numune üzerine gönderilen yüksek enerjili elektron demetinin numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Yörünge elektronları ile olan diğer girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederler. İkincil elektron olarak adlandırılan bu elektronlar yüzeyin altında 10 nm veya daha düşük derinliklerden geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır. Ayrıca numune atomları ile elektron demeti arasındaki elastik girişimler sonucunda numunede karakteristik X-ışınları ve sürekli ışınlar da meydana gelir. Numune üzerine odaklanan elektron demeti, numune atomları ile ayrıca elastik girişimlerde de bulunabilir. Bu girişimlerde demet elektronları numune atomlarının çekirdeğinin çekim kuvveti ile saptırılarak numune yüzeyinden geri saçılır. Bu elektronlar geri saçılmış (back scattered) elektronlar olarak adlandırılır. Objektif merceğin altında yer alan üç adet silikon detektörde toplanarak görüntü oluşumunda kullanılır. Geri saçılmış elektronlar ikincil elektronlara göre numune yüzeyinin daha derin bölgesinden geldiği için görüntünün ayırım gücü daha düşük olmaktadır (Kahraman, 2010).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cho ve Baik (1999), çözeltiden büyütme tekniklerinden biri olan Sol-Jel ince film üretim yönteminin bir türü olan döndürerek kaplama (spin-coating) metodu kullanılarak ZnO/n-Si yapıları hetero bileşimli güneş hücresini üretmişlerdir. İyi bir elektriksel iletkenliğe sahip ZnO filmi oluşturabilmek amacıyla, filme Alüminyum (Al) gibi n-tipi bir malzeme katkılandırılmış ve atmosfer ortamında 450°C'de tavlama işlemi yapılmıştır. Yüzey katkısının açık devre potansiyelinin artışına katkıda bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Türüt ve ark. (2002), Au/n-GaAs yapısını oluşturmak için altlık malzeme olarak n-GaAs wafer kullanarak arka tarafına Au-Ge alaşımını omik kontak yapabilmek için yaklaşık 10^{-5} Torr basınç altında buharlaştırılarak oluşturmuşlardır. Daha sonra Au Schottky kontak yapmışlardır. Kullandıkları altlık üzerine 6 adet diyot üretmişler ve bu diyotların üretimlerinden 7, 15, 30, 45 ve 105 gün sonrasında yapıya ait parametrelerin değişimini I-V ve C-V ölçümleri ile analizlerini yaparak anlamaya çalışmışlardır. Sonuç olarak; artan zaman etkisinde bariyer yüksekliği değerinin ara yüzey tabaka etkisi ile azaldığını rapor etmişlerdir. Oksit tabakanın maruz bırakılan süreye bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Tataroğlu ve ark. (2003), spreysel tekniği ile SnO₂ ince tabakasını n-Si wafer üzerine kaplamışlardır. SnO₂ yalıtkan tabaka üzerine termal buharlaştırma ile 10^{-6} Torr basınç altında Au Schottky kontak yapılarak, Au/SnO₂/n-Si yarıiletken Schottky yapısını üretmişlerdir. Elde edilen Metal Oksit Yarıiletken (MOS, Metal Oxide Semiconductor) yapıyı gama ışınlarına maruz bırakarak ve gama ışınları olmadan elektriksel parametreleri üzerinde etkisini gözlemlemişlerdir. Artan radyasyon etkisi ile seri direnç etkisinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Oral ve ark. (2004), çalışmalarında altlık malzeme olarak standart bir mikroskop camı kullanarak Sol-Jel döndürme kaplama tekniği ile Cu₂O filmlerini büyütmüşlerdir. Ürettikleri filmlerin geçirgenliği, yansıtma gibi optiksel özelliklerini incelemişlerdir. Cu₂O'ların tanecik boyutlarının yaklaşık olarak 150 nm olduğunu bildirmişlerdir. UV-Vis., Karakterizasyonu'nu kullanarak optiksel bant genişliğini 1.60 eV ve 1.75 eV arasında bulduklarını rapor etmişlerdir.

Karataş ve ark. (2005), Zn/p-Si yapıya ait fiziksel parametrelerini doğru beslem I-V ve ters beslem C-V ölçümleri kullanarak belirlemişlerdir. I-V ve C-V ölçümlerini 300 ile 400 K sıcaklık aralığında alarak, Schottky Bariyer Diyot (SBD)'a ait parametrelerden idealite faktörü (n)'nü ve seri direnç (R_s) etkisini Chueng&Cheung fonksiyonları ile engel yüksekliği (ϕ_B) ifadesini de sıcaklığın fonksiyonu olarak araştırmışlardır.

Li ve ark. (2006), iki farklı büyütme yöntemi kullanılarak yüksek kaliteli nano yapıları ZnO ince filmlerini elde etmişleridir. İlk olarak Atmalı Lazer Depolama (PLD, Puls Lazer Deposition) ile çok ince (çekirdek katman) bir ZnO tabakası üretip üzerine, Sol-Jel döndürme kaplama metodu kullanılarak ZnO yapıları üretmişlerdir. Çekirdek tabakanın, ZnO filmlerin morfolojisi, yönelimi ve kristalizesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak; elde edilen film yapısının yüksek kalite de oluşmasının PLD ile çekirdek tabaka olarak üretilen çok ince katmanın bir sonucu olabileceğini ifade etmişlerdir.

Cheng ve ark. (2006), iki farklı kimyasal çözelti metodunu kullanarak ZnO nanorod dizilerini silisyum altlıklar üzerine büyütmüşlerdir. İlk olarak döndürme kaplama yöntemi ile ZnO büyütmüşler, ikinci yöntem olarak ise epitaksiyel (çekirdek tabaka) olarak ZnO nanorodları silisyum altlıklar üzerine büyüttüklerini bildirmişlerdir. Üretilen filmlerin mikro yapı analizlerini X-ışını Kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) kullanarak yapmışlardır. Sonuç olarak, ZnO nanorodların oluştuğunu ve silisyum altlık üzerine (001) yönelimi ile dik olarak büyüdüklerini sonucuna varmışlardır.

Tataroğlu ve ark. (2006), metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) olarak ifade edilen Al/SiO₂/p-Si Schottky diyot yapısını oluşturarak I-V ölçümleri ile karakteristik parametrelerini oda koşullarında (300 K) araştırmışlardır. Ayrıca C-V-f ölçümleri yardımıyla 100 kHz'den 1 MHz frekans aralığında ara yüzey durum yoğunluğu (N_{ss})'nu hesaplamışlardır.

Kumar ve ark. (2007), ZnO ince filmlerini c-yönelimli safir altlık üzerine Sol-Jel döndürme kaplama metodu kullanarak üretmişlerdir. Çalışmada, Al katkısının oluşan film yapılarının morfolojisi, mikro yapısı ve optiksel özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır.

Mehra ve ark. (2007), Sol-Jel döndürme kaplama metodu ile ZnO filmlerini n-Si altlık üzerine büyütürük üretilen yapının 10 K ile 300 K sıcaklık aralığında foto lüminesans (PL, Photoluminescence) özelliği üzerine etkisini araştırmışlardır.

Yakuphanoglu (2008), Al/p-Si/DB6MEH diyot yapısını oluşturarak akım-gerilim (I-V) ve kapasitans gerilim (C-V) teknikleri ile elektriksel karakteristik özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği bu yapının, ideal bir Schottky yapıya nazaran daha çok metal-yalıtkan-organik tabaka yarıiletken bir yapı olduğunu ve idealite faktörünün değerini 1.92 olarak bulunduğunu rapor etmiştir.

Çağlar ve ark. (2009), çalışmalarında Sol-Jel yöntemi kullanarak p-tipi silisyum altlıklar üzerine ZnO büyütürük elde ettikleri nano kristal yapılarının yönelimi, tanecik büyüme kinetikleri, yansıtma indeksleri ve kristal yapısı üzerine ısıl işlemin etkilerini araştırmışlardır. Üretilen filmlerin yapı faktörü, dislokasyon yoğunluğu ve örgü sabitlerini hesaplamışlardır. Isıl işlemin ZnO kristal yapısında önemli bir değişikliğe sebep olduğunu ve sonuç olarak ısıl işlemin kristal özelliğini geliştirdiğini rapor etmişlerdir.

Sorar ve ark. (2009), çalışmalarında Sol-Jel döndürme kaplama işlemi ile hazırlanan ZnO ince filmlerine farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulayarak bu yapıların yansıtma ve geçirgenlik gibi optiksek özellikleri ile yapısal özelliklerine ısıl işlemin etkilerini araştırmışlardır. Optik ölçüm sonuçlarında görünür bölgede %85 geçirgenliğe sahip olduğunu bildirmişlerdir. Isıl işlemin yapıya ait parametreler üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Aydoğan ve ark. (2009), altlık olarak AuSb ile omik kontak yapılmış bir n tipi Si kristal kullanarak, ZnO metal oksit ince filmini elektrokimyasal depolama yöntemi ile altlık üzerine kaplamışlardır. Elde edilen ZnO/n-Si yapısı üzerine, fiziksel buhar depolama yöntemini kullanarak yaklaşık 10^{-5} Torr basınç altında Au metalini buharlaştırarak Au/ZnO/n-Si/AuSb Schottky diyot yapısını üretmişlerdir. Ürettikleri diyot yapısının karakteristik parametrelerini I-V, C-V ve C-f metotlarını kullanarak hesapladıklarını rapor etmişlerdir.

Altuntaş ve ark. (2009), altlık malzeme olarak (100) n-GaAs wafer kullanmışlardır. İlk olarak altlık malzeme üzerine Au/Ge/Ni alaşımı termal olarak 10^{-7} Torr basınç altında buharlaştırmışlardır. Plazma Artırmalı Kimyasal Buhar Depolama (PECVD, Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) tekniği kullanılarak

yalıtkan tabaka (SiO_2) buharlaştırarak yapıyı oluşturmuşlardır. Au/ SiO_2 /n-GaAs (MIS) Schottky yapısının akım-gerilim (I-V) karakteristiklerini 80 K ile 400 K sıcaklık aralığında araştırmışlardır. İdealite faktörü ve bariyer yüksekliğini Termiyonik Emisyon (TE) teorisine göre sıcaklığa bağlı olarak incelemiştir. İdealite faktörü değeri azalırken, bariyer yüksekliğinin değerinin sıcaklıkla arttığını ifade etmişlerdir.

Smirnov ve ark. (2010), standart bir mikroskop camı üzerine Sol-Jel döndürme kaplama yöntemi kullanarak ZnO ince filmlerini büyütmüşlerdir. Sol hazırlamak için ZnAc (ZincAcetate), etanol içerisinde çözündürülüp, pH değerini ayarlayabilmek amacıyla amonyum hidroksit ilavesi yapılarak başlangıç çözeltisini oluşturmuşlardır. Kaplama sonrasında 500 °C sıcaklık da 120 dakika tavlama yapmışlardır. Çalışmalarında ürettikleri numunenin XRD sonuçlarına göre polikristal ve hekzagonal yapıya sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Elde ettikleri filmlerin 450 nm ile 1300 nm arasındaki bölgede %75’den daha fazla geçirgen özellik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Aydoğan ve ark. (2010), Au/Carmin/n-Si Schottky diyot yapısı üreterek, yapıya ait temel parametreleri geleneksel akım-gerilim ve kapasitans-voltaj-frekans ölçümleri yardımıyla hesaplamışladıklarını rapor etmişler. Ürettikleri diyot yapısının iyi bir doğrultucu karakteristiğe sahip olduğunu akım-gerilim analizlerinden belirlemişlerdir. Ayrıca temel parametreleri hesaplamak için alternatif olarak kullanılan Cheung&Cheung ve Norde fonksiyonlarını da kullandıklarını rapor etmişlerdir.

Kılıçoğlu ve ark. (2010), çalışmalarında n-Si kristal altlık kullanarak Cu(II) kompleks/n-Si yapısını oluşturmuşlardır. Omik kısmını AuSb ile oluşturmuşlardır. Schottky kontak kısmını Au kullanarak yapmışlar ve elde edilen yapının doğrultucu karakteristik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Yapıya ait elektriksel parametreleri olan idealite faktörü ve engel yüksekliğini akım-gerilim tekniği yardımı ile hesaplamışlardır. İdealite faktörü değerinin 1’den farklı olmasının sebebini, ara yüzey olarak eklenen Cu (II) kompleks yapıdan ve diyotun seri direnç etkisinden kaynaklanıyor olabileceğini bildirmişlerdir.

Yakuphanoglu ve ark. (2010), çalışmalarında p-Si altlık ile tris-alüminyum organik yarıiletken filmini kullanarak Al/Alq3/p-Si/Al yapısını elde etmişlerdir. Yapının iyi bir doğrultucu özelliği olduğunu rapor etmişlerdir. I-V ölçümleri ve Norde fonksiyonları yardımıyla engel yüksekliğini hesaplamışlardır.

Sadighi-Bonabi ve ark. (2010), düşük ve yüksek kaliteli olarak sınıflandırdıkları Schottky diyotları üretmişlerdir. Yapıya ait idealite faktörü ve engel yüksekliği parametrelerini Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM, Atomic Force Microscopy) kullanarak bulmuşlardır. Engel yüksekliği değerinin oluşturulan diyotun çapı arttıkça arttığı ve ayrıca diyot çapının azalmasıyla idealite faktörünün değerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Erdoğan ve ark. (2010), p-Si kristal altlık üzerine döndürerek kaplama yöntemini kullanarak CuO filmini kapladıklarını ifade etmişlerdir. Elde edilen film yapısının optik ve kristalografik analizlerini yaparak yapı hakkında ileri düzey bilgi edindiklerini bildirmişlerdir. Elde ettikleri CuO/p-Si altlık üzerine yaklaşık 10^{-5} Torr basınç altında Au metalini buharlaştırarak Schottky diyot yapısını üretmişlerdir. Yapıya ait bazı elektriksel parametrelerini geleneksel I-V metodu, Cheung&Cheung ve Norde fonksiyonlarını kullanarak hesapladıklarını rapor etmişlerdir.

Yakuphanoglu ve ark. (2010), ZnO/p-Si nano yapıli diyotun elektriksel ve foto voltatik özelliklerini araştırmışlardır. XRD ve SEM kullanılarak nano yapıli ZnO filmlerinin kristalizesini incelemişlerdir. Üretilen diyot yapısının karakteristik parametrelerinden olan idealite faktörü (n)'nü 3.18 ve engel yüksekliği (ϕ_B)'ni de 0.78 eV olarak bulduklarını rapor etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde yapının bir foto diyot özelliği sergilediğini bildirmişlerdir.

Yakuphanoglu ve ark. (2011), çalışmalarında Sol-Jel döndürme kaplama tekniğini kullanarak, p-Si altlık üzerine ZnO ince filmini büyütmüşler ve üzerine Al kontak alarak Al/ZnO/p-Si Schottky diyot yapısını oluşturmuşlardır. Üretilen diyot yapısının doğrultucu özellik sergilediğini ifade etmişlerdir. Üretilen diyot yapısının I-V ölçümleri yardımıyla karakteristik parametrelerini hesaplamışlardır. Üretilen yapının Cheung&Cheung fonksiyonlarını kullanarak idealite faktörünün değerini 14.22 ve seri direnç değerini 5.3 k Ω olarak hesapladıklarını rapor etmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Üretilen Filmlerin Yapısal İncelemesi

Bu tez çalışmasında farklı iki yöntem ile üretilen ZnO ve CuO ince film yapıların kristalografik yapı incelemeleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi AR-GE ölçüm ve araştırma merkezinde bulunan Rigaku Ultima-IV marka X-ışını kırınım cihazı (Cu K α , $\lambda=1.540056 \text{ \AA}$) kullanılarak yapıldı.

3.1.2. Üretilen Filmlerin Morfolojik İncelemesi

Bu tez çalışmasında iki farklı yöntem kullanılarak üretilen ZnO ve CuO ince filmlerin morfolojik incelemeleri için yüzey görüntüleri Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan Jeol marka JSM-5500LV model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak yapıldı (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Numunelerin yüzey analizinde kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobu

3.1.3. Akım Gerilim Ölçümleri ve Karakteristiklerinden Gerekli Diyot Parametrelerinin Hazırlanması

Üretilen Al/ZnO/p-Si/Al ve Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyotların akım-gerilim (I-V) ölçümleri KEITLEY 487 Piko Ampermetre/Gerilim kaynağı cihazı kullanılarak alındı.

Diyot ile ilgili ölçüleri alabilmek için numune tutucu kullanıldı. Numuneler tutucuya omik tarafı tutucu üzerine gelecek şekilde ve sivri uç doğrultucu kontağa degecek şekilde yerleştirildi. Ölçümler oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda alındı.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kristallerin Temizlenmesi ve Hazırlanması

Bu çalışmada, [100] doğrultusuna sahip, B (Boron) katkılandırılmış $d_0=380 \mu\text{m}$ kalınlığında $\rho= 1-10 \Omega\text{cm}$ öz dirençli, önceden parlatılmış p-tipi Si (Silisyum) kristali kullanılmıştır.

Kontaklardan iyi sonuç alınabilmesi için kimyasal ve mekanik temizliklerinin kabul görmüş bir prosedür takip edilerek yapılması gerekmektedir. Fakat bu çalışmada kullanılan kristallerin fabrika üretimi sonrasında gerekli olan mekanik temizliği yapılmıştır. Altlık olarak kullanılan p-tipi Si (Silisyum) kristal yüzeyi üzerindeki organik ve ağır metal kirliliklerini temizlemek ve yüzeyindeki pürüzleri gidermek amacıyla kimyasal temizleme işlemi yapıldı. Kimyasal temizleme işlemi için Amerikan Radyo Şirketi (RCA, Radio Coporaiton Of America) prosedürü takip edildi. RCA standart bir wafer temizleme adımlarından oluşan ve (Okisdasyon, Difüzyon, ...) yarıiletken üretiminde silikon kristallerin yüksek sıcaklık içeren işlemlerden önce uygulanması gereken işlemler basamağıdır. RCA temizliği, RCA-1 ve RCA-2 temizlik prosedürünü içermektedir. RCA-1 ile yüzey üzerinde ki organik kirlilikleri temizlerken, RCA-2 oksit tabakanın ve metalik kirliliklerin temizlenmesini içermektedir. Werner Kern tarafından 1965 yılında RCA'da ki çalışmalarında geliştirdiği temel temizlik prosedürü olarak kayıtlara geçmiştir. Bu prosedüre göre ;

- 1- Organik temizlik; organik kirliliklerin temizlenmesi
 - 2- Oksit aşındırma; atmosfer ortamında silisyumun kendiliğinden (doğal) oksitlenmesiyle oluşan tabakanın temizlenmesi
 - 3- İyonik Temizlik; iyonik (ağır metal kalıntıları) kirliliklerin temizlenmesi
- aşamaları takip edilmektedir.

Bu prosedürü daha detaylı olarak incelersek;

- a) Aseton'da ultrasonik bandyoda 10 dakika yıkandı.
- b) Metanol'de ultrasonik bandyoda 10 dakika yıkandı.
- c) Deiyonize su'da ultrasonik bandyoda 10 dakika yıkandı.
- d) RCA-1 ($H_2O:H_2O_2:NH_3$: 6:1:1)'de 50-60 °C'de 10 dakika yıkandı.
- e) Seyreltilmiş HF ($H_2O:HF$:10:1) ile 30 saniye yıkandı.
- f) RCA-2 ($H_2O:H_2O_2:HCl$: 6:1:1)'de 50-60 °C de 10 dakika yıkandı.
- g) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- h) Seyreltilmiş HF ($H_2O:HF$:10:1) ile 30 saniye yıkandı.
- i) 15-20 dakika, akan deiyonize su içerisinde kaldı.
- j) Azot gazı (N_2) ile kurutuldu.

3.2.2. Omik Kontakların Hazırlanması

Yüzeyin oksitlenmemesi için, yukarıdaki kimyasal temizleme işlemi yapıldıktan hemen sonra numune vakum cihazına (kaplama ünitesine) yerleştirildi. Kristalin mat olan (arka yüzü) yüzeyine omik kontak uygulayabilmek için vakum cihazının ısıtıcısına seyreltilmiş HCl asit ($HCl:H_2O$;1:10) içerisinde yüzeyi temizlenmiş olan Al metali yerleştirilerek 10^{-5} Torr basınç altında numunenin bütün yüzeyi kaplanacak şekilde buharlaştırıldı. Numune kimyasal olarak temizlenmiş Quartz potanın içerisine yerleştirilerek 580 °C de 3 dakika N_2 (Azot) gazı ortamında tavlama işlemine tabi tutuldu. Böylece numuneye omik kontak yapıldı.

Bu işlemden sonra numuneler $1,5 \times 1$ cm²'lik boyutlarda 4 parçaya bölündü ve Kimyasal Banyo Depolama ile Sol-Jel döndürerek kaplama işlemi için hazır hale getirildi. Bu işlem için kullanılan tavlama fırını Şekil (3.2.)'de gösterildi.



Şekil 3.2. Omik kontak yapımında kullanılan tavlama fırını

3.2.3. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile ZnO ve CuO Filmlerinin Büyütülmesi

3.2.3.1. ZnO Filmlerinin Büyütülmesi

Kimyasal banyo depolama yönteminde, daha önceden omik kontak yapılmış p-Si kristal altlık olarak kullanıldı. ZnO filmlerini oluşturabilmek amacıyla, $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ bileşiği 0.1 M olan sulu (deiyonize su) çözeltisi hazırlandı. Tam ve hızlı bir çözünme sağlayabilmek amacıyla manyetik karıştırıcı ile çinko banyosu 800 devir/dakika hızıyla 15 dakika süresince karıştırıldı. Başlangıçta çözelti'ye % 28'lik sulu ultra saf amonyak eklenerek pH değeri yaklaşık 10 yapıldı. Altlıklar çözelti içerisine daldırıldıktan sonra ısıtıcılı manyetik karıştırıcı yardımıyla çözelti ısıtılırken

aynı zaman da karıştırılması sağlandı. Banyo çözeltisi 70 °C de tutuldu ve sonunda kaplanmış bir yüzey elde edildi. Banyodan çıkartılan film saf su ile yıkanarak laboratuvar koşullarında kurutulmaya bırakıldı.

3.2.3.2. CuO Filmlerinin Büyütülmesi

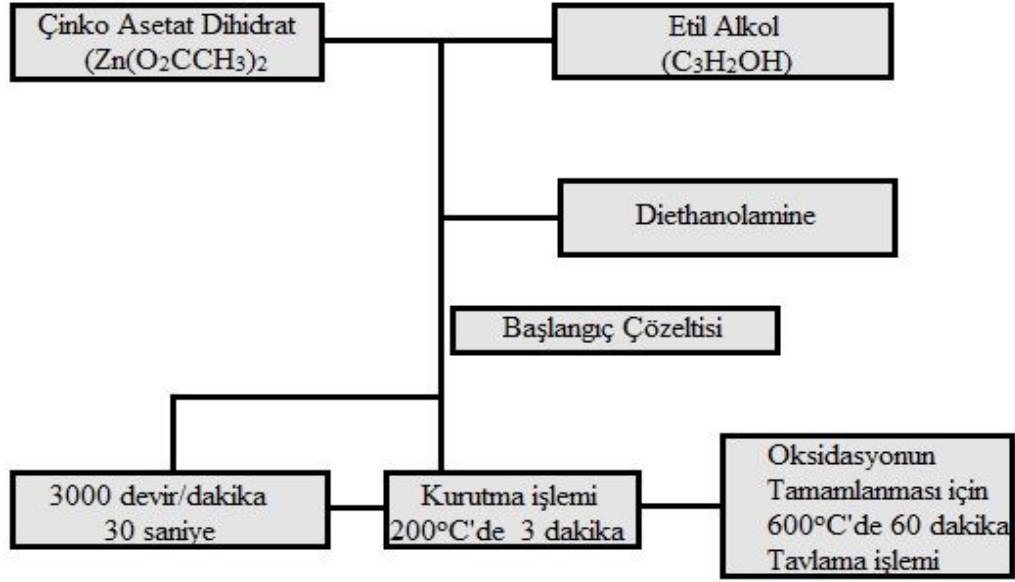
Kimyasal banyo depolama yönteminde daha önceden omik kontak yapılmış p-Si kristal altlık olarak kullanıldı CuO filmlerini oluşturabilmek amacıyla Bakır Klorür dihidrat ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bileşiğinin 0.1 M sulu çözeltisi hazırlandı. CuO tuzunun tamamen ve hızlı bir şekilde çözünmesini sağlayabilmek amacıyla manyetik karıştırıcı da karıştırıldı. Banyo 450 devir/dakika hızıyla 10 dakika süresince karıştırıldı. Başlangıçta çözelti'ye % 28'lik sulu ultra saf amonyak eklenerek pH değeri yaklaşık 10 yapıldı. Altlıklar çözelti içerisine daldırıldıktan sonra ısıtıcıly manyetik karıştırıcı yardımıyla çözelti ısıtılırken aynı zaman da karıştırılması sağlandı. Bakır oksit banyosunun sıcaklığı 90 °C de tutuldu. Deney süreci sonunda tamamen CuO ile kaplanmış bir yüzey elde edildi. Banyodan çıkartılan film saf su ile yıkanarak laboratuvar koşullarında kurutulmaya bırakıldı.

3.2.4. Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile ZnO ve CuO Filmlerinin Büyütülmesi

3.2.4.1. ZnO Filmlerinin Büyütülmesi

Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile daha önceden omik kontak yapılmış p-Si kristal altlık olarak kullanıldı. ZnO filmlerini oluşturabilmek amacıyla, 10ml etilalkol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) içerisinde 0.4 M ZnAc ($\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$) bileşiği çözülmesi sağlandı. Daha sonra 5ml DEA (Diethanolamine) bileşiği çözelti içerisine yavaş yavaş eklenerek karıştırıldı. 10 dakika karıştırılarak şeffaf bir çözeltisi elde edildi. Elde edilen çözelti mikropipet yardımı ile 2.5 μl 'den daha az bir miktar olacak şekilde altlık üzerine damlatıldı. Daha sonra 3000 devir/dakika da 30 saniye döndürülerek çözeltinin homojen bir şekilde dağılması ve kurutulması sağlandı. Bu aşamadan sonra 200 °C'de 3 dakika

kurutularak uçucuların çözeltiyi terk etmesi sağlandı. Bu işlem 7 kez tekrarlandı. Son olarak yapının içerisindeki uçucu kimyasalların tamamen ayrılması için 600 °C' 60 dakika tavlama işlemine tabi tutuldu (Şekil 3.3.).

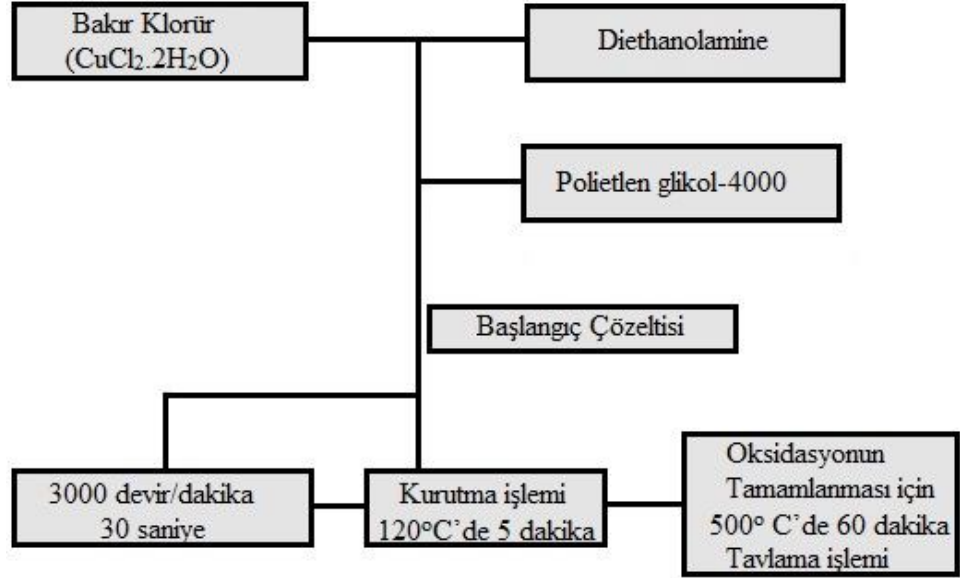


Şekil 3.3. Döndürerek kaplama yöntemi ile ZnO ince film büyütme işlem basamakları

3.2.4.2. CuO Filmlerinin Büyütülmesi

Benzer şekilde CuO filmlerini oluşturabilmek amacıyla, 0.5 ml DEA içerisinde 0.3 M bakır (II) klorür dihidrat (CuCl₂.2H₂O) bileşiği azar azar eklenerek manyetik karıştırıcı üzerinde 15 dakika oda koşullarında karıştırılması sağlandı. Elde edilen çözelti içerisinde, altlık olarak kullanılan p-Si üzerine tutunabilirliği arttırmak amacıyla Polietilen Glikol-4000 (PEG-4000) bileşiği eklendi. Çünkü bakır (II) klorür çözeltisinin yüzeye tutunma oranı oldukça düşüktür. PEG-4000 bileşimi de ilave edildikten sonra 10 dakika daha karıştırılıp sol çözeltisi hazırlanmış oldu. Bir mikro pipet yardımı ile yaklaşık 2.5 µl'den daha az olacak şekilde sol altlık üzerine damlatıldı. Sonra, 3000 devir/dakika hız ile 30 saniye döndürüldükten sonra 120 °C'de 5 dakika kurutuldu. Bu işlemler 6 kez tekrar edildikten sonra 500° C'de 60 dakika tavlansak istenmeyen tüm uçucu kimyasalların çözeltiden ayrılması sağlandı.

Ayrıca bu işlem daha yoğun ve kaliteli kristalleşme oluşmasını da sağlamaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Döndürerek kaplama yöntemi ile CuO ince film büyütme işlem basamakları

3.2.3. Schottky Diyotların Hazırlanması

Altlık olarak kullanılarak üzerine, Metal oksit olan ZnO ve CuO ince filmleri kaplandıktan sonra, ZnO/p-Si/Al yapısı üzerine Al metali, CuO/p-Si/Al yapısı üzerine Au metali 1mm'lik diyot maskeleri kullanılarak 10^{-5} Torr basınç altında buharlaştırıldı. Kontakın doğrultucu özellik göstermesi oldukça önemlidir. Diyotun etkin alanı doğrultucu kontak yapılan yüzüdür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, XRD analiz sonuçları, SEM görüntüleri ve elde edilen deneysel verilerden, karakteristiklerinin çizilmesi ve ulaşılan sonuçlarla diyot parametrelerinin hesaplanmasına yer verildi.

4.1. Üretilen Filmlerin Yapısal İncelenmesi

Farklı yöntemler ile büyütülen filmlerin XRD desenleri incelenerek tane büyüklüğü hesabı, Denklem (4.1) yardımıyla yapıldı.

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

4.1.1. Kimyasal Banyo Depolama (CBD) Yöntemi ile Üretilen Filmlerin Yapısal İncelenmesi

Elde edilen yapıların tane boyutları Scherrer formülü kullanılarak hesaplandı. Tabloda bu hesaplamalar ile ilgili değerler verildi.

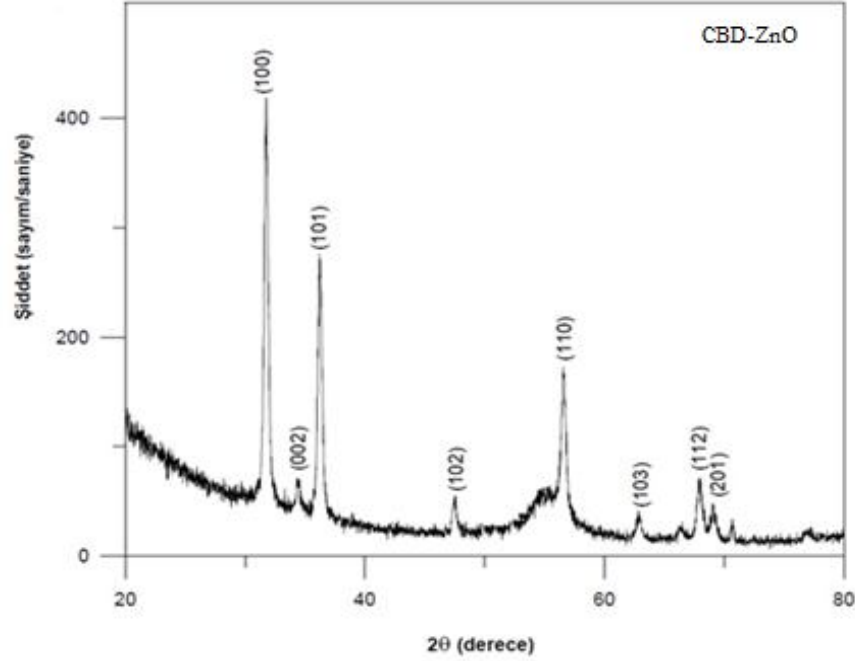
Çizelge 4.1. Scherrer formülü ile hesaplanan tane boyutları

Numune Adı	Tane Boyutu (nm)
CBD-ZnO	26.31
CBD-CuO	16.12

Üretilen filmlerin kristalografik yapı incelemeleri X-ışını kırınım cihazı ile $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$ aralığında 0.05 derece/dakika ile alındı.

4.2.3.1. Üretilen ZnO filminin X-Işını Kırınım Analizi

Elde edilen nano yapılı ZnO yapıya ait XRD desenleri Şekil 4.1’de verildi.



Şekil 4.1. CBD yöntemi ile üretilen ZnO filminin XRD deseni

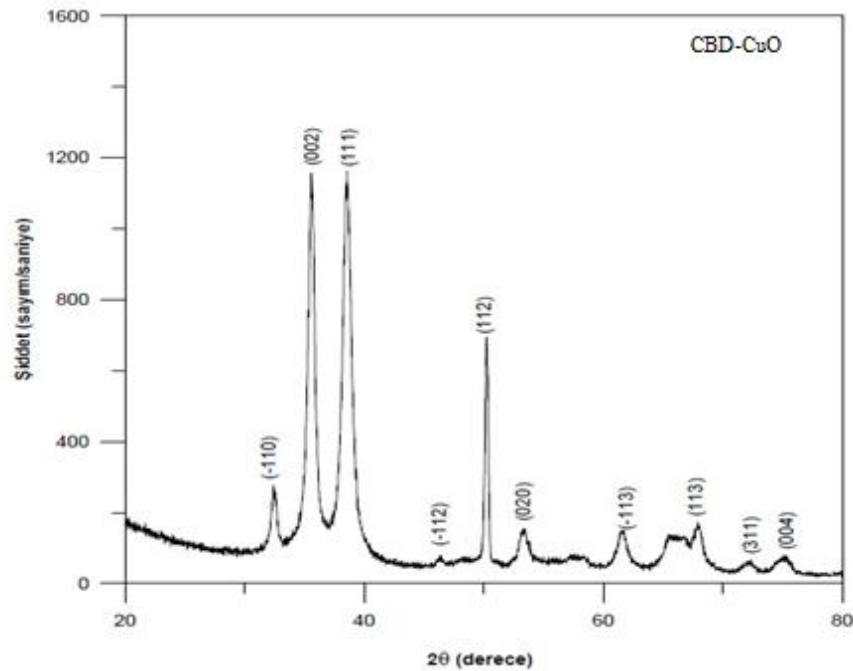
XRD desenleri incelendiğinde CBD yöntemiyle üretilen ZnO filmlerin $2\theta = 31.74^\circ$, 34.36° , 36.22° , 47.45° , 56.56° , 62.88° , 67.84° , 69.01° değerlerinde pikler verdiği görüldü. Bu değerler ICDD'nin 73-8765 kart numarası ile tanımlanan yapı pikleri ile uyumluluk göstermektedir. Bu açı değerleri ve bunlara karşılık gelen (hkl) düzlemleri Çizelge 4.2.'de verildi. Elde edilen sonuçlardan, ZnO filmlerinin hekzagonal yapılu olduğu görülmektedir. ZnO filmlerin XRD sonuçlarına göre, en güçlü kırınım piki (100) düzlemi, FWHM'u 0.385 değerinde ve $2\theta = 31.74^\circ$ değerinde oluşmaktadır. Numunenin XRD analizleri incelendiğinde oluşan tüm piklerin nano yapılı ZnO filmlerine ait olduğu açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.2. CBD yöntemiyle üretilen nano yapılı ZnO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri

Düzlem (hkl)	Ölçülen (2θ)	Referanslar (ICDD-73-8765 no'lu Kart.)
100	31.74	31.76
002	34.36	34.42
101	36.22	36.25
102	47.45	47.53
110	56.56	56.59
103	62.88	62.86
112	67.84	67.95
201	69.01	69.09

4.2.3.2. Üretilen CuO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri

CBD yöntemiyle üretilen CuO filmlerine ait XRD desenleri Şekil (4.2.)'de verilmiştir.



Şekil 4.2. CBD yöntemi ile üretilen CuO filminin XRD deseni

XRD desenleri incelendiği takdirde CBD yöntemiyle üretilen CuO filmlerine ait $2\theta=32.49^\circ$, 35.59° , 38.50° , 46.15° , 50.23° , 53.25° , 61.53° , 65.87° , 67.84° , 72.04° ,

75.01° değerlerinde pikler verdiği gözlenmiştir. Bu derecelere karşılık gelen (hkl) düzlemler Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Bu değerler ICDD'nin 73-8765 kart numarası ile tanımlanan yapı pikleri ile uyumluluk göstermektedir. XRD pikleri karşılaştırıldığında tercihli yönelimin (111) düzleminde olduğu görülmektedir. Bu düzleme karşılık gelen FWHM'u 0.867 değerinde ve $2\theta = 38.50^\circ$ değerinde olduğu gözlenmektedir. Numunenin XRD analizleri sonuçlarına göre, oluşan tüm piklerin CuO filmlerine ait olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.3. CBD yöntemiyle üretilen nano yapılu CuO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri

Düzlem(hkl)	Derece (2θ)	Referanslar (ICDD-73-8765 no'lu Kart.)
-111	32.49	32.49
002	35.59	35.49
111	38.50	38.72
-112	46.15	46.24
112	50.23	51.37
020	53.25	53.44
-113	61.53	61.53
113	67.84	67.94
311	72.04	72.42
004	75.01	75.02

4.1.2. Sol-Jel Döndürerek Kaplama ile Üretilen Filmlerin Yapısal İncelenmesi

Elde edilen yapıların tane boyutları Scherrer formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.4'de bu hesaplamalar ile ilgili değerler verilmektedir.

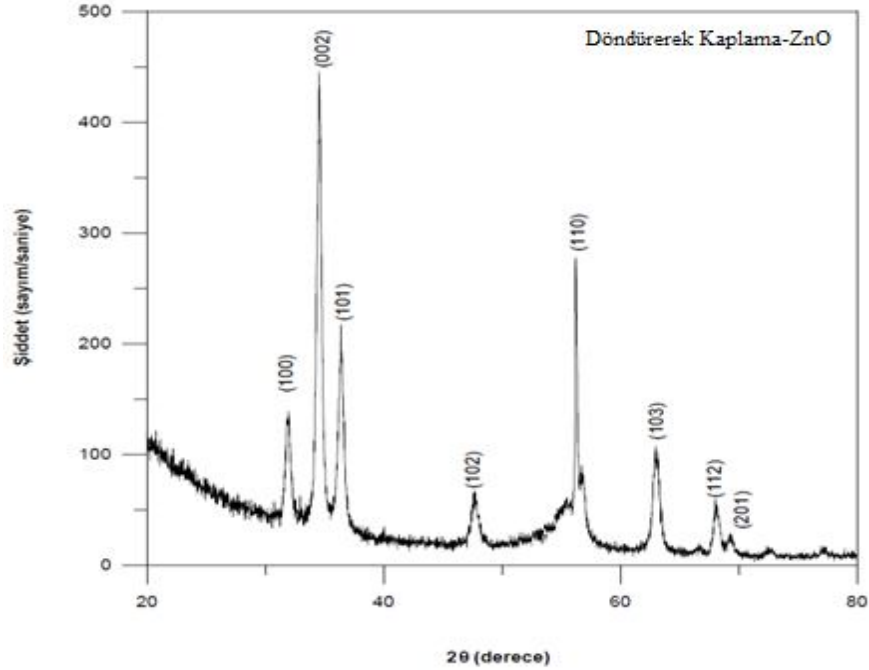
Çizelge 4.4. Scherrer formülü ile hesaplanan tane boyutları

Numune Adı	Tane Boyutu (nm)
Döndürerek Kaplama-ZnO	18,52
Döndürerek Kaplama-CuO	13,83

Üretilen filmlerin kristalografik yapı incelemeleri X-ışını kırınım cihazı ile $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$ aralığında 0.05 derece/dakika ile alındı.

4.1.2.1. Üretilen ZnO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri

Elde edilen nano yapılı ZnO yapıya ait XRD desenleri Şekil (4.3).’de verildi.



Şekil 4.3. Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen ZnO filminin XRD deseni

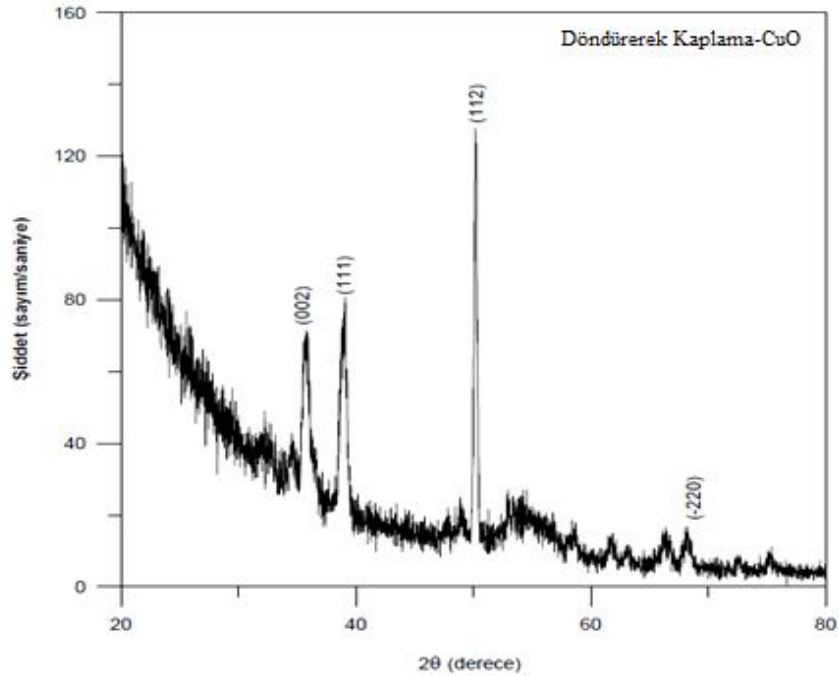
Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak üretilen nano yapılı ZnO ince filmlerine ait XRD analizlerinden $2\theta = 31.90^\circ, 34.54^\circ, 36.36^\circ, 47.56^\circ, 56.25^\circ, 62.91^\circ, 68.06^\circ, 69.22^\circ$ değerlerinde pikler verdiği gözlenmektedir. Bu derecelere karşılık gelen (hkl) düzlemleri Çizelge 4.5.’de verilmiştir. Elde edilen tüm piklerin ICDD’nin piklerine karşılık gelen değerleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. XRD analiz sonuçlarına göre en yüksek şiddete sahip pikin $2\theta = 34.54^\circ$ ’de (002) düzleminde ve FWHM’u 0.469 değerinde olduğu gözlemlendi.

Çizelge 4.5. Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen nano yapılı ZnO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri

Düzlem(hkl)	Derece (2 θ)	Referanslar (ICDD-73-8765 no'lu Kart.)
100	31.90	31.76
002	34.54	34.42
101	36.36	36.25
102	47.56	47.53
110	56.25	56.59
103	62.91	62.86
112	68.06	67.95
201	69.22	69.09

4.1.2.2. Üretilen CuO Filminin X-Işını Kırınım Analizleri

Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak üretilen nano yapılı CuO ince filmlerine ait XRD desenleri Şekil (4.4.)'de verildi.



Şekil 4.4. Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen CuO filminin XRD deseni

Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak üretilen nano yapılı CuO ince filmlerine ait XRD desenleri Şekil (4.4.)’de ve analizlerinden $2\theta = 35.60, 38.93, 50.22, 68.26$ değerlerinde pikler verdiği görülmektedir. XRD analizlerinde en şiddetli pikin $2\theta = 50.22^\circ$ değerinde (112) düzleminde ve FWHM’u 0.239 değerinde oluştuğunu net bir şekilde göstermektedir. Verilen derecelere karşılık gelen düzlemler Çizelge 4.6.’de verildi. Elde edilen tüm piklerin CuO film yapısına ait olduğunu ICDD’nin 73-8765 kart numarasındaki değerler ile karşılaştırıldığında açıkça elde edilen tüm piklerden, (112) haricinde ki tüm piklerin referans değerler ile uyumlu olduğu görüldü.

Çizelge 4.6. Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen nano yapılı CuO filmlerine ait pik derecelerine karşılık gelen (hkl) düzlemleri

Düzlem(hkl)	Derece (2θ)	Referanslar (ICDD-73-8765 no’lu Kart.)
002	35.60	35.49
111	38.93	38.72
112	50.22	51.37
-220	68.26	68.08

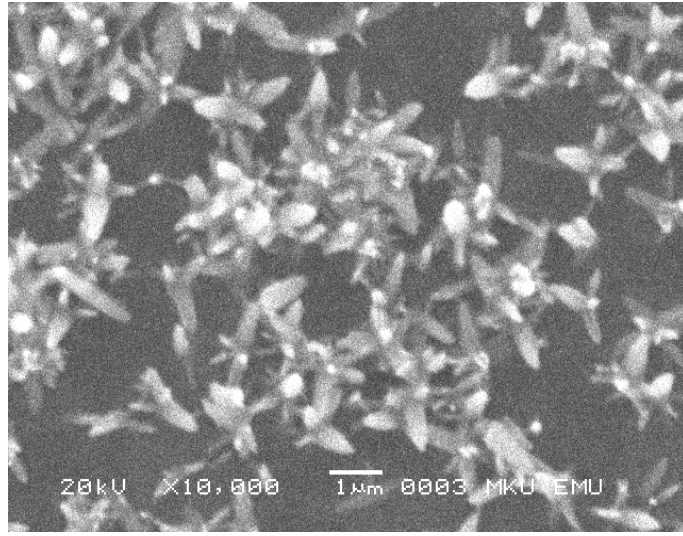
4.2. Üretilen Yapıların Morfolojik İncelenmesi

Üretilen ince filmlerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezin de bulunan JEOL marka JSM-5500LV model cihaz kullanılarak alındı (Şekil 3.3.) Kimyasal Banyo Depolama yöntemi ve Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak Çinko Oksit (ZnO) ile Bakır (II) Oksit (CuO) nano yapılı ince filmlerinin yüzeysel analizleri alındı.

4.2.1. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi (CBD) Yöntemi ile Üretilen Film Yapılarının Morfolojik İncelenmesi

Kimyasal Banyo Depolama yöntemi kullanılarak p-Si altlık üzerine büyütlen nano yapılı filmlere ait 10.000 büyütme SEM görüntüleri aşağıda verildi.

4.2.1.1. ZnO Filminin Morfolojik İncelenmesi

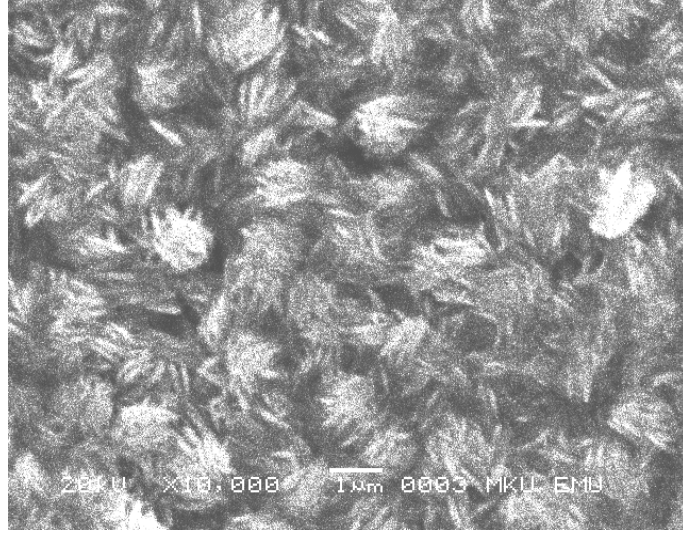


Şekil 4.5. CBD yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin SEM görüntüsü

Kahraman (2010)'nın bildirdiğine göre, Vayssieres (2004) azalan metal iyon kaynağının molaritesinden dolayı altlık üzerinde oluşan ZnO çekirdeklerinin sayısal olarak az olduğunu ve büyümenin bu çekirdek tabaka üzerinde gerçekleştiğini rapor etmiştir. Şekil (4.5.) incelendiğinde, çiçeksi bir yapının oluştuğu görüldü.

XRD desenleri incelendiğinde de, üretilen ZnO ince filmlerinin XRD piklerinden de hekzagonal ZnO kristal yapısının oluştuğunu açık bir şekilde ifade etmektedir.

4.2.1.2. CuO Filminin Morfolojik İncelenmesi



Şekil 4.6. CBD yöntemi ile üretilen CuO ince filminin SEM görüntüsü

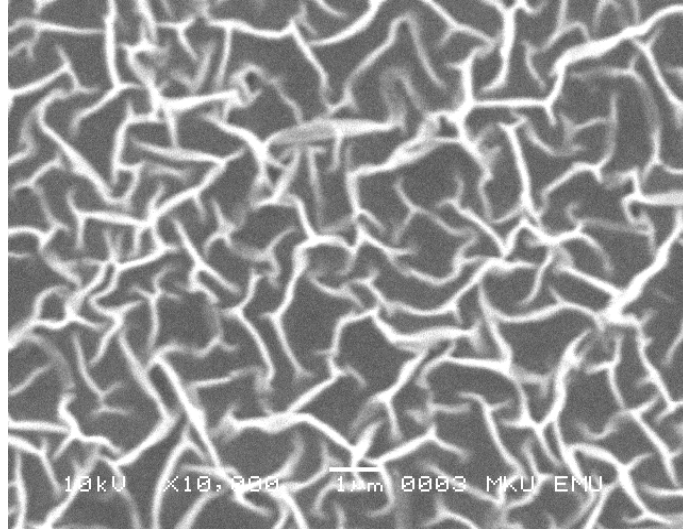
Şekil (4.6.)’da, Kimyasal Banyo Depolama yöntemi kullanarak elde edilen CuO filminin SEM görüntüsü görülmektedir. Buradan altlık yüzeyinin hemen hemen tümünün kaplandığını gözledi. Görüntülerden filmin yüzey üzerinde CuO yapılarına ait kümelenmelerin olduğunu ve bu kümelerinde nano boyutlarda ki parçacıklardan oluştuğunu, sürekli ve homojen olmayan bir oluşum içerisinde olduğunu söyleyebiliriz. Bayansal ve ark. (2011)’nın çalışmalarında, kimyasal banyo depolama yöntemini kullanarak ürettikleri CuO’ların morfoloji ve mikroyapı analizleri için yaptıkları SEM görüntülerinde benzer bir yapının oluştuğunu rapor etmişlerdir. Yeterince net olmayan bu resim için CuO fazını oluşturduğunu anlayabilmek amacıyla XRD sonuçları analiz edildiğinde, elde edilen tüm piklerin yapıya ait olduğu uluslararası difraksiyon data merkezinin 73-8765 kart numarasındaki pikler ile uyumlu olduğu görülebilir (Çizelge 4.3.).

4.2.2.Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Üretilen Film Yapılarının Morfolojik İncelenmesi

Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak p-Si altlık üzerine büyülen nano yapılı filmlere ait 10.000 büyütme SEM görüntüleri aşağıda verildi.

4.2.2.1. ZnO filminin Morfolojik İncelenmesi

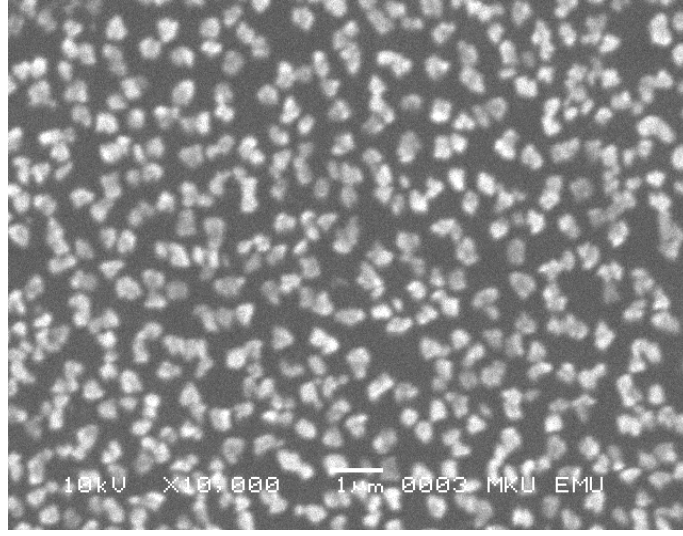
p-Si kristal altlık üzerine Döndürerek Kaplama yöntemiyle büyülen ZnO filmine ait SEM görüntüsü Şekil (4.7.)’de görülmektedir



Şekil 4.7. Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin SEM görüntüsü

Şekil (4.7.)’de ürettiğimiz yapının SEM görüntüsünde ki lif (fiber) benzeri yapının, Yakuphanoglu ve ark. (2011)’nin çalışmalarında rapor edilen yapıya benzediği gözlemlendi. Altlık üzerine büyülen ince film yapının, Al/ZnO/p-Si diyot yapısının elektriksel özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olacağı söylenebilir. ZnO ince filminin XRD desenleri incelendiğinde, (002) c-ksenli tercihli yönelime sahip hekzagonal bir fazın ve Scherrer formülünden de hesaplanan tanecik boyutu ile nano boyutlarda bir yapının oluştuğunu söylenebilir.

4.2.2.2. CuO Filminin Morfolojik İncelenmesi



Şekil 4.8. Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen ZnO ince filminin SEM görüntüsü

Şekil (4.8.)’de p-Si altlık üzerine büyütülen CuO filmine ait yüzey morfolojisi görülmektedir. Halin ve ark. (2008), çalışmalarında aynı yöntemi kullanarak n-tipi silisyum yüzey üzerine büyüttükleri Cu_2O ’ların Şekil (4.8.)’deki benzer yapısı için, düzgün pürüzsüz bir film yüzeyi yerine adacıklar halinde kümelenmiş yapıların oluştuğunu rapor etmişlerdir. Bu durumun, yarıiletken tek kristal bir altlık üzerine büyütülen Cu_2O taneciklerinin, yüzeyde dağılımı ve şeklinden dolayı Volmer-Weber büyümesi olarak ifade edilen bir yapının oluştuğunu rapor etmişlerdir. Volmer-Weber büyümesi, yarıiletken bir altlık üzerine normal bir metal filmin çoğu kez tercih ettiği büyüme tipidir. Şekil (4.8.)’de görülen, ürettiğimiz yapıların da Volmer-Weber büyümesinde olduğu gibi adacıklar halince kümelenen taneciklerden oluştuğunu gözlemlendi. Bu durumun, tek kristal yarıiletken bir yüzeyin seçilmesi, ayrıca depo edilen filmin kimyasal potansiyeli ve filmde oluşan stres’ten dolayı kaynaklandığı söylenebilir.

4.3. Üretilen Yapıların Elektriksel İncelenmesi

Bu bölümde, elde edilen deneysel verilerden, karakteristiklerinin çizilmesi ve ulaşılan sonuçlarla diyot parametrelerinin hesaplanmasına yer verildi.

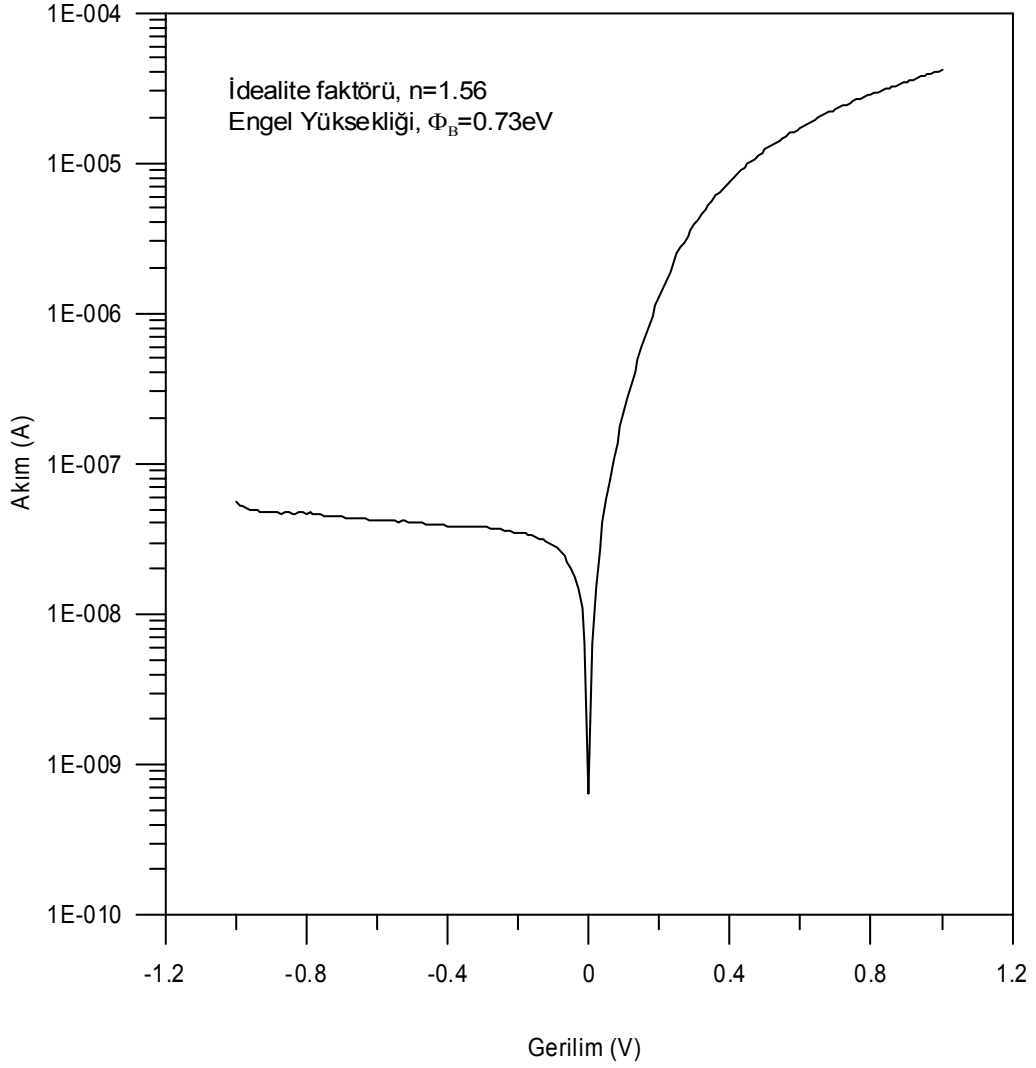
Üretilen tüm numuneler için geleneksel (I-V), Cheung&Cheung fonksiyonları ve Norde fonksiyonları kullanılarak idealite faktörü, engel yüksekliği, seri direnç değerleri hesaplanıp çizelgeler ve grafikler halinde verildi.

4.3.1. Kimyasal Banyo Depolama Yöntemi ile Üretilen Diyot Yapılarının Elektriksel incelenmesi

Bu kısımda, Kimyasal Banyo (CBD) yöntemi kullanılarak oluşturulan, metal ile yarıiletken arasına ZnO ve CuO ince filmleri büyütülerek oluşturulan Schottky diyot yapıları ile ilgili sonuçlara yer verilmiştir Üretilen filmlere ait akım-gerilim, Cheung&Cheung, Norde ölçüm sonuçları ve grafikleri verildi.

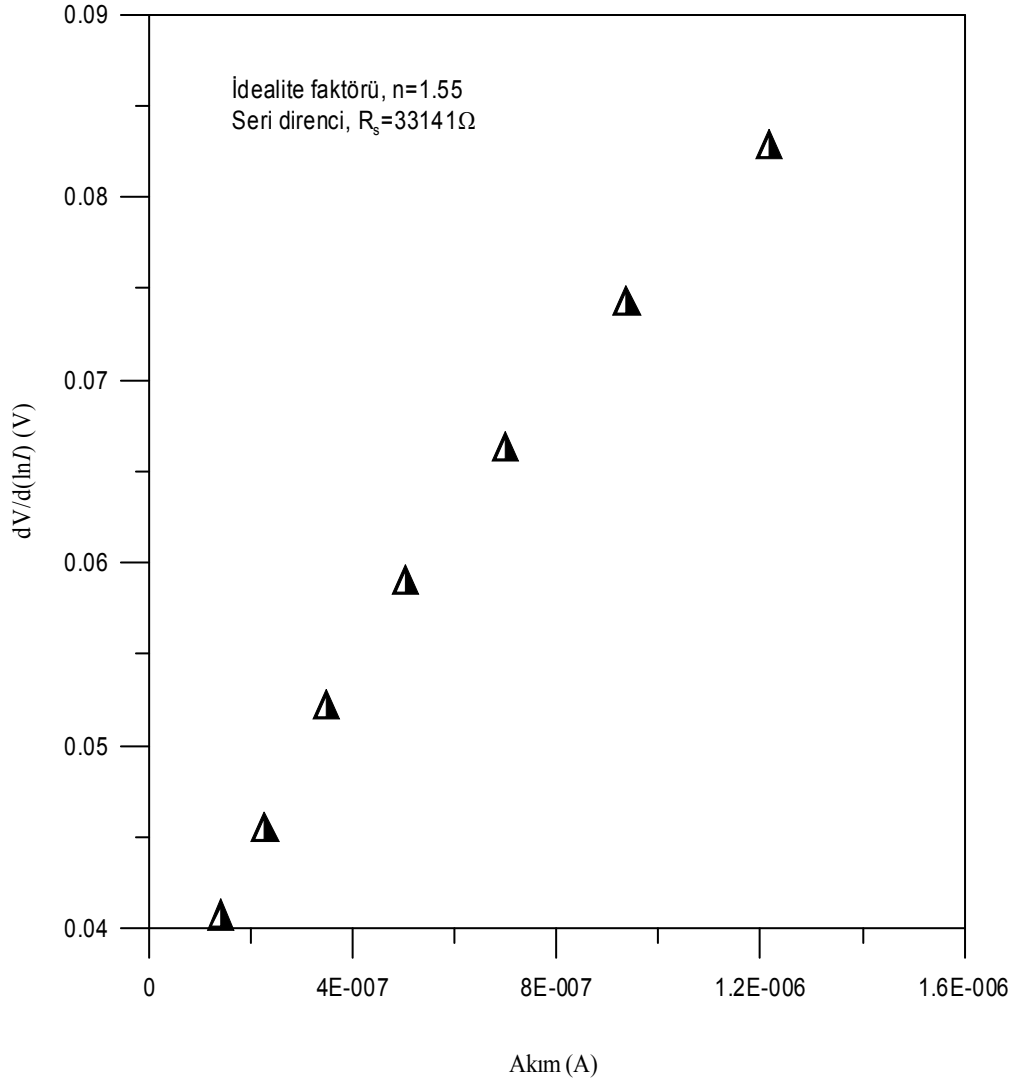
4.3.1.1. Al/ZnO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky Diyot Yapısının İncelenmesi

Kimyasal Banyo Depolama yöntemi kullanılarak üretilen ZnO filmi üzerine Al metali buharlaştırılarak diyot yapısı üretildi. Üretilen diyot yapısına ait grafiklere yer verildi.



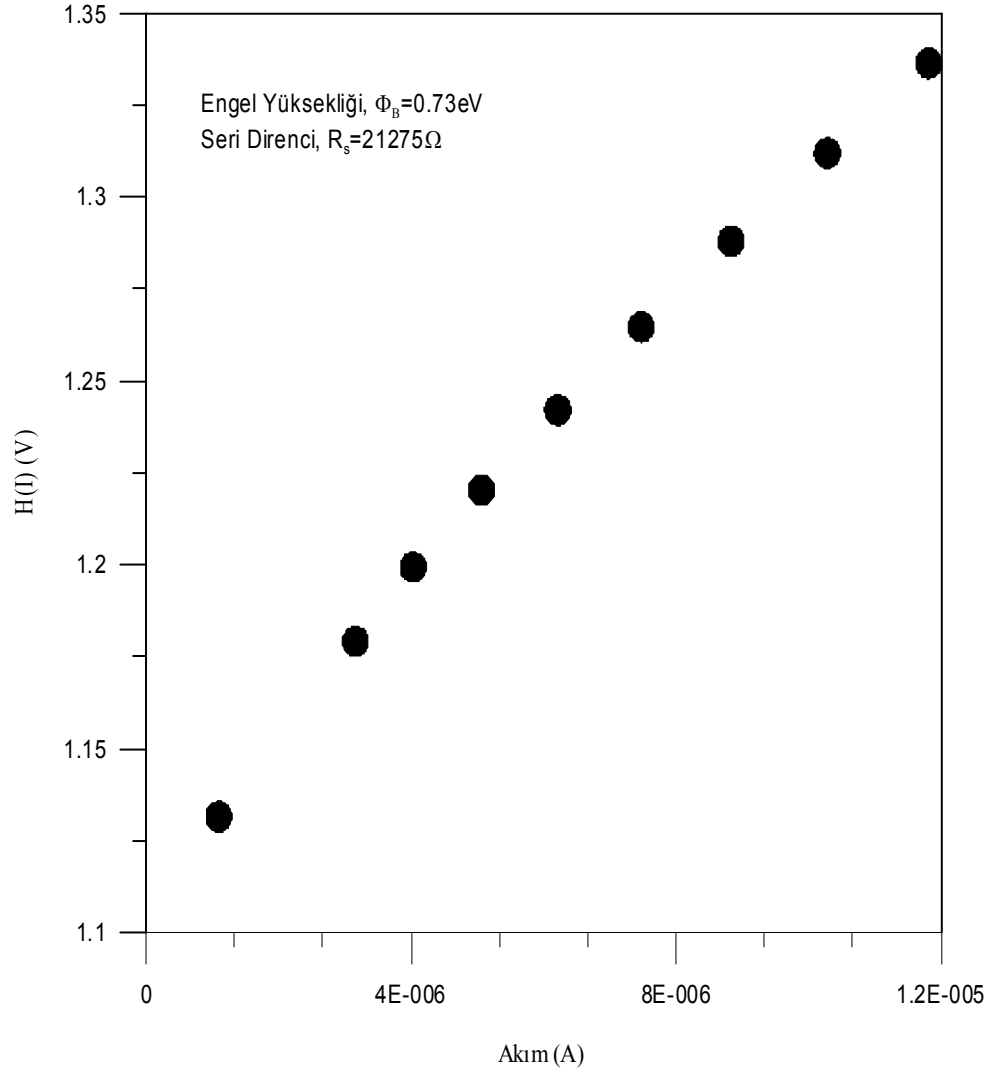
Şekil 4.9. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği

Kimyasal banyo depolama yöntemiyle üretilen Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının Şekil (4.9.)’da ki lnI-V grafiği incelendiğinde, grafikten diyotun doğrultucu özelliğe sahip olduğu görülmektedir. Şekil (4.9.)’da görülen lnI-V grafiğinin eğiminden idealite faktörü (n), ve akım eksenini (y-ekseni) kestiği noktadan ise engel (bariyer) yüksekliği (Φ_B) değerleri hesaplandı.



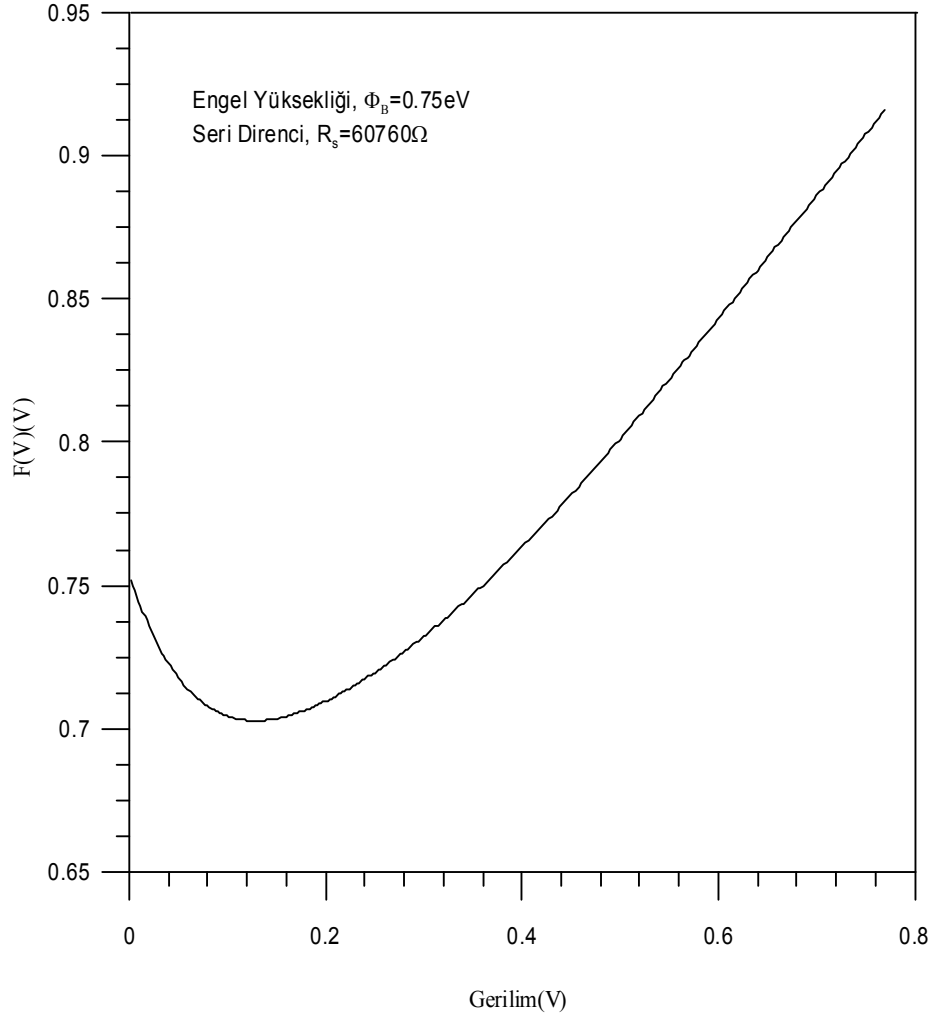
Şekil 4.10. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının $dV/d(\ln I)$ -I grafiği

Ayrıca Cheung&Cheung ve Norde tarafından ileri sürülen teoriler yardımı ile diyotun karakteristik parametreleri hesaplandı. Şekil (4.10.)’da ve Cheung&Cheung yöntemi kullanılarak çizilen $dV/d(\ln I)$ -I grafiği görülmektedir. Bu grafiğin eğiminden seri direnç (R_s)’nin değerini ve y-ksenini (akım) kestiği noktadan idealite faktörü (n) değerlerini hesaplandı.



Şekil 4.11. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği

Şekil (4.11.)'de Cheung&Cheung yöntemi kullanılarak çizilen H(I)-I grafiği görülmektedir. Bu grafiğin eğiminden seri direnç (R_s)'nin değerini, y-eksenini (akım) kestiği noktadan engel yüksekliği (Φ_B), değerlerini hesaplandı.



Şekil 4.12. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği

Şekil (4.12.)’de Norde tarafından ileri sürülen teorik modellemeyi kullanılarak çizilen F(V)-V grafiğinin eğiminden seri direnç (R_s) ve y-eksenini kestiği noktadan ise engel yüksekliği (Φ_B) değerlerini hesapladık. Elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 4.7’de verildi.

Benzer şekilde; Türüt ve ark.(2002), Al/ZnO/p-Si yapısını, arayüzey’e elektrokimyasal depolama yöntemini kullanarak, nano boyutlarda ZnO ince filmi büyüttüklerini rapor etmişlerdir. Daha sonra yaklaşık 10^{-5} Torr basınç altında Al metalini buharlaştırarak ürettikleri Al/ZnO/p-Si Schottky diyot yapısına ait karakteristik parametrelerini, $\ln I-V$ grafiğinin eğiminden idealite faktörü (n)’nün değerini 1.21 ve engel yüksekliği (Φ_B)’nin değerini 0.59eV olarak hesapladıklarını, ayrıca Cheung&Chueng fonksiyonlarını kullanarak idealitesini (n) 2.10 ve engel yüksekliği

(Φ_B)'ni 0.54 eV ve sırasıyla seri direnç (R_s)'nin değerlerini 1525 Ω ve 1531 Ω olarak bulduklarını rapor etmişlerdir. Diyotlarının idealden sapmasının nedenini Al Schottky kontak ile p-Si durumları arasında bulunan ara yüzey hallerinden kaynaklandığını rapor etmişlerdir.

Bu durumun bir sonucu olarak; idealite faktörünün yanı sıra engel yüksekliği ve seri direnç değerlerinin de olması gereken değerlerden yüksek veya düşük çıkmasına sebep olmuş olabilir.

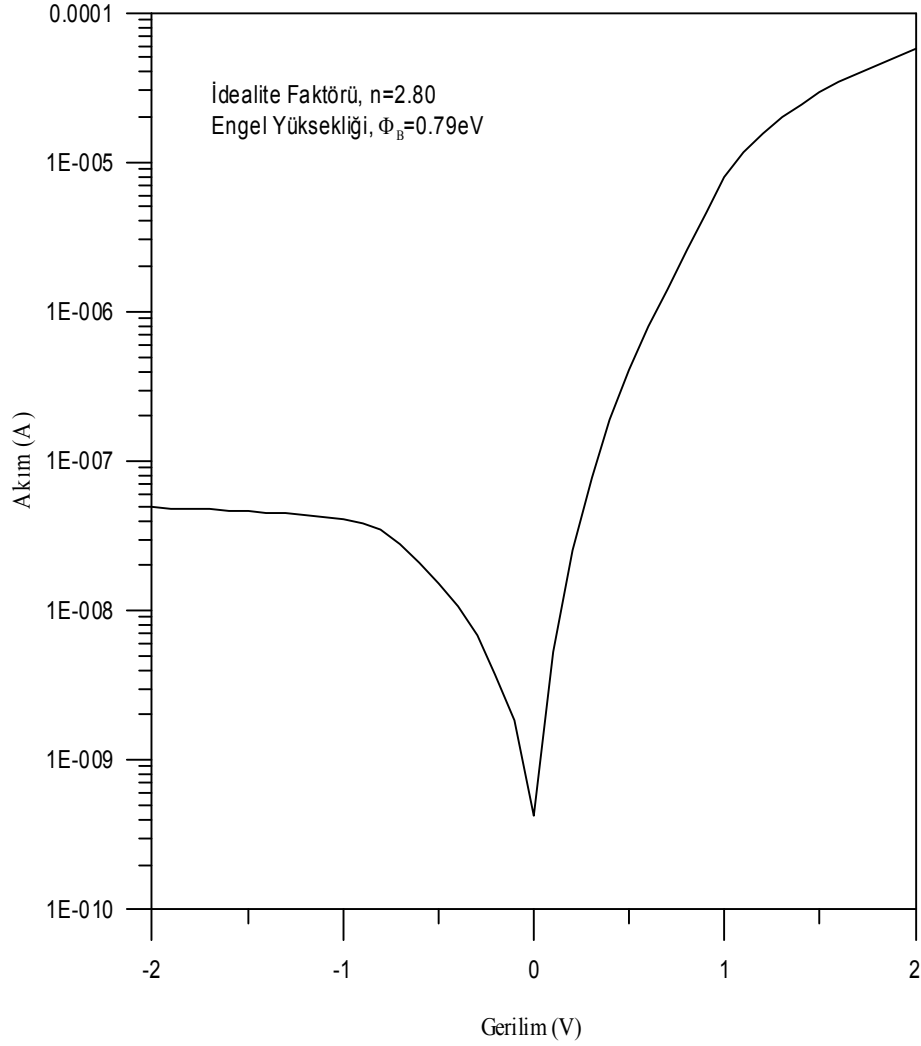
Çizelge 4.7. Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri

I-V		Cheung				Norde	
		dV/d(LnI)-I		H(I)-I		F(V)-V	
n	Φ_B (eV)	n	R_s (Ω)	Φ_B (eV)	R_s (Ω)	Φ_B (eV)	R_s (Ω)
1.56	0.73	1.55	33141	0.73	21274	0.75	60760

4.3.1.2. Au/CuO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky Diyot Yapısının İncelenmesi

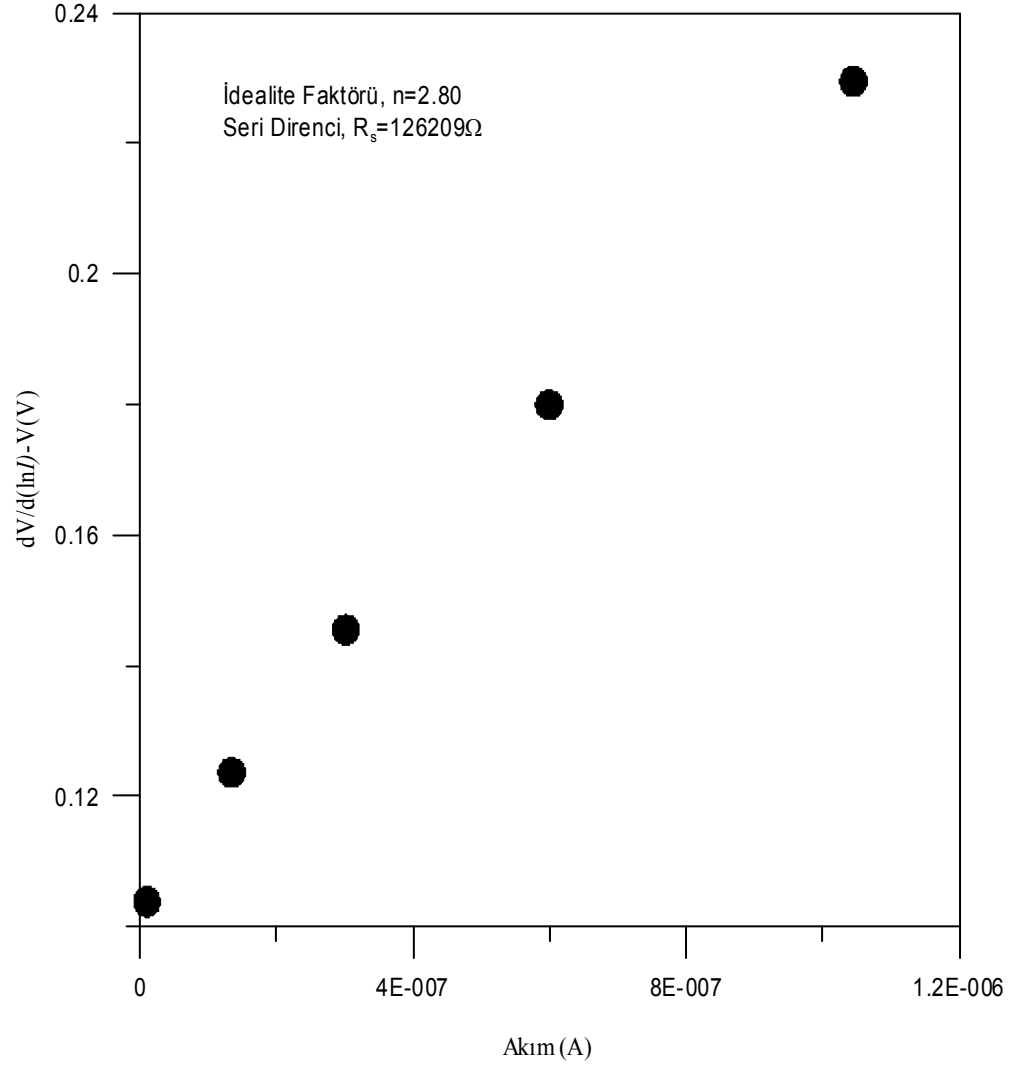
Kimyasal Banyo Depolama yöntemi kullanılarak üretilen CuO filmi üzerine Au metali buharlaştırılmak suretiyle diyot yapısı üretildi. Üretilen diyot yapısına ait grafiklere yer verildi.

CuO/p-Si üzerine yaklaşık 10^{-5} Torr basınç altında Au (Altın) metali buharlaştırılarak Schottky diyot yapısı elde edildi. Burada Al metali yerine Au metalinin seçtik çünkü, Gupta ve ark. (2009)'nın bildirdiğine göre, Au metali ile yapılan kontaklar daha iyi doğrultucu bölge karakteristiği sunmaktadır.



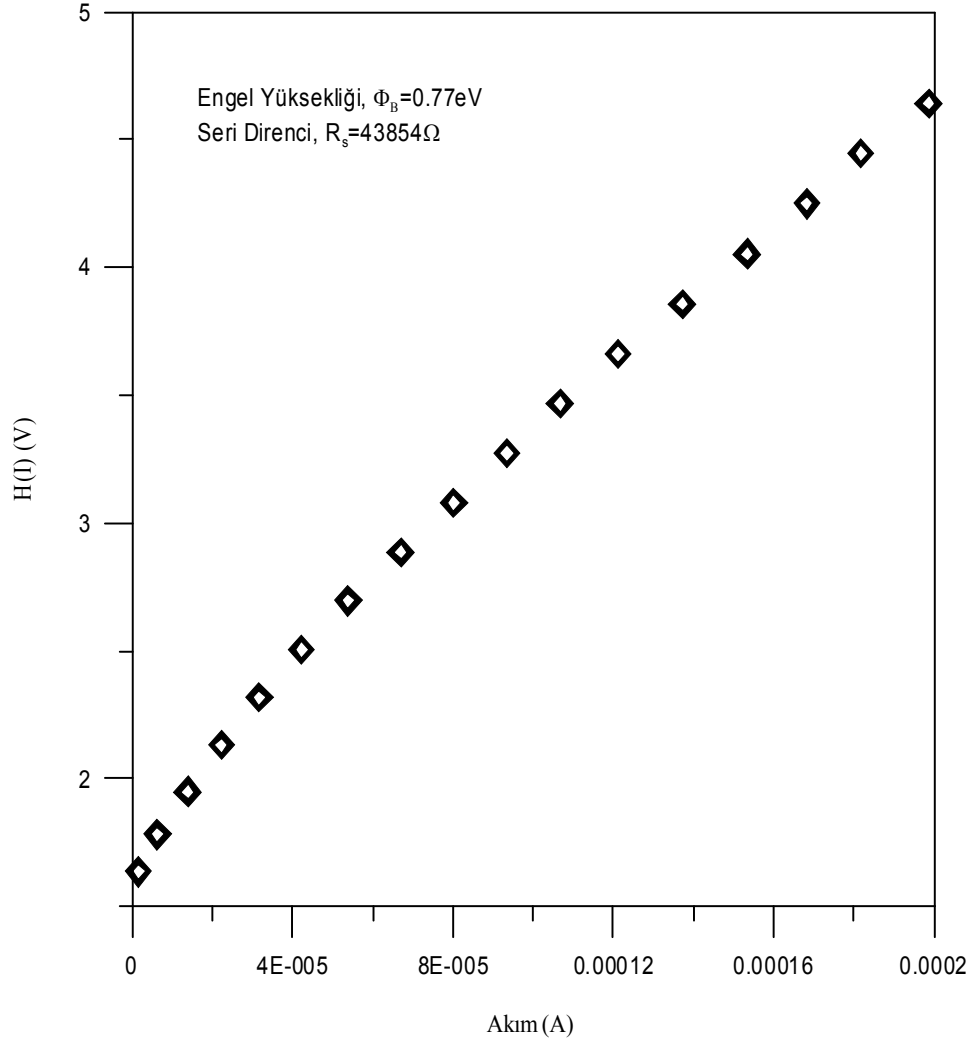
Şekil 4.13. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği

Diyot yapısına ait Şekil (4.13.)’de çizilen lnI-V grafiğinin düz besleme bölgesinde, diyot yapısı için birkaç mertebelik akım değerlerinde lineer (doğrusal) bir davranış sergilerken, seri direnç etkisi ise doğrusal bölgeye kıyasla daha erken başladığı gözlemlendi. lnI-V grafiğinin eğiminden idealite faktörü (n) ve akım eksenini kestiği noktadan engel yüksekliği (Φ_B) hesaplandı.



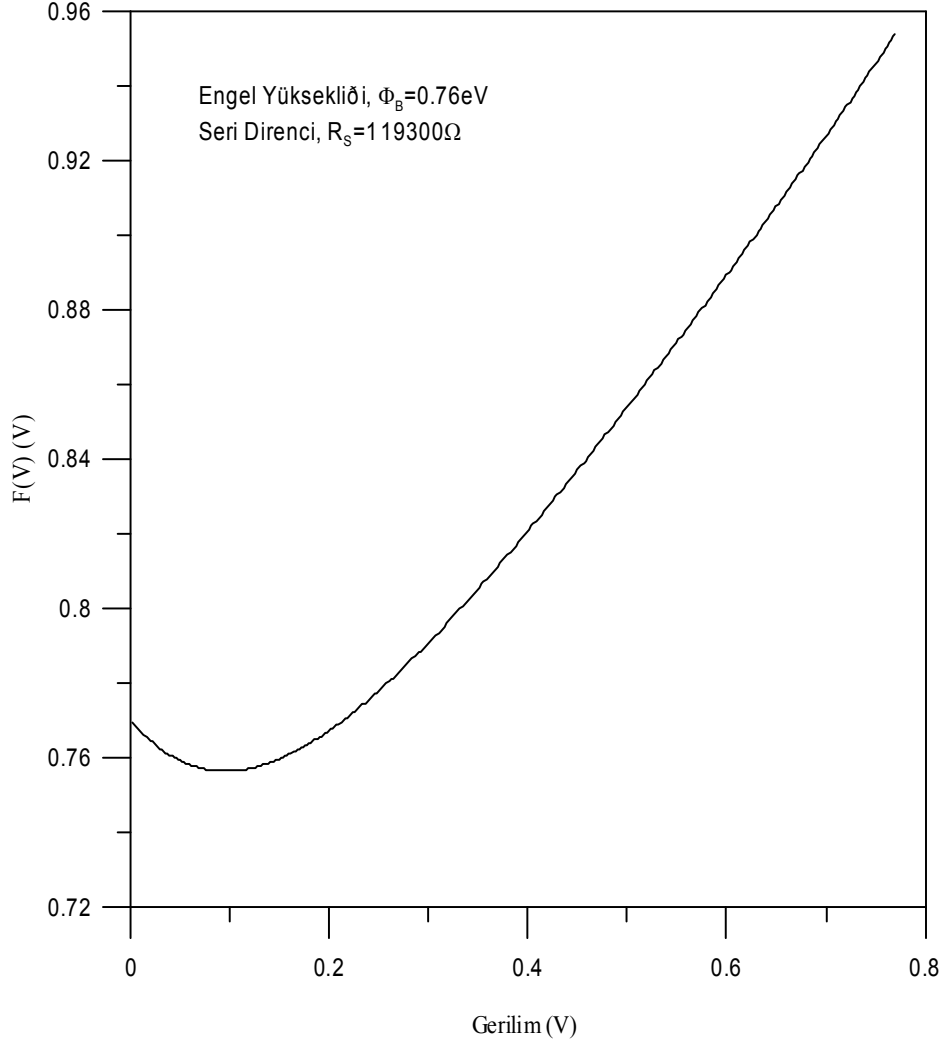
Şekil 4.14. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının $dV/d(\ln I)$ -I grafiği

Ayrıca karakteristik parametreleri hesaplamada alternatif metot olarak kullanılan Cheung&Cheung yöntemi kullanarak, idealite faktörü (n), engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_S) değerlerini hesaplandık. Bir başka metot olan Norde yöntemi kullanılarak, engel yüksekliği (Φ_B) ve seri direnç (R_S) hesaplandı.



Şekil 4.15. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği

Schottky diyot karakteristik parametrelerini, idealite, engel yüksekliği ve seri direnci hesaplamada başarılı bir metot olan Cheung&Cheung metodu kullanılmaktadır. Bu yöntemde $dV/d(\ln I)$ -I'nın I'a karşı grafiği Şekil (4.14.)'de ki gibi lineer olmalı ve eğimi seri direnci (R_s) vermelidir. Burada y-eksenini kestiği noktanın değeri nkT/q 'ye eşit olacak ve buradan idealite faktörü bulunacaktır.



Şekil 4.16. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği

Seri direnç değerini hesaplamak için alternatif bir metot olan Norde tarafından ileri sürülen formülle de hesaplayabiliriz. Modifiye edilmiş Norde fonksiyonlarına göre;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I(V)}{A A^* T^2}\right) \quad (4.1)$$

Burada γ boyutsuz bir tamsayı, idealite değerinden büyük olması gerekir. Önce F(V)-V grafiğinin minimum'u hesaplanır. Sonuç olarak buradan da bariyer yüksekliği değeri hesaplanabilir.

H(I)-I grafiğini çizdiğimizde Şekil (4.15.)'de görüldüğü gibi lineer olacaktır. Bu grafiğin eğiminden seri direnci (R_s) hesaplamak mümkündür. Ayrıca y-eksenini

kestiği noktadan ise engel yüksekliği (Φ_B) değerini hesaplandı. Elde ettiğimiz sonuçlar Çizelge 4.8.'de verildi.

Tataroğlu ve ark. (2010)'nın rapor ettiklerine göre, idealite faktörü $\ln I$ - V grafiğinin lineer kısmını gösterir ki bu karakteristiklerinden elde edilirken, burada seri direnç (R_s) sifira denk kabul edilerek hesap edilmesi gerekmektedir. İdealite faktörünün değeri ise metal yarıiletken (MS) bileşiminden oluşan bir cihazın olduğunu açıkça gösterebileceğini rapor etmişlerdir.

Üretilen diyot yapısının, idealite faktörünü (n) $\ln I$ - V grafiğinin eğiminden ve akım eksenini kestiği noktadan ise engel yüksekliği (Φ_B) değerlerini hesapladık. İdealite faktörü değerinin lineer bölgeninkinden yüksek çıkması grafiklerden de görüldüğü gibi seri direnç etkisinin erken başlaması ve bu etkiden dolayı kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü, seri direnç faktörü diyotu ideal durumdan uzaklaşmasına sebep olur.

Türüt ve ark.(2002)'nin çalışmalarında, idealite değerinin büyük çıkmasını metal ile yarıiletken arasına bir yalıtkan tabakanın varlığından dolayı etkilendiği sonucunu rapor etmişlerdir.

Burada düz besleme Akım-Gerilim ölçüm sonuçlarını etkileyen en önemli etkenler, seri direnç ve ara yüzey oksit tabaka etkisidir. Çalışmamızda metal ile yarıiletken arasına ince metal oksit bir tabaka yerleştirdik. Ve bu tabaka etkisinden dolayı idealite faktörünün değerini olması gereken 1 değerinden çok büyük olduğu gözlemlendi.

İdealite faktörünün 1'den büyük olması, omik kontak direncinin büyüklüğü, ara yüzey hallerinin yoğunluğu ve nötral bölgenin seri direncinin büyüklüğü gibi faktörlerle doğru orantılı olarak bağlıdır (Keleş, 2008).

Çizelge 4.8. Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri

I-V		Cheung				Norde	
		dV/d(LnI)-I		H(I)-I		F(V)-V	
n	Φ_B (eV)	n	$R_s(\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(\Omega)$
2.80	0.79	2.80	126209	0.77	43854	0.76	119300

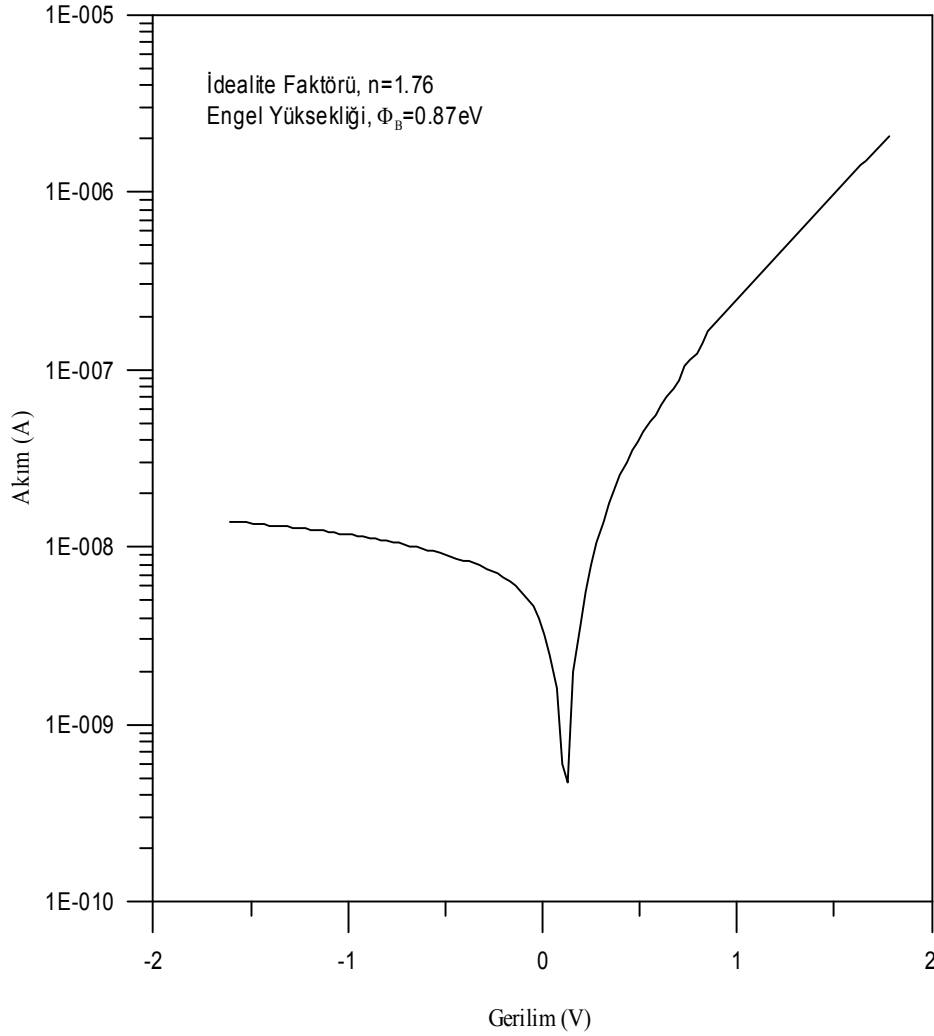
4.3.2.Sol-Jel Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Üretilen Diyot Yapılarının Elektriksel İncelenmesi

Çözeltiden büyütme yöntemlerinden biri olan Sol-Jel döndürerek kaplama yöntemi ile oluşturulan diyot yapılarının geleneksel akım-gerilim, Cheung&Cheung ve Norde yöntemleri ile karakteristik yapıları hesaplanarak grafikler ve çizelgeler halinde yer verildi.

4.3.2.1. Al/ZnO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky Diyot Yapısının İncelenmesi

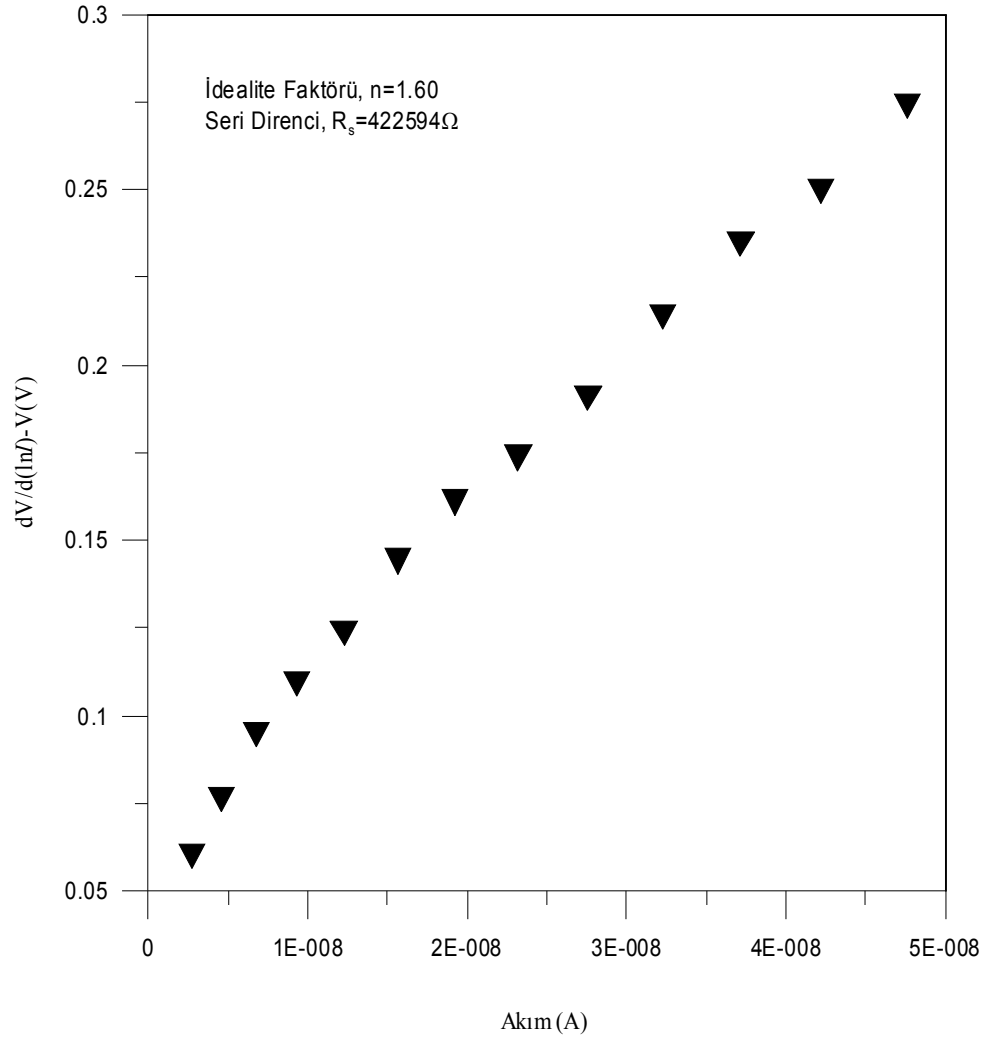
Sol-Jel döndürerek kaplama yöntemi kullanılarak üretilen ZnO ve CuO filmlerinin üzerine Al metali buharlaştırılmak suretiyle diyot yapısı üretildi. Bu bölümde üretilen diyot yapısına ait grafiklere yer verildi.

Sol-Jel döndürerek kaplama çözeltiden büyütme tekniklerinden biridir. Bu yöntem kullanılarak üretilen diyotların geleneksel (I-V) ölçümleri kullanılarak elde edilen veriler ile yarı-logaritmik akım'a karşı voltajın grafiği çizildi. Ve bu grafiğin düz besleme bölgesinde, lineer bölgenin eğiminden, idealite faktörü ve bu doğrunun yarı-logaritmik akım eksenini kestiği noktadan engel yüksekliği hesaplandı. lnI-V grafiği bize üretilen bir cihazın homojenliği hakkında bilgi verebilir.



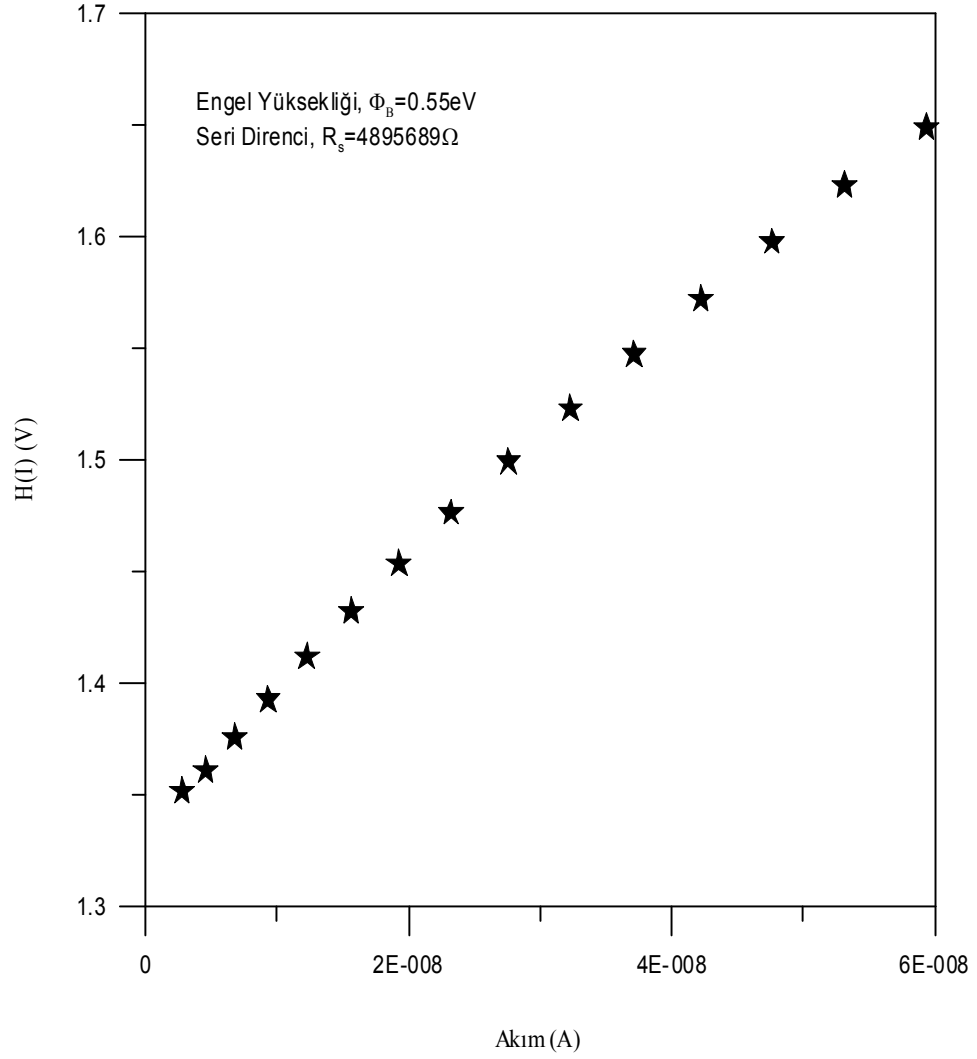
Şekil 4.17. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI–V grafiği

Şekil (4.17.)’de ki lnI-V grafiği incelendiğinde birkaç mertebelik akım değerinde lineer bir bölge mevcut iken, çok erken başlayan seri direnç etkisinden dolayı diyot parametreleri kuvvetli bir şekilde etkilendiği elde edilen sonuçlardan da net bir şekilde görülmektedir. Bu durum seri direnç etkisinden kaynaklanmaktadır. Seri direnç, Schottky bariyer diyotların elektriksel karakteristikleri için önemli bir parametredir. Bu etki düz besleme akım-gerilim grafiğinin ideal olmaması ve metal ile yarıiletken arasında ara yüzeyel tabakanın mevcut olmasından dolayıdır (Türüt, 2009).



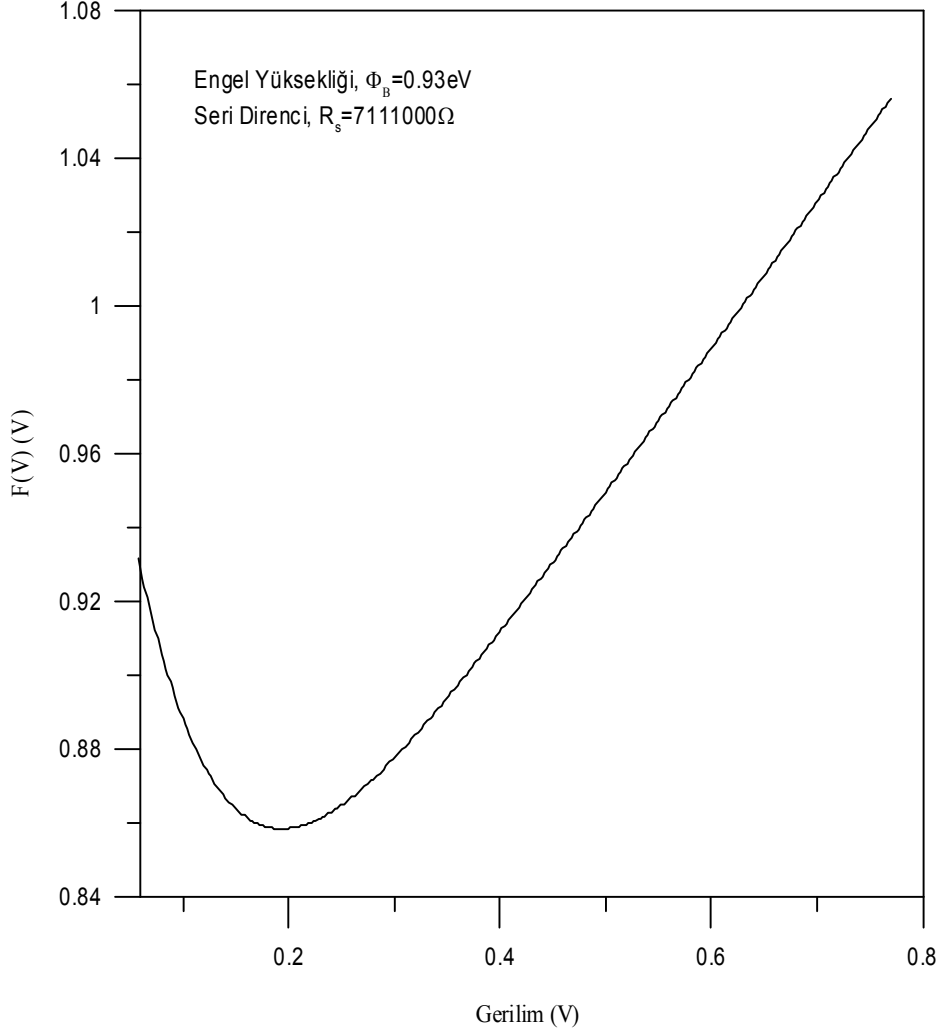
Şekil 4.18. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının $dV/d(\ln I)-I$ grafiği

Diyot karakteristiklerini hesaplamak için aynı zamanda Cheung&Cheung ve Norde tarafından ileri sürülen teoriler kullanılmaktadır. Bu teoriler yardımıyla, idealite faktörü, engel yüksekliği ve nötral bölgenin seri direnci hesaplanabilir. Hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.9'da verildi.



Şekil 4.19. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği

Şekil (4.19.)’da görülen Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak çizilen H(I)-I grafiğidir. Bu grafiğin eğiminden seri direnç (R_s) değerini ve akım eksenini kestiği noktadan ise engel yüksekliği değerleri hesaplandı.



Şekil 4.20. ZnO filmine ait Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği

Diyot parametrelerinin idealden bu kadar çok sapmasının en önemli sebepleri; seri direnç faktörü ve ara yüzey durumların yoğunluğundan dolayı olduğu söylenebilir. idealite faktörü, diyotun ideal olduğunu ifade eden boyutsuz bir tamsayıdır.

Çağlar ve ark. (2010), Sol-Jel yöntemi kullanarak ZnO ince filmlerini p-Si altlık üzerine büyüttüklerini bildirmişlerdir. İdealite faktörü ve bariyer yüksekliğini sırasıyla 3.18 ve 0.78 eV olarak bulduklarını rapor etmişlerdir. 2'den büyük bir idealite değeri elde etmişlerdir. Bu durumun, mevcut ara yüzey halleri ve oksit tabakasından dolayı diyotun ideal davranıştan sapmakta olduğunu rapor etmişlerdir. O halde çalışmamızda elde ettiğimiz idealite faktörü değerinin de 1'den büyük çıkmasının,

Çağlar ve ark. (2010)'nın rapor ettikleri gibi mevcut ara yüzey halleri ve oksit tabakasından dolayı kaynaklandığı söylenebilir.

Dhananjay ve ark. (2007), idealite faktörünün değeri, 2'den büyük çıkmasını uzay yükü bölgesindeki elektronların ve hollerin rekombine olmasının neden olduğunu rapor etmişlerdir.

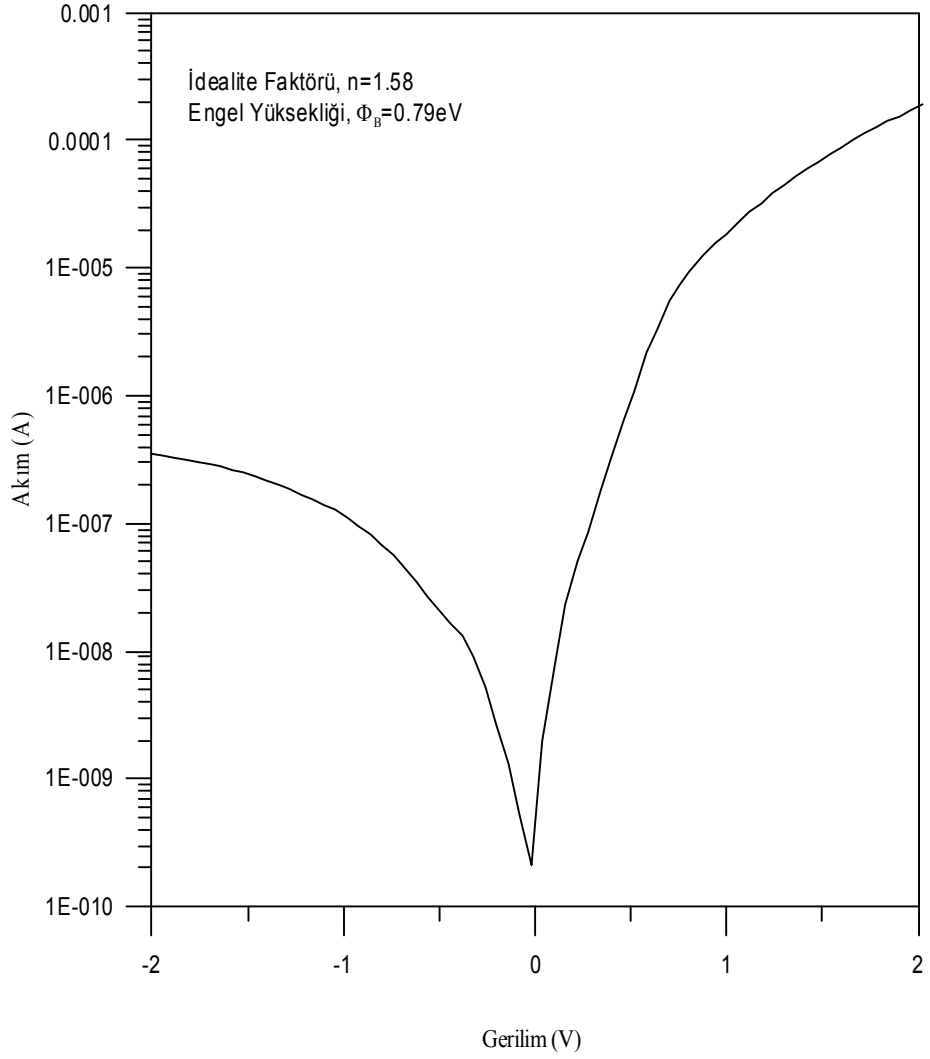
Çizelge 4.9. Al/ZnO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri

I-V		Cheung				Norde	
I-V		dV/d(LnI)-I		H(I)-I		F(V)-V	
n	Φ_B (eV)	n	$R_s(\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(\Omega)$
1.76	0.87	1.60	4225941	0.55	4895689	0.93	7111000

4.3.2.2. Au/CuO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken Schottky Diyot Yapısının İncelenmesi

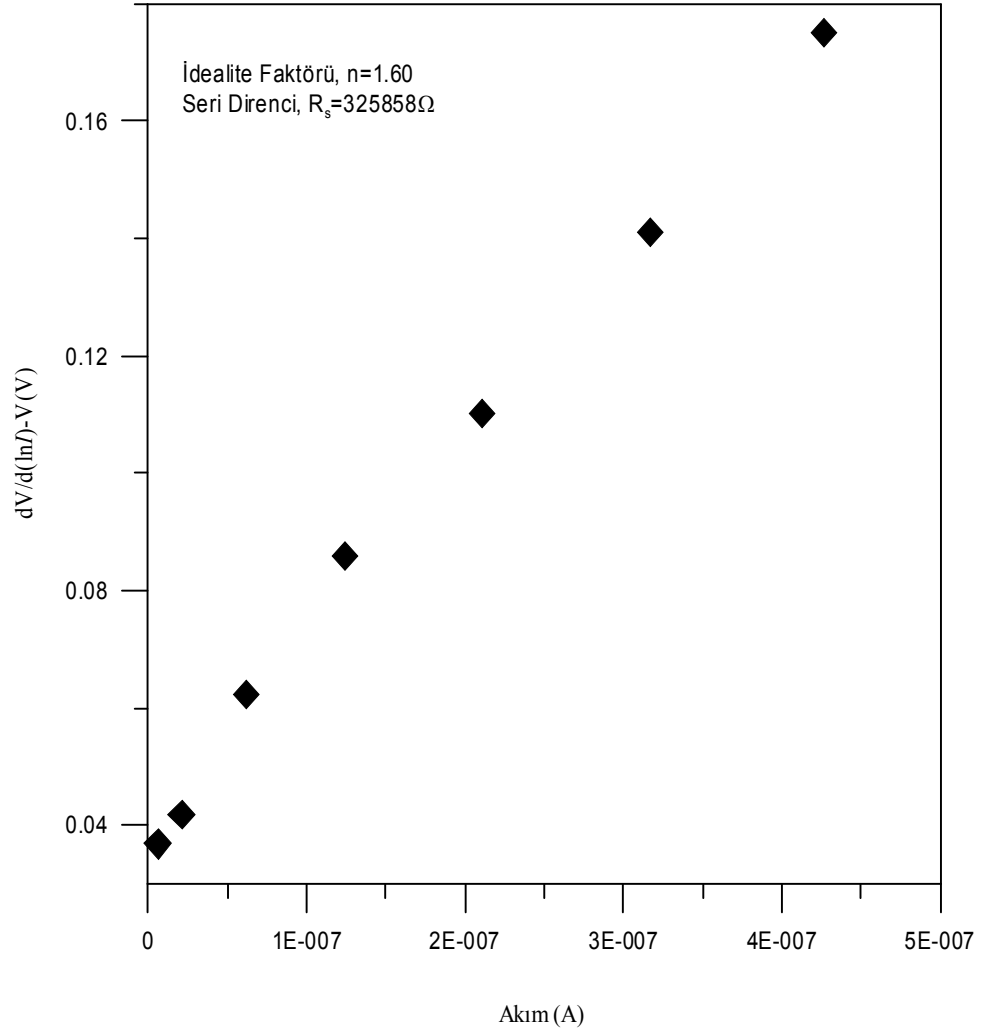
Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi kullanılarak üretilen CuO filmlerinin üzerine Au metali buharlaştırılarak Au/CuO/p-Si Schottky diyot yapısı üretildi. Burada, üretilen diyot yapısına ait grafiklere yer verildi.

Sol-Jel spin coating depolama tekniği kullanılarak üretilen CuO yarıiletken filmi, üzerine yaklaşık 10^{-5} Torr basınç altında Au (Altın) metali buharlaştırılarak Schottky diyot yapısı elde edildi.



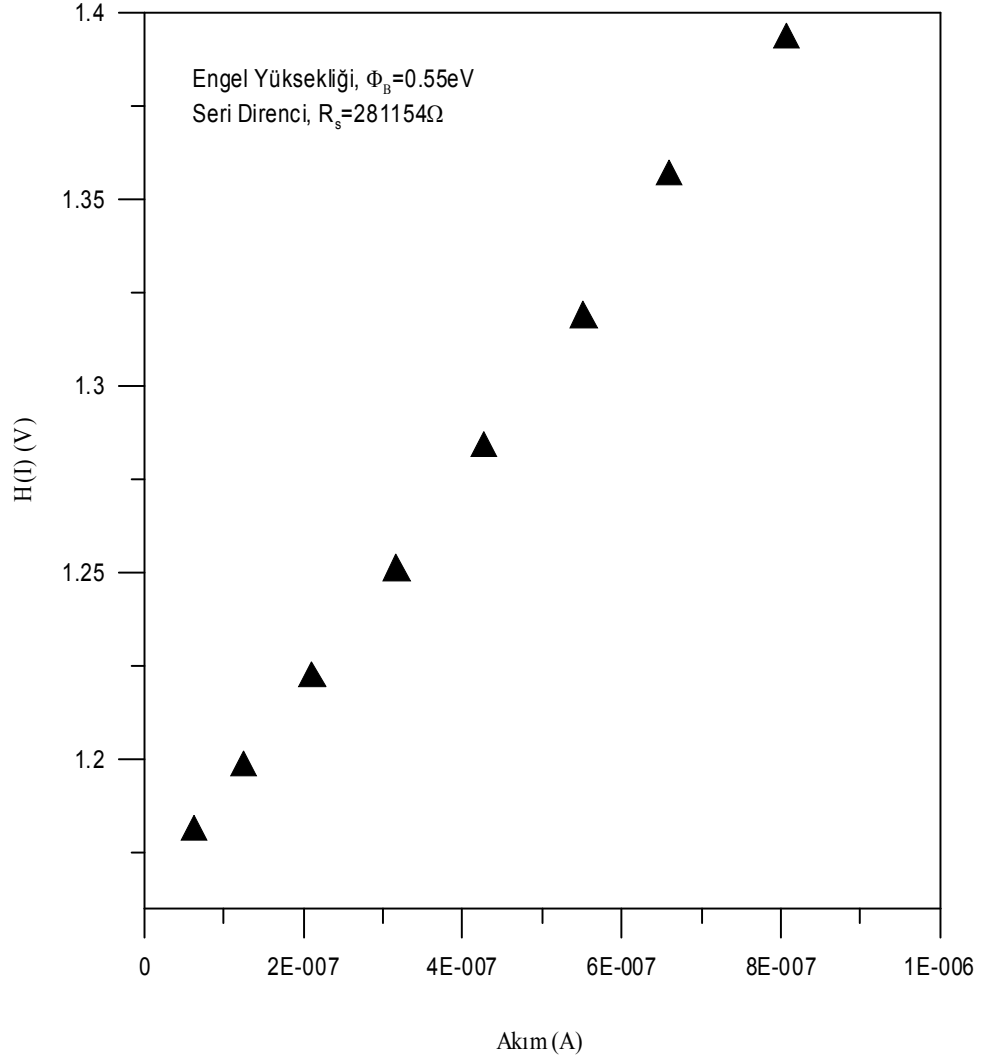
Şekil 4.21. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının lnI-V grafiği

Karanlık ortam da alınan akım gerilim ölçümleri sonucunda elde edilen veriler ile Şekil (4.21.)'de ki lnI-V grafiği çizilmiştir. Bu grafiğin eğiminden idealite faktörü ve akım eksenini kestiği noktadan ise engel yüksekliği hesaplandı.



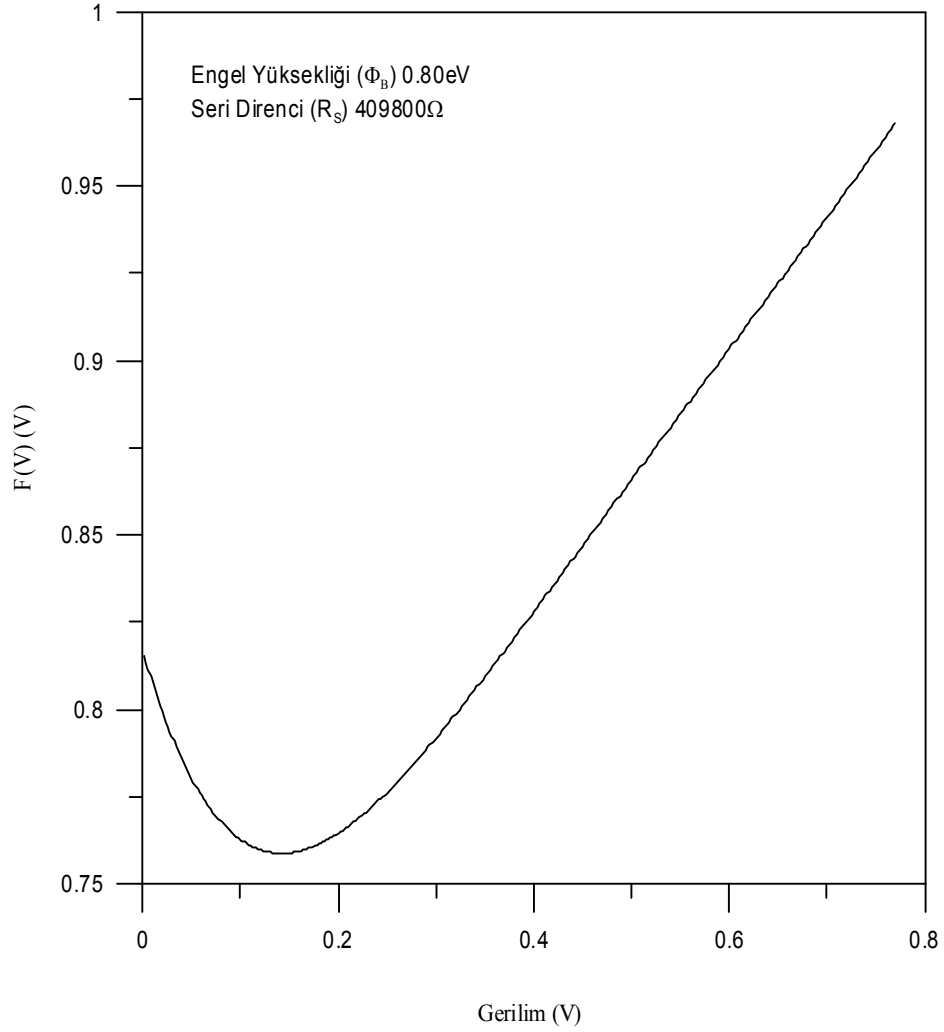
Şekil 4.22. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının $dV/d(\ln I)-I$ grafiği

Ayrıca idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerlerini hesaplayabilmek için alternatif olarak Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplandı ve grafikler halinde verildi (Şekil 4.22; Şekil 4.23).



Şekil 4.23. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının H(I)-I grafiği

Şekil (4.23.)’de Cheung&Cheung fonksiyonları kullanılarak çizilen H(I)-I grafiği görülmektedir. İdealde H(I)-I grafiğinin eğiminden seri direnç, y-ksenini kestiği noktadan engel yüksekliği hesaplandı.



Şekil 4.24. CuO filmine ait Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısının F(V)-V grafiği

Gupta ve ark. (2009), Au/Cu₂O/p-Si diyot yapısını oluşturmuşlardır. Cu₂O'yu Radyo Frekans saçırma (RF, Radio Frequency saçırma) tekniği ile oluşturmuşlardır. Schottky kontak mekanizmasını oluşturabilmek için en iyi metalin Au (Altın) olduğunu ve bu durumda iyi bir lineer bölge oluştuğunu rapor etmişlerdir. Yapıya ait yarı logaritmik akım voltaj grafiğinin, lineerlikten sapmasına, ara yüzeysel durumların sebep olduğunu ayrıca Au ile p-Si arasında bulunan Cu₂O'nun homojen olmayan kalınlığından dolayı sebep olabileceğini rapor etmişlerdir.

Karataş ve ark. (2004)'nın bildirdiğine göre; idealite faktörünün birden büyük çıkması diyotun ideal durumdan (Termiyonik akım teorisine göre) sapma olduğunu bir göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. Bu durumu, diyotun ara yüzey durum

yoğunluğunun yüksek miktarda olmasına, seri direncine ve ara yüzey tabaka kalınlığından dolayı meydana geldiğini bildirmişlerdir (Türüt,1992).

İdeal bir durumda Schottky diyot için engel yüksekliği ifadesi

$$\Phi_b = \Phi_m - \chi_s \quad (4.2)$$

ile verilmektedir. Fakat bazı etkiler teorik olarak verilen bu gerçek Schottky engel yüksekliği ifadesini değiştirebilir. Bu etki, Schottky etkisi veya imaj kuvvet etkisinden dolayı engel yüksekliğinin değişmesidir. Bu durumda, elektronun potansiyel enerjisinin $-e\phi(x)$ değişimi imaj kuvveti etkisi, engel yüksekliği azalması veya Schottky etkisi olarak ifade edilmektedir. (Doğan, 2006).

Çizelge 4.10. Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapısı için hesaplanan karakteristik parametre değerleri

I-V		Cheung				Norde	
		dV/d(LnI)-I		H(I)-I		F(V)-V	
n	Φ_B (eV)	n	$R_s(\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(\Omega)$	Φ_B (eV)	$R_s(\Omega)$
1.58	0.79	1.60	325858	0.55	281154	0.80	409800

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, [100] doğrultusuna sahip, B (Boron) katkılandırılmış $d_0 = 380 \mu\text{m}$ kalınlığında $\rho = 1-10 \Omega\text{cm}$ öz dirençli, önceden parlatılmış p-tipi Si (Silisyum) kristal kullanıldı.

Metal ile yarıiletken arasına yerleştirilen ZnO ve CuO nano yapıları ince filmleri büyütme için kolay uygulanabilir, düşük sıcaklıklı ve ucuz bir yöntem olan Kimyasal Banyo Depolama (CBD) yöntemi ile çözeltiden büyütme yöntemlerinden biri olan Sol-Jel Spin Coating (Döndürme Kaplama) yöntemleri kullanıldı. Fiziksel Buhar Depolama yöntemi kullanılarak daha önceden film büyütülmüş ZnO/p-Si ve CuO/p-Si yüzeyleri üzerine Al (Alüminyum) ve Au (Altın) metallerinin ($\sim 10^{-5}$ Torr) buharlaştırılması ile Al/ZnO/p-Si/Al ve Au/CuO/p-Si/Al Schottky diyot yapıları üretildi. Metal ile yarıiletken arasına yerleştirilen ince metal-oksit bir filmin diyot karakteristikleri üzerine etkisi araştırıldı. Üretilen filmlerin, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri alındı. Üretilen film yapılarının X-ışını kırınım pikleri incelendiğinde ise tüm piklerinden üretilen film yapılarının oluştuğunu gözlemlendi.

Üretilen tüm diyot yapılarının düz belsem I-V, Cheung&Cheung ve Norde fonksiyonları kullanılarak; idealite faktörü (n), engel yüksekliği (ϕ_B) ve seri direnç (R_s) değerleri hesaplandı. Hesaplanan değerler çizelgeler halinde verildi. Elde edilen sonuçlara göre, ara yüzeye Kimyasal Banyo Depolama yöntemi ile üretilen ZnO ince filmi üzerine oluşturulan Al/ZnO/p-Si schottky diyot yapısının geleneksel I-V metoduyla hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin, ara yüzeye Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemiyle üretilen ZnO ince filmi üzerine oluşturulan Al/ZnO/p-Si yapısının geleneksel I-V metoduyla hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinden daha düşük çıktığı görüldü. Ayrıca her iki diyot yapısı incelendiğinde, Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen filmin diyot yapısının lineer (doğrusal) bölgesinin, diğer yöntem kullanılarak elde edilen diyot yapısından daha az olduğu gözlemlendi (Şekil 4.9; Şekil 4.17). Bu durum, başta kullanılan materyal ve yöntemin farklı olması ile birlikte, mevcut yüzey durumları ve oksit tabaka etkisinden dolayı kaynaklanıyor olabilir. Bu durumun, üretilen diyot yapılarının karakteristik parametrelerini kuvvetli bir şekilde etkilediğini söylenebilir. Ayrıca, diyot karakteristiklerini hesaplamada alternatif metod olarak kullanılan Cheung&Cheung ve

Norde fonksiyonları ile hesaplanan sonuçlarda da aynı durum gözlemlendi. Burada, farklı iki çözüldüden film büyütme yöntemi kullanılarak üretilen ZnO ince filmlerinin X-ışını kırınım desenleri analiz edildi. Analiz sonuçlarına göre, Kimyasal Banyo Depolama ile üretilen filmin en güçlü kırınım piki (100) düzleminde ve $2\theta=31.74^{\circ}$ 'de değerde oluştuğu gözlemlendi (Şekil 4.1). Scherrer formülü kullanılarak tanecik boyutu 26.31 nm olarak hesaplandı. Ayrıca, Sol-Jel Döndürerek Kaplama yöntemi ile üretilen filmin en güçlü kırınım piki (002) düzleminde $2\theta=34.54^{\circ}$ 'de değerde oluştuğu gözlemlendi (Şekil 4.3). Ayrıca, Scherrer formülü kullanılarak tanecik boyutu da 18.52 nm olarak hesaplandı. SEM görüntüleri incelendiğinde, her iki yöntem ile üretilen film yapılarının görüntülerinin birbirinden çok farklı bir oluşum içerisinde olduğu görüldü (Şekil 4.5; Şekil 4.7). Kimyasal Banyo Depolama ile üretilen filmin analizinden, çiçeksi bir yapının oluştuğunu gözlemlenir, diğer yöntemde bundan çok farklı bir yapı ile lif (fiber) benzeri bir oluşum gözlemlendi (Şekil 4.7). Sonuç olarak ara yüzeye büyütülen ZnO ince filminin morfolojik özelliklerinin, üretim yöntemi, kullanılan çözüldüler ve film kalınlığının farklı olması, bu yapı üzerinde oluşturulan diyotların da birbirinden farklı sonuçlar vermesine sebep olduğunu gözlemlendi.

Yine aynı yöntemleri kullanılarak p-Si altlık üzerine büyütülen CuO filmleri ile elde edilen diyot yapıları incelendiğinde de, aynı durumun bu yapılar üzerinde de etkili olduğunu söyleyebilir.

Çalışmada üretilen diyot yapılarının karakteristikleri geleneksel I-V, Cheung&Cheung ve Norde metotları kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca kapasitans-frekans (C-V) ölçümlerinin alınarak ara yüzey durumları ve Schottky diyot kapasitesi hakkında bilgi sahibi olunması ile diyot yapılar hakkında faydalı bilgiler edinilebilir.

KAYNAKLAR

- Altuntaş, H., Altındal Ş., Shtrikman H., Özçelik S., 2009. A detailed study of current-voltage characteristics in Au/SiO₂/n-GaAs in wide temperature range. **Microelectronics Reliability** 49, 904-911.
- Aydoğan, Ş., İncekara Ü., Türüt A., 2010. Determination of contact parameters of Au/Carmine/n-Si Schottky device. **Thin Solid Films** . 518, 7156-7160.
- Aydoğan, Ş., Çınar, K., Coşkun, C., Türüt, A., 2009. Electrical characterization of Au/n-ZnO Schottky contacts on n-Si. **Journal of Alloys and Compounds** 476, 913-918.
- Aygün, E., Zengin, M., 1992. **Atom ve Molekül Fizigi**. Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi. Ankara.
- Ayyıldız, E., Nuhoglu, Ç. ve Türüt A., 2003. **Journal of Electronic Materials**, 31(2),119-123.
- Bayansal, F., 2009. **Katkılı-katkısız bakır oksit ince filmlerin gaz algılama özelliklerinin incelenmesi**.Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Tokat.
- Bethe, H.A., 1942. **Theory of Boundary Layer of Crystal Rectifiers**, p.12-43, Mass.Inst. Techol.Radiat.Lab.Rep.
- Brinker, C.J. and Scherer, G.W., 1990. Sol-Gel Science, **The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing**, Academic Press Inc., San Diego.
- Büget, U. and Wright, G.T., 1967.Space-charge-limited current in silicon. **Solid-State Electronics**, 10:199.
- Cho S.M., D.G. Baik, 1999. Application of sol-gel derived lms for ZnO/n-Si junction solar cells. **Thin Solid Films** 354 227±231.
- Cheng, Jipeng, Xiaobin Zhang,Zhiqiang Luo, 2006. Aligned ZnO nanorod arrays fabricated on Si substrate by solution Deposition. **Physica E** 31 235–239.
- Crowel, C.R., Sze, S. M., 1965. Tungsten Semiconductor Schottky Barrier Diodes Trransaction of The Metallurgical Soc . **J. Appl. Phys.** 36, 3212p.
- Çağlar, Y., Ilican, S., Çağlar, M., Fahrettin Yakuphanoglu, JunshuWuc, Kun Gaoc, Pai Luc, Dongfeng Xue., 2009. Influence of heat treatment on the nanocrystalline structure of ZnO film deposited on p-Si. **Journal of Alloys and Compounds** 481, 885-889.
- Çebişli, G., 2007. **Metal/n-Si/Au-Sb Schottky Diyot Yapılarında Seri Direnç Etkisi**. Yüksek lisans Tezi Fen bilimleri Inst., Mustafa Kemal Üni. Hatay.
- Çetinkara, H. A., 2002. **Doğal oksitli yarıiletkenlerden yapılan Schottky diyotların farklı metotlarla incelenmesi ve karakteristik parametrelerinin belirlenmesi**. Doktora Tezi. Fen bilimleri Inst. Kırıkkale Üni. Kırıkkale.
- Demirci, B., 2006. **İndiyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri**. Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü Anadolu Üniversitesi. 62s. Eskişehir.

- Dhananjay, Nagaraju J., Krupanidhi S. B, 2007. Investigations on magnetron sputtered ZnO thin films and Au/ZnOSchottky diodes. **Physica B** 391, 344-349.
- Dikici, M., 1993. Katihal Fiziğine Giriş. **Ondokuzmayıs Üniversitesi Yayınları**. 276s Samsun.
- Doğan, H., 2006. **Isıl olarak Tavlanmış Ni Schottky diyotlarının karakteristiklerinin engel homojenlik modeline göre belirlenmesi**”,s.l. Doktora Tezi. Erzurum.
- Durlu, T., 1992. Katihal Fiziğine Giriş. **Set ofset Ltd.**, 313s Ankara.
- Erdoğan, İ.Y., Güllü, Ö., 2010. Optical and structural properties of CuO nanofilm: Its diode application. **Journal of Alloys and Compounds** 492, 378-383.
- Farag, A.A.M., Farooq W.A., Yakuphanoglu, F., 2011. Characterization and performance of Schottky diode based on wide band gap semiconductor ZnO using a low-cost and simplified sol-gel spin coating technique. **Microelectronic Engineering**. doi:10.1016/j.mee.2011.03.016.
- Gupta, R.K., Ghosh K., Kahol P.K., 2009. Effect of temperature on current-voltage characteristics of Cu₂O/p-Si Schottky diode. **Physica E** 41 876-878
- Gürler, Y., 1971, İnce Film Devre Teknolojisi, **Elektrik Mühendisliği, Elektrik Mühendisliği Odası Aylık Yayın Organı**, cilt 15. Sayı 17, Londra.-
- Halin D.S.C., Talib I.A.,Hamid M.A.A., Daud A.R., 2008, Characterization Of Cuprous Oxide Thin Films On n-Si Substrate Prepared By Sol-Gel Spin Coating. **Solid State Science and Technology**, Vol. 16, No 1 232-237
- Kahraman, S., 2010, **ZnO yarı iletken Yapılarının Üretilmesi ve Karakterizasyonu**. Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Mustafa Kemal Üniversitesi. Antakya.
- Karataş, Ş., Altındal Ş., Çakar M., 2005, Current transport in Zn/p-Si(100) Schottky barrier diodes at high temperatures. **Physica B** 357, 386-397.
- Kavgacı, M., 2007, **Kimyasal banyon yöntemiyle üretilen XSe (X=Zn,Cu,Mn) İnce filmlerinde XRF ölçümleri**. Fen Bilimleri Enst. Yüksek lisans Tezi Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi. Kahramanmaraş .
- Keleş, İ., 2008, **Al/P-Si Schottky Diyotlarında MS ve MOS Yapılarda Diyod Parametrelerinin Karşılaştırılması**”, Yüksek lisans Tezi Fen Bilimleri enstitüsü, Fizik Ana Bilim dalı Yüzüncü Yıl üniversitesi. Van.
- Kenanoğlu, E., 2006, **Schottky Diyotlar ve Bazı Elektriksel Parametrelerinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Diyarbakır.
- Klein, L.C., 1988. Sol-Gel Technology for Thin Films, Fibers, Preforms, Electronics and Specialty Shapes. **Noyes Publications**, New Jersey.
- Kılıçoğlu, T., K. Akkılıç, Y.S. Ocak, S.ilhan, H. Temel, 2010. Calculation of current-voltage characteristics of a Cu (II) complex/n-Si/AuSb Schottky diode. **Current Applied Physics** 10 337-341.
- Kırmızıgül, F., 2008. **CdO İnce Filmlerin Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanması**. Yüksek Lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Çukurova Üniversitesi. Adana.

- Kumar, J., G. Srinivasan, Rajendra R.T., Kumar, 2007, Influence of Al dopant on microstructure and optical properties of ZnO thin films prepared by sol-gel spin coating method. **Optical Materials** 30, 314-317.
- Li, Xiao-Min , Can-Yun Zhang, Xia Zhang, Wei-Dong Yu, Jun-Liang Zhao, 2006. Seed-layer induced growth of high-quality oriented ZnO films by a sol-gel process. **Journal of Crystal Growth** 290, 67-72.
- Mehra, R. M., Neeru Kumara, Ravinder Kaurb, 2007. Photoluminescence studies in sol-gel derived ZnO films. **Journal of Luminescence** 126 784-788.
- Menşur, E., 2002. **Sol-Jel yöntemi ile CuO ince filmlerinin elde edilmesi ve mikroyapısal ve optik Karakterizasyonu**. Yüksek lisans Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, (Yayınlanmış). Kocaeli
- Ocak, Y.S., M.Kulakci, T.Kılıçoğlu, R.Turan, K.Akkılıc, 2009. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of a Sn/MethyleneBlue/p-Si Schottky diode”, **Synthetic Metals** 159 1603-1607
- Oral, A.Y., Menşur E., Aslan M.H., Başaran E., 2004. The preparation of copper(II) oxide thin films and the study of their microstructures and optical properties. **Materials Chemistry and Physics** 83 140-144.
- Özçelik, S., 2005. **Tek Kristal X-Işınları Kırınımı Yöntemiyle C₂₁H₂₀N₂O₃S, C₁₁H₁₀N₂S ve C₂₇H₂₃N₃O₅ Kristallerinin Yapı Analizi**. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Ondokuzmayıs Üniversitesi. 74s. Samsun.
- Sadighi-Bonabi, R., M.A. Yeganeh, Sh.Rahmatollahpur, R.Mamedov, 2010. Dependency of barrier height and ideality factor on identically produced small Au/p-Si Schottky barrier diodes. **Physica B** 405 3253-3258.
- Sağlam, M., 1994, **Al/Anodik SiO₂/Si (MOS) yapıların elektriksel özellikleri üzerine ısısal tavlama, akım yoğunluğu ve elektrolit pH 'ının etkileri**. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enst., Atatürk Üniversitesi. Erzurum.
- Sheppard, L. M, 1992. Advances in Processing of Ferroelectric Thin Films. **Ceram Bull**, 71(1), 85.
- Smirnov, M., Baban, C., G.I. Rusu, 2010. Structural and optical characteristics of spin-coated ZnO thin films. **Applied Surface Science** 256,2405–2408.
- Sorar, İ., Tepehan, F.Z., 2009. ZnO ince filmlerinin optik ve yapısal özellikleri üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi. **İTÜ Dergisi/c, Fen Bilimleri**, Cilt:7, Sayı:1, 21-26.İstanbul.
- Sorar, İ., 2008. **Katkılı ve Katkısız Çinko Oksit (ZnO) İnce filmlerin hazırlanması ve Karakterizasyonu**. Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi (Yayınlanmış). İstanbul.
- Sze, S. M., 1981. Physics of Semiconductor Devices. **John-Wiley & Sons Inc.**, New York.
- Şahin, Y., 1994. Çekirdek Fiziginin Esasları, İkinci Baskı, **Atatürk Üniversitesi Yayınları**, 407. Erzurum

- Şener, D., 2006. **Sol-Gel Yöntemiyle Hazırlanan Metal Oksit İnce Filmlerin Elektriksel, Yapısal Ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi**.Yüksek lisans Tezi, Ankara Üniversitesi. Ankara.
- Şişman, İ., 2006. **CdS, CdSe ve CdTe Bileşik Yarıiletken İnce Filmlerinin Aynı Çözeltiden Elektrokimyasal Olarak Au(111) Elektrodu Üzerinde Büyütülmesi ve AFM, STM, XRD ve UV-VIS Spektroskopisi ile Karakterizasyonu**. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.Atatürk Üniversitesi 182s. Erzurum.
- Tataroğlu, A., S.Altındal, S. Karadeniz, N. Tuğluoğlu, 2003. Au/SnO₂/n-Si (MOS) structures response to radiation and frequency. **Microelectronics Journal** 34 1043-1049.
- Tataroğlu, A., Altındal Ş., 2006. Characterization of current-voltage (I-V) and capacitance-voltage-frequency (C-V-f) features of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. **Microelectronic Engineering** 83 582-588.
- Tataroğlu, A., Altındal Ş, Yücedağ İ., 2010. Analysis of surface states and series resistance in Au/n-Si Schottky diodes with insulator layer using current-voltage and admittance-voltage characteristics. **Vacuum** 84 363-368.
- Türüt, A., A.F. Özdemir, A. Kökçe, 2002. The Effects of the time-dependent and exposure time to air on Au/n-GaAs Schottky Barrier Diode. **Applied Surface Science** 191 188-195.
- Vayssieres, L., 2004. On the design of advanced metal oxide nanomaterials. **Int. J. Nanotechnology**, 1; 1-41.
- Yakuphanoglu, F., Farag A.A.M., Gunduz B., Farooq W.A. 2010. Controlling of electrical characteristics of Al/p-Si Schottky diode by tris(8-hydroxyquinolino) aluminum organic film. **Synthetic Metals** 160 2559-2563.
- Yakuphanoglu, F., 2008. Determination of electronic properties of Al/p-Si/composite organic semiconductor (MIOS) junction barrier by current-voltage and capacitance-voltage methods. **Synthetic Metals** 158 108-112
- Yakuphanoglu F., Çağlar, Y., Çağlar M., Ilican S., 2010., ZnO/p-Si heterojunction photodiode by sol-gel deposition of nanostructure n-ZnO film on p-Si substrate”, **Materials Science in Semiconductor Processing** 13 137-140.
- Zhang Junying, Chunshi Li at all., 2009. Cu₂O thin Films deposited by reactive direct current magnetron sputtering. **Thin Solid Films** 517 5700-5704.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle desteklerini ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım çok değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. H. Ali ÇETİNKARA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Deney sistemleri, laboratuvar ortam ve imkanlarını tez çalışmamız için kullanıma açan Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. H. Salih GÜDER'e sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında değerli görüş, katkı ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım sayın Doç. Dr. İ. Hakkı KARAHAN'a, Doç. Dr. Şükrü KARATAŞ ve Yrd. Doç. Dr. İdris SORAR'a, Yrd. Doç. Dr. H. Zehra AKBAŞ'a, Yrd. Doç. Dr. Osman ŞAHİN'e, deneysel çalışmalarında hep yanımda olan, tezimin tashih ve düzenleme aşamalarında desteklerini gördüğüm, Öğr. Gör. H. Mustafa ÇAKMAK'a, Arş. Gör. Fatih BAYANSAL'a ve Arş. Gör. Süleyman KAHRAMAN'a sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Ankara'da doğdu. İlköğretimini Malatya, Orta ve Lise öğretimini Bandırma ve Kahramanmaraş'ta, Üniversite eğitimini 2009 yılında Malatya İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde tamamladı.

2009 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Halen bu bölümde öğrenimime devam etmektedir.