

T.C.

**KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CdO/p-Si HETEROEKLEM FOTODEDEKTÖRLERİN
ÜRETİLMESİ ve ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Selin DUGAN
1128201007**

FİZİK ANABİLİMDALİ

FİZİK PROGRAMI

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Burhan COŞKUN
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mümin Mehmet KOÇ**

TEMMUZ 2019

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım sürecinde gösterdiği maddi, manevi destekleri ve sabrından dolayı çok değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Burhan COŞKUN' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Eş danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Mümin Mehmet Koç ve sayın Dr. Berna AKGENÇ hocalarıma da teşekkür ederim.

Numunelerimin hazırlanması ve deneysel ölçümler aşamasında yardımlarını esirgemeyen Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölüm Öğretim Üyesi sayın Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU ve sayın Öğr. Gör. Dr. Ayşegül DERE hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca bana en büyük desteği ve sevgiyi veren her zaman arkamda duran sevgili babam Kadir DUGAN ve sevgili annem Fatma DUGAN' a ve dayım Ersin VURAL' a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu çalışma Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından KLUBAP 178 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

TEMMUZ 2019

Selin DUGAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER	9
2.1 Yarıiletkenler.....	9
2.2 Band Oluşumu.....	10
2.3 Fermi-Dirac Dağılım Fonksiyonu	11
2.4 Yarıiletken Türleri.....	12
2.4.1 Katkısız Yarıiletkenler	12
2.4.2 Katkılı Yarıiletkenler	13
2.4.2.1 n-tipi Yarıiletkenler.....	13
2.4.2.2 p-tipi Yarıiletkenler.....	14
2.5 Fotodiyotlar	15
2.5.1 Fotodedektörler	17
2.5.1.1 Metal-Yarıiletken-Metal (MSM) Fotodedektörler	19
2.5.1.2 p-n Eklem Fotodedektörler	20
2.5.1.3 Schottky Fotodedektörler	20
2.5.1.4 Fotoiletken Dedektörler	21
2.6 CdO İnce Filmleri	22
2.7 Mangan Elementinin Özellikleri	24
2.8 Sol-Jel Yöntemi.....	24
2.8.1 Sol-jel Yönteminin Avantajları	25
2.8.2 Sol-jel Yöntemin Dezavantajları.....	26
2.8.3 Sol-Jel Kaplama Yöntemleri	26
2.8.3.1 Döndürme ile Kaplama Metodu.....	27
2.9 Yarıiletkenlerin Optiksel Özellikler	29
2.10 Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri	31
2.10.1 FotoDiyotların Akım-Voltaj Karakteristiği	32
2.10.2 FotoDiyotların Kapasitans-Voltaj Karakteristikleri.....	33
2.11 Yarıiletkenlerin Yüzeysel Özellikleri	34
3. MATERYAL VE METOT.....	37
3.1 Deneysel İşlemler.....	37
3.2 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO Filmlerin Optiksel Özellik Analizi	38
3.3 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO Diyotların Elektriksel Özellik Analizi ..	38
3.4 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO Filmlerin Yüzeysel Özellik Analizi	40
4. ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	41
4.1 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO İnce Filmlerin Optiksel Ölçüm Sonuçları	41
4.2 Katkısız CdO ve Mn/CdO/p-Si Diyotlarının Elektriksel Ölçüm Sonuçları ..	42
4.2.1 Al/Mn:CdO/p-Si/Al Diyotların Foto Akım- Voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	42

4.2.2 Al/Mn:CdO/p-Si/Al Diyotların Foto Kapasitans- Voltaj (C-V) Karakteristikleri.....	45
4.2.3 Al/Mn:CdO/p-Si/Al Diyotların Foto Akım-Zaman (I-t) Karakteristikleri	47
4.3. Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO İnce Filmlerin Yüzey Analiz Sonuçları	52
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	55
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR

MSM	: Metal-Yarıiletken- Metal
UV-VIS	: Ultraviyole ve görünür ışık absorpsiyon spektroskopisi
I-V	: Akım-Voltaj karakteristiği
C-V	: Kapasitans-Voltaj karakteristiği
I-t	: Akım- Zaman karakteristiği
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
I	: Akım
Φ	: Akı yoğunluğu
μ	: Mobilite
E_c	: İletim bandı minimum enerji seviyesi
E_v	: Valans bandı maksimum enerji seviyesi
E_F	: Fermi enerjisi
E_g	: Yasak enerji aralığı
p	: Boşluk konsantrasyonu
n	: Elektron konsantrasyonu
V_d	: Engel tabaka gerilim düşmesi
N_d	: Verici atomların konsantrasyonu
N_a	: Alıcı atomların konsantrasyonu
T	: Mutlak sıcaklık
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_s	: Dielektrik sabiti
q	: Yük
d	: Donör konsantrasyonu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin yansıma spektrumlarından hesaplanan Eg değerleri	42
Çizelge 4.2 : Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların $I_{açma} / I_{kapama}$ oranları.....	51
Çizelge 4.3 : Katkısız CdO ve Mn katkılı Cdo ince film yüzeylerinde ki pul desenlerinin kalınlık, genişlik ve uzunluk tablosu	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fermi-Dirac dağılımfonksiyonu	12
Şekil 2.2 : Katkısız yarıiletkenlerde değişik sıcaklıklardaki enerji bant diyagramı a) T=0 K, b) T>0 K	13
Şekil 2.3 : (a) n tipi bir yarıiletken için kovalent bağ oluşumu b) n tipi bir yarıiletkenin safsızlık enerji düzeyi	14
Şekil 2.4 : a) p tipi bir yarıiletken için kovalent bağ oluşumu b) p tipi bir yarıiletkenin safsızlık enerji düzeyi	14
Şekil 2.5 : Planar difüzyon teknolojisi ile geliştirilmiş fotodiyodun yapısı 1-Kontak 2-SiO ₂ tabakası 3- Taşıyıcılar bakımından boşalmış bölge 4-Katkı yoğunluğu fazla olan bölge 5-Taban kontak [37].	16
Şekil 2.6 : MSM fotodedektörün (a) yandan görünümü, (b) üstten görünümü, (c) enerji bant yapısı, (d) akım-gerilim karakteristikleri [47].	19
Şekil 2.7 : p-n eklem fotodedektörün şematik gösterimi (a) p-n eklem yapısı, (b) enerji-bant diyagramı, (c) elektrik alanı, (d) akım-gerilim karakteristikleri [47].	20
Şekil 2.8 : Schottky fotodedektörün şematik gösterimi [47].	21
Şekil 2.9 : Fotoiletken dedektör [47].	22
Şekil 2.10 : Kadmiyum oksit kristal yapısı.....	23
Şekil 2.11 : Sol-Jel sürecinin şematik gösterimi.....	25
Şekil 2.12 : Solüsyonun döndürme ile kaplamada numune yüzeyine damlatılması [21].	27
Şekil 2.13 : Döndürme ile kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülmesi [21].	27
Şekil 2.14 : Döndürme ile kaplamada çözeltinin yüksek hızlarda döndürülmesi [21].	28
Şekil 2.15 : Döndürme ile kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülerek jelleşmenin sağlanması [21].	28
Şekil 2.16 : Yarıiletkenlerde soğurma spektrumu [82].	30
Şekil 2.17 : Fotodiyotun karanlık ve aydınlatılmış durumlardaki akım-voltaj karakteristikleri [89,90].	32
Şekil 2.18 : AFM'nin temel görüntü alma mekanizması [92].	36
Şekil 3.1 : Numunelerin hazırlandığı deney düzeneği.....	37
Şekil 3.2 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin U-V ölçümleri için kullanılan UV-VIS spektrofotometre cihazı	38
Şekil 3.3 : Katkısız CdO ve Mn/CdO/p-Si diyotlarının I-V, C-V ve I-t ölçümleri için kullanılan deney düzeneği.....	39
Şekil 3.4 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin yüzey ölçümleri için kullanılan AFM cihazı.....	40
Şekil 4.1 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin Yansıma-Dalga boyu grafiği	41
Şekil 4.2 : Katkısız Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri.....	43
Şekil 4.3 : %0,2 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri.....	43
Şekil 4.4 : % 6 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri.....	44
Şekil 4.5 : % 10 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri.....	44
Şekil 4.6 : Katkısız Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği	45
Şekil 4.7 : % 0,2 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği	46
Şekil 4.8 : % 6 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği	46

Şekil 4.9 : % 10 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği.....	47
Şekil 4.10 : Katkısız Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri.....	48
Şekil 4.11 : % 0,2 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri.....	49
Şekil 4.12 : % 6 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri.....	50
Şekil 4.13 : % 10 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri.....	51
Şekil 4.14 : Katkısız CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri.....	52
Şekil 4.15 : % 0,2 Mn katkılı CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri.....	53
Şekil 4.16 : % 6 Mn katkılı CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri.....	53
Şekil 4.17 : % 10 Mn katkılı CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri.....	54

CdO/p-Si HETEROEKLEM FOTODEDEKTÖRLERİN ÜRETİLMESİ ve ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, katkısız ve % 0,2, % 6 ve % 10 Mn katkılı CdO ince filmler Sol-jel metoduyla Silisyum altlıklar üzerine oda sıcaklığında büyütüldü. Elde edilen CdO ince filmlerin yüzey, elektriksel ve optiksel özellikleri araştırıldı. Numunelerin yüzeysel özelliği Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile incelendi. AFM yardımıyla ölçülen numunelerin yapısal özelliklerinin granüler yapıda olduğu ve altlıkların üzerinde homojen bir şekilde depolandığı görüldü. Büyütülen ince film numunelerinin elektriksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla, Akım- Voltaj (I-V), Kapasitans-Voltaj (C-V) ve Akım-Zaman (I-t) ölçümleri farklı ışık şiddetleri altındaki aydınlatmalarda yapıldı ve numunelerin doğrultucu özellik gösterdiği belirlendi. Güneş ışığı altında fotodiyotların fotoakımı, artan ışık şiddeti ile arttığı ve ışık yok iken ilk değerine geri döndüğü, fotodiyotların artan frekans karşısında azalan kapasitans değeri gösterdiği tespit edildi. İnce filmlerin optik özellikleri UV-vis spektrofotometrisi kullanılarak ölçüldü ve yasak enerji aralığı, yansıma spektrumları kullanılarak hesaplandı.

Anahtar Kelimeler: Mn Katkılı CdO, Elektriksel Özellikler, Optiksel Özellikler

FABRICATION of HETEROJUNCTION CdO/p-Si PHOTODETECTORS and THEIR ELECTRICAL CHARACTERIZATION

SUMMARY

In this study, undoped CdO, %0.2 Mn doped CdO, %6 Mn doped CdO and %10 Mn doped CdO thin films were deposited on Si substrate. Films were produced by Sol-Gel method at room temperature. Surface properties of the samples were investigated by using atomic force microscopy (AFM). AFM results indicated that CdO formed in the granular structure on the substrate and spread homogeneously on the substrate surface. To assess the electrical properties of the thin films Current – Voltage (I-V), Capacitance – Voltage (C-V), Current – Time (I-t) measurements were performed in different illumination intensities. It was also seen that samples show corrective properties. It was evidenced that the photocurrent of photodiodes shows increasing properties with increasing illumination intensities. When the light source was shut off, the photocurrent properties return to the initial state. It was also noted that photodiodes show decreasing characteristics with increasing frequency. Optical properties of the thin films were measured by using UV-vis spectrophotometry and band gap energies were calculated using reflectance spectrum.

Keyword: Mn Doped CdO, Electrical Properties, Optical Properties

1. GİRİŞ

Teknolojik uygulamalarda yarıiletkenler büyük bir yer kaplar. Bilimin ilerlemesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni malzemelerin üretilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yarıiletken malzemelerin ekonomik ve basit bir metotla elde edilebilmesi, özelliklerinin de ayrıntılı bir şekilde incelenmesi elektronik ve optoelektronik cihazlarda gelişmelere imkân hazırlamıştır. Yarıiletken teknolojisi, Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi elementel yarıiletkenlerden, III-V ve II-VI grubu ikili ve üçlü yarıiletken alaşımlara doğru hızlı bir şekilde ilerleme göstermiştir.

II-VI grubu yarıiletken teknolojisi üzerine 1950'li yıllardaki ilk çalışmalar, Kadmiyum Sülfür (CdS), Kadmiyum Selenür (CdSe), Çinko Sülfür (ZnS) ve Çinko Selenür (ZnSe) gibi II-VI grubu bulk (yığın) kristallerin sahip olduğu lüminesans özellikleri üzerine yapılmıştır. 1970 ve 1980'li yıllarda, II-VI grubu yarıiletken teknolojisinin odak noktası, bulk CdTe, CdZnTe kızılötesi dedektörler için HgCdTe malzemelerin geliştirilmesi üzerinedir. 1990'lı yılların sonundan bu zamana kadar II-VI grubu materyallerin, optoelektronik, elektroptik, lineer olmayan (non-lineer) optik cihazlarda ve gama ile X-Ray dedektörlerinde geniş bir uygulama alanına sahip olduğu anlaşılmıştır [1]. II-VI yarıiletken alaşımların en önemli özelliklerinden biri, optik dedektörler, optik kaynaklar ve diğer optoelektronik cihazlarda spektral çeşitliliği etkileyen yasak enerji aralıklarının istenildiği gibi kontrol edilebilmesidir.

Genel olarak ince film, hedef malzeme atomlarının bir altlık üzerinde biriktirilmesiyle oluşturulan ve kalınlığı 1nm ile 1µm arasında değişen malzemelere denir. İnce film, kaplama parçacıkları olan atomların ya da moleküllerin, kaplanacak olan yüzeye vakum ortamında tek tek dizilmesi ile hazırlanmaktadır [2]. Günümüzde Transistörler, entegre devreler, ışık yayan diyotlar, geniş ve yüksek çözünürlüklü ekranlar ve lazerler, güneş pilleri ve gece görüş dürbünleri gibi optik algılayıcılar ve araçlar ince film teknolojisi ile yapılmaktadır. Fiziksel ve kimyasal aşınmalara karşı dirençli olmaları nedeniyle dekoratif kaplamalar da kullanılmaktadır. Ayrıca çok katmanlı üretilerek elektronik devre elemanları olarak kullanılabilirler.

İnce filmler, araştırma laboratuvarlarında ve endüstriyel çalışmalarda; buhar fazdan yapılan kaplamalar, sıvı fazdan yapılan kaplamalar ile ergimiş veya yarı ergimiş fazdan yapılan kaplamalar olmak üzere üç grupta toplanabilir [3]. Sıvı fazdan büyütme

tekniklerinin sol-jel, kimyasal banyo ve elektrokimyasal gibi çeşitleri vardır. Sol-jel metodu, birçok avantajı sebebiyle sıvı fazda tercih edilen çok kullanışlı bir yöntemdir. Genel olarak sol-jel sürecinde sistem sıvı fazdan (sol) katı faza (jel) geçiş yapar. Bu yöntemle birçok malzeme üretmek mümkündür. Bu yöntemle kaplanarak elde edilmiş filmlerin kalınlığı yüzeyin her yerinde aynıdır ve saf bir kaplama elde edilir.

Yarıiletken metal oksit ince filmler yüksek optiksel geçirgenliğe, düşük özdirençlere ve geniş bant aralığına sahiptirler. Bu nedenle üretim yöntemleri ve özellikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır [4]. Son yıllarda, Zn, In, Sn, Ti ve Cd yarıiletken metal oksitlerin ince filmleri oldukça ilgi odağı olmuştur. Metal oksitlerin, değişken katyon değeri ve ayarlanabilir oksijen eksikliği olmak üzere iki yapısal özelliği vardır. Bu özellikler sayesinde yeni ve ayarlanabilir elektriksel, kimyasal, optiksel ve manyetik özelliklere sahip malzemeler üretilebilir [5].

Kadmiyum Oksit (CdO) ince filmler yüksek elektriksel iletkenlik ve optiksel geçirgenlik özellikleri ile görünür bölgeden kızıl ötesine yayılan bir dalga boyu aralığında kullanım potansiyeli daha iyi olan bir malzemedir. Bu özelliklere sahip olması nedeniyle, elektronik ve fotovoltaik devrelerde oldukça ilgi görmektedir. CdO ve Çinko Oksit (ZnO) malzemeleri arasındaki -1 eV' luk enerji farkı eksiton düzenlenmesi için geniş bir bölge sağlar. Bundan dolayı yakın gelecekte CdO, optoelektronik alanında ZnO tabanlı heteroyapıların üretiminde aktif tabaka olarak kullanılması öngörülmektedir [6].

CdO ile ilgili literatürde araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapıldığı görülmektedir.

Carballeda-Galicia ve ark. (2000), CdO ince filmleri, $Cd(OOCCH_3)_2 \cdot 2H_2O$, etilen glikol, gliserol ($C_3H_8O_3$) ve trietilamin ($C_8H_{15}N$)'den oluşan yeni bir çözeltiden, sol-jel tekniği ile cam taban malzemeler üzerine büyütmüşlerdir. Filmler, 200 °C'de açık havada tavllanmış ve (AFM), (XRD) ve UV-vis spektrofotometre yöntemleri ile ölçümler almışlardır. Büyütülen CdO ince filmlerin yüksek kalitede polikristal oldukları ve hatta 600 nm dalga boyunda %95, 700'den 1100 nm'ye kadar ise neredeyse %100'e yakın bir geçirgenlik gösterdikleri tespit etmişlerdir. Dolaylı ve direk bant aralığı enerji değeri 2,06 ve 2,59 eV, filmlerin özdirenç değeri ise $2 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ olarak bulmuşlardır [7].

Santoz-Cruz ve ark. (2005), basit bir öncül çözelti kullanarak, sol-jel tekniği ile büyütülen katkılanmamış CdO ince filmlerinin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri üzerine tavlama sıcaklığının (T_a) etkisini çalışmışlardır. 200'den 450 °C'ye kadar tavlanan tüm CdO filmler, (111) tercihli yönelimli polikristal ve T_a arttıkça tane boyutunun arttığı gözlemlenmiştir. AFM ölçümlerinde, T_a arttıkça kümelenme boyutunda açıkça belli olan artış olduğunu gözlemlenmiştir. 500 nm'nin üzerinde dalga boyları için %85'in üzerinde yüksek optik geçirgenlik gösterdiği ve T_a 'nın artması ile filmin bant aralığının 2,79 eV'den 2,50 eV'ye azaldığını gözlemlenmiştir. $T_a=350^\circ\text{C}$ için elektriksel özdirenç, $6 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ değerinde bulunmuş, T_a sıcaklığındaki yükselmeye özdirençte bir düşme meydana geldiği görülmüştür. Daha yüksek sıcaklık değerlerinde ise özdirençte, hafif bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Taşıyıcı konsantrasyonunun tavlama sıcaklığının 350 °C'ye kadar artması ile $2,6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ değerinden $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ değerine azaldığı ve bu azalmanın sıcaklıkla gliserinin yapıdan atılması ile açıklanmıştır. Daha yüksek tavlama sıcaklıklarında taşıyıcı konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Bu artışın ise sıcaklıkla cam taban malzemesinden yapıya kirliliklerin difüzyonu ile açıklanmıştır [8].

Leon-Gutierrez ve ark. (2006), katkılanmamış ve Sn-katkılı CdO ince filmleri büyütme etkisini arttıran bir prosedür olan CBD tekniği ile büyütmüşlerdir. Büyütülen bütün filmler kadmiyum peroksidin (CdO_2) kübik yapıda kristallendiği ve 400 °C'de 3 saat hava ortamında tavlama işlemi ile kübik yapıya sahip CdO'ya dönüştüğü belirlenmiştir. Büyütülen filmler, yüksek özdirenç ($>10^6 \Omega \text{ cm}$) sahiptir ve optik bant aralığı 3,6 eV civarında olduğu bulunmuştur. Katkılanmamış CdO filmlerinin optiksel bant aralığı aşağı yukarı 2,32- 2,54 eV'yi göstermiştir ve elektriksel iletkenliği $8 \times 10^{-4} \text{ cm}$ olduğu bulunmuştur. CdO filmleri içindeki Sn karışımı optik bant aralığında (2,55'ten 2,84 eV'a kadar) maviye doğru kaymaya ve elektriksel iletkenlikte bir azalmaya neden olduğu görülmüştür [9].

Ismail ve ark., (2007), CdO/c-Si güneş pilleri hızlı termal oksidasyon (RTO) tekniği ile hava ortamında 350 °C /45s özelliğine sahip halojen lamba kullanılarak p-Si (111) taban malzemesi üzerine CdO ince filmlerin büyütülmesi ile hazırlamışlardır. XRD ölçümleriyle, cam taban malzemeler üzerine büyütülen CdO filminin polikristal yapıda kristalleştiği ve (111) düzlemi boyunca tercihli yönelime sahip olduğu belirlenmiştir. Optik ölçümleri ile, CdO filminin görünür bölge civarında %80'nin üzerinde optik geçirgenliğe ve bant aralığının 2,46 eV değerine sahip olduğu

belirlenmiştir. CdO filminin özdirenç ve elektron mobilite değerleri sırasıyla $5 \times 10^{-4} \text{ cm}$ ve $22 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ şeklindedir. Karanlık I-V ölçümlerinden, CdO/c-Si heteroeklem yapısının doğrultma özellik gösterdiği ve 4 V beslem voltajında tükenime gittiği belirlenmiştir. Doğru beslem akım değeri, CdO ve Si arasındaki örgü sabitlerinin uyumsuzluğundan ve seri direnç etkisinden dolayı 2 V'tan daha büyük voltaj değerlerinde doyuma gittiği gözlenmiştir. CdO/c-Si yapısının beyaz ışığa yüksek derecede duyarlı olduğu ve ters beslem altında fotoakımın 1,5 V'ta düzleştiği görülmüştür. Güneş pili, 500 mV açık devre voltajına (V_{OC}), $27,5 \text{ mA/cm}^2$ kısa devre akım yoğunluğuna (JSC) ve % 8,84 dönüşüm verimine sahip olduğu görülmüştür [10].

Köse ve ark., (2009), ultrasonik spray pyrolysis tekniğiyle saydam iletken oksit malzemelerden olan CdO ince filmleri cam taban malzemeler üzerine $250 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ taban malzeme sıcaklığında büyütmüşlerdir. Katkısız ve In katkılı (%1, %3 ve %1,5) CdO filmlerin elektriksel, optik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. XRD ölçümlerinde bütün filmlerin polikristal yapıda olduğu ve CdO: In filmlerin CdO, CdO_2 ve CdIn_2O_4 fazlarının karışımından oluştuğu görülmüştür. In katkısı ile filmlerin kristalliğinin iyileştiği belirlenmiştir. Özellikle CdO: In (%1 ve %3) filmlerin diğer filmler ile karşılaştırıldığında tane büyüklüğünün daha büyük ve dislokasyon yoğunluğunun daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç bu filmlerin diğerlerine göre daha iyi kristalleşmeye sahip olduğunu göstermiştir. Optik incelemeler, filmlerin optik geçirgenliklerinin yaklaşık %30 olduğunu ve In katkısı ile geçirgenliğin azaldığını göstermiştir. Optik yansımaya değeri, $\lambda=600 \text{ nm}$ 'de katkı oranının artması ile %39,62'den %11,87'ye, kırılma indisi ise 4,39'dan 2,05'e düştüğü görülmüştür. Filmlerin optik bant aralığı katkı oranına bağlı olarak 2,49 eV ile 2,78 eV arasında değiştiği gözlenmiştir. SEM görüntülerinden, bütün filmlerin düz ve homojen yüzeylere sahip olmadığı ancak filmlerin yoğun ve taban malzeme yüzeyine iyi yapıştığı belirlenmiştir. In katkısı ile yüzey özellikleri önemli derecede değişmektedir. CdO filmlerin elektriksel iletkenliğinin yüksek olduğu ve In katkı oranı ile azaldığı belirlenmiştir [11].

Dakhel, (2010), %1, %3 ve %5 Te katkılı CdO ince filmleri cam ve silikon altlıklar üzerine buharlaştırma yöntemiyle büyütülmüştür. Hazırlanan filmler X-ışını kırınımı, X-ışını floresanı, UV-vis-NIR soğurma spektroskopisi ve elektriksel ölçümler ile karakterize etmiştir. Deneysel sonuçlara göre Te katkısı CdO kristal yapısını, optiksel ve elektriksel özelliklerini değiştirmektedir. CdO'nun yasak enerji band aralığı %1 Te

katkısıyla yaklaşık %23 daralmıştır. Bu band aralığı büzülmesi iletkenlik bandı ile örtüşen tuzak seviyelerin etkileri ile açıklanmıştır. Te katkılı CdO ince filmlerin elektriksel davranışları 1,7-2,2 eV' luk bir enerji aralığında dejenere yarıiletken şeklinde olduğunu gözlemlemiştir [12].

Gupta ve ark., (2011), Gd katkılı CdO ince filmlerini lazer biriktirme tekniğini kullanarak 100°C'de büyütmüşlerdir. Yapısal, optiksel ve elektriksel özellikler üzerine oksijenin kısmi basıncının etkisini çalışmışlardır. X-ışını kırınımı çalışmaları neticesinde filmlerin (111) yönelimli polikristal olduğunu ve AFM çalışmaları sonucunda filmlerin çok pürüzsüz olduğunu bulmuşlardır. Bu filmlerin yüksek derecede saydam olduğunu ve oksijenin kısmi basıncındaki artışla filmlerin şeffaflığının arttığı gözlemlemiştir. Gd katkıyla CdO ince filmlerin bant aralığında artış gözlemlenmiştir. 1×10^{-5} mbar basınçta maksimum optiksel band aralığı 3,4 eV olarak bulunmuştur. Filmlerin elektriksel özdirencinin ilk olarak azaldığı ve sonra oksijenin kısmi basıncındaki artışla arttığı gözlemlenmiştir. En düşük elektriksel özdirenç değeri $2,71 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$ ve en yüksek mobilite değerinin $258 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ olarak gözlemlenmiştir [13].

Gupta ve ark., (2012), sol-jel daldırma ile kaplama tekniğiyle Li ve Li-Ni katkılı CdO ince filmlerini üretmişlerdir. AFM ölçümleri alarak saf ve katkılı CdO ince filmlerin yüzey özelliklerini ve parçacık büyüklüğünü araştırmışlardır. Parçacık büyüklüğünün nanometre boyutunda ve katkı oranlarıyla değiştiğini bulmuşlardır. Optiksel çalışmalarında Li katkıyla filmlerin bant aralıklarının arttığı ve Li-Ni eş katkılı ince filmler için konsantrasyondaki artışla bant aralığının arttığı görülmüştür [14].

K. Sankarasubramanian ve ark., (2014), Sprey piroliz yöntemini kullanılarak son derece saydam ve iletken saf ve Mn katkılı CdO ince filmleri, 300 ° C'de cam substrat üzerinde büyütülmüşlerdir. CdO ve Mn: CdO filmlerinin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri, XRD, SEM, AFM, UV-vis ve Hall ölçümü kullanılarak incelenmiştir. XRD ölçümlerinde, CdO ve Mn: CdO filmlerinin kübik kristal yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. SEM ve AFM ölçümleri, filmlerin tane boyutunun ve pürüzlülüğünün, artan Mn katkı konsantrasyonu ile arttığı görülmüştür. CdO' nun bant aralığı değeri 2.42 eV'dir ve Mn katkısı ağırlıkça %1, 2 ve 3 sırasıyla 2.27, 2.18 ve 2.08 eV olduğu bulunmuştur. Ağırlıkça %1 Mn katkılı CdO filminin, taşıyıcı konsantrasyonunun ($2.69 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ artışına bağlı) $1.11 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ minimum direnç gösterdiği görülmüştür [15].

Zayed A. Alahmed ve ark., (2015), Mn katkılı CdO filmleri, sol-jel spin kaplama yöntemi ile büyütmüş ve filmlerinin yapısal ve morfolojik özellikleri, AFM ve XRD ölçümleri ile elde etmişlerdir. Mn katkılı CdO filmleri nanopartiküllerden oluşturulur ve partikül büyüklüğü Mn içeriği ile kontrol edilir. Katkısız ve Mn katkılı CdO filmlerin kristal yapısı, (1 1 1) ve (2 0 0) düzlemlerine atanan iki ana karakteristik tepeyi gösteren bir küp sodyum klorür yapısıdır. XRD ölçümleri, Mn katkılı CdO filmlerinin ortalama nano malzemeler olduğu gözlenmiştir. 22-25 nm kristalit büyüklüğü. Katkısız ve Mn katkılı CdO filmlerin optik bant boşluk (e_g) değerlerinin 2,23-2,58 aralığında olduğunu bulmuşlardır. CdO filmlere %6 Mn katkısıyla eV ve e_g değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak CdO filminin yapısal ve optik özelliklerinin Mn katkısıyla ile kontrol edilebileceğini bulmuşlardır [16].

G. Turgut, (2017), Sc-katkılı CdO filmleri sol-jel yöntemiyle hazırlamıştır. Sc katkısının kristalin, topografik, elektriksel ve optik özellikler üzerindeki etkisi XRD, AFM, SEM ve UV-spektrofotometre ile araştırmıştır. Saf ve Sc yüklü CdO filmleri polikristal kübik CdO yapısına sahip (111) tercihli bir yöne sahip olduğu bulunmuştur. Nano boyutlu küresel CdO parçacıkları için saf CdO'nun parçacık dağılımı başlangıçta %1 Sc-katkısı ile daha homojen olduğu, daha fazla Sc katkısıyla bu homojenliğin bozulduğu görülmüştür. SEM ve AFM sonuçlarından, saf ve Sc katkılı CdO filmlerin partikül boyutları yaklaşık 30–200 nm arasında değiştiği gözlenmiştir. Optik sonuçlarda saf ve Sc katkılı CdO filmleri için geçirgenlik ve yansıtma değerlerinin, görünür bölgeye göre yaklaşık %65-90 ve %5-22 arasında olduğu gözlenmiştir. En yüksek optik bant aralığı %1 Sc katkısıyla 2.66 eV olarak belirlenmiştir. Urbach enerji değerleri, Sc içerikli 387 ile 563 meV arasında dalgalanmıştır. Kırılma indisi değerleri görünür bölge üzerinde 1.6-2,6 arasında bulunmuştur. Sonuç olarak, Sc katkısının CdO filmlerin karakteristik özelliklerini oldukça etkilediği gözlenmiştir [17].

R. Aydın (2019), CdO: (Mn / Cu) TCO filmleri, basit bir SILAR yöntemi ile sentezlenerek, Filmlerin yapısal, morfolojik ve optoelektronik özellikleri üzerindeki Mn katkısı ve Mn / Cu ortak katkısının etkisini incelemiştir. XRD ölçümlerinden tüm filmlerin polikristal yapıya sahip olduğunu ve herhangi bir safsızlık karakteristik tepe noktası tespit edilmediği gözlemlemiştir. Morfolojik analiz sonuçlarında, numunelerin hepsinin iyi kristalize olduğu gözlenmiştir. EDX sonuçları ile Mn ve Cu'nun CdO

filmleriyle başarılı bir şekilde katkılandığını göstermiştir. Filmlerin optik bant boşluğunun 2.08-2.38 eV aralığında olduğu gözlenmiştir. Optik analiz sonuçlarına göre, Mn ve Cu katkı maddeleri için, optik bant aralığının sırasıyla 2.08 ila 2.38 eV ve 2.38 ile 2.20 eV arasında belirgin bir artma ve azalma olduğu gözlenmiştir. Bu ince filmlerin farmasötik, spintronik ve optoelektronik uygulamalar için uygun malzemeler olduğu söylenmiştir [18].

Bu tez çalışmasında, Sol-jel yöntemiyle katkısız CdO ve farklı oranlarda (% 0,2 at., % 6 at., % 10 at.) Mn katkılı CdO yarıiletken ince filmler mikroskop camı üzerine, diyotlar ise p-tipi Si altlık üzerine büyütülmüştür. Büyütülen ince filmlerin yüzeysel özellikleri (AFM) ve optiksel özellikleri (UV) diyotların ise elektriksel özellikleri (I-V, C-V, I-t) incelenmiştir.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1 Yarıiletkenler

Katı malzemeler elektriksel iletkenlik özelliklerine göre metaller, yarıiletkenler ve yalıtkanlar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Metaller 10^{-6} - 10^{-4} ohm.m arasında, yarıiletkenler 10^{-4} - 10^{10} ohm.m arasında ve yalıtkanlar 10^{10} ohm.m değerine eşit ya da büyük özdirenç değerlerine sahiptirler [19,20]. Yarıiletkenlerin enerji bant yapıları yalıtkanların bant yapısına benzer fakat aralarındaki fark yarıiletkenlerin elektronlar ile tamamen dolu olan valans bandı ve boş olan iletkenlik bandı arasında kalan yasak enerji aralığı, yalıtkanlara göre daha küçüktür [21]. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlik değeri sıcaklığa bağlı olarak değişir, sıcaklığın artması iletkenliği de artır. Ancak mutlak sıfırda ($T=0K$) elektriksel iletkenlik özelliğinden dolayı yalıtkan gibi davranış sergilerler [21,22].

Bir katının yarıiletken sınıfına dâhil olabilmesi için elektriksel özdirencinin verilen değerlerde olması yeterli değildir. Ayrıca yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları ısı uyarılmayla erime noktalarının altındaki sıcaklıklarda elektriksel iletkenlik gösterirler. En önemli yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının, $E_g \sim 2eV$ civarında veya küçük olması gerekir [23].

IV. Grup elementleri olan Ge ve Si en çok kullanılan ve özellikleri en iyi bilinen elementel yarıiletkenlerdir. Bileşik yarıiletkenler olarak da şunlar verilebilir; III-V grup bileşikleri GaAs, InSb, GaP, InAs vb. kübik yapıda kristallenirler ve bağ yapısı genellikle kovalenttir [24,25]. II-VI grup bileşikler CdZnS, ZnO, ZnS, CdSe, CdS vb. kübik veya hekzagonal yapıda kristallenirler, kovalent veya iyonik bağ kurarlar [26].

Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliği geçici ya da kalıcı şekilde geniş bir aralıkta kontrol edilebilir. Yarıiletken malzemeleri farklı malzemelerle katılandığımız zaman, elektriksel özelliklerinde bir değişim olduğu gözlenir [27]. Yeterli miktarda katkılama yapılarak yarıiletkenler neredeyse metaller kadar iletken yapılabilir. Katkı malzemenin türüne göre yarıiletkenin katkılanmış bölgesi daha fazla elektron veya boşluk içerebilir [27, 28]. n-tipi yarıiletken de elektronlar, p-tipi yarıiletkende ise boşluklar iletme daha çok katkı sağlar [19, 21, 26, 29].

2.2 Band Oluşumu

Elektronların dalga fonksiyonlarının güçlü etkileşmeleri durumunda dış yörüngelere ait enerji bantlarının genişliği iç yörüngelerdeki enerji bantlarının genişliğinden daha fazla olur. Çünkü iç yörüngelerdeki elektronlar komşu atomlardan daha az etkilendikleri için elektronların çekirdeğe bağlanma enerjileri daha büyük olur. Yarılma gerçekleşikten sonra dış bantlar üst üste binebilir. Dış bantlarda kuantum durumları genellikle ya boş ya da kısmen doludur. Bantlar arasındaki elektron geçişleri, Pauli dışarılama ilkesine göre başlar ve istatistiksel denge kuruluncaya kadar devam eder. Böylelikle alt bantlar üst banttaki elektronlarla doldurulmuş olur.

Bir katıda oluşan enerji bantlarının arasındaki enerji düzeylerinde elektron bulunamaz. Buna göre elektronların hem bulunabileceği, hem de bulunamayacağı enerji bölgeleri vardır. Elektronların bulunmadığı bantlara “yasak enerji bantları” denir. Şekil 2.2.’de bir yarıiletkenin mutlak sıfırdaki ve oda sıcaklığındaki bant yapısı gösterilmiştir. Burada elektronların tamamen doldurduğu banda “valans bandı”, valans bandın üzerindeki, yasak enerji aralığı ile ayrılmış banda ise “iletkenlik bandı” denir.

Yarıiletkenlerde mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0K$) yarıiletkenin bütün elektronları valans bandında olduğu için elektriksel iletim gözlenmez. Bu sıcaklıkta yarıiletken mükemmel bir yalıtkan gibi davranır. Sıcaklık $T=0K$ ’den itibaren yükseltirse elektronlar termal enerjiyle yasak enerji aralığını geçerek, iletkenlik bandına geçerler. Böylece iletkenlik bandında elektronlar ve valans bandında ise holler, bir elektrik alan uygulandığında elektriksel iletime katkıda bulunurlar. Bu durum yarıiletkenlerde iletkenliğin sıcaklıkla artması özelliğini açıklar. Boşluklar tek başlarına hareket etmezler fakat komşu elektronlar bu boşlukları doldurarak geride yeni bir boşluk oluştururlar [22, 25, 28, 30].

Kristal katıların bant yapısı, kristal içinde bulunan bir serbest elektronun veya bir serbest holün davranışı hakkında bilgi vermektedir. Böylece bir katının bant yapısının bilinmesiyle, o katının elektrik ve optik özellikleri hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir [31].

Genellikle yarıiletken materyaller için yasak enerji aralığı büyük olan yarıiletkenler tercih edilir. Bu tür yarıiletkenlerde sıcaklık ile iletim bandına geçen elektronların sayısı az olduğundan, yarıiletken aygıtın karakteristiklerinde ciddi bir değişiklik

olmaz. Bunun içindir ki silisyum kristaller, hazırlaması daha kolay ve maliyeti ucuz olan germanyum kristallerine tercih edilirler [32].

2.3 Fermi-Dirac Dağılım Fonksiyonu

Elektronların enerji seviyelerinin hangi durumda boş ya da dolu olduğu Fermi-Dirac istatistiği ile tanımlanır. Bu dağılım elektronların sıcaklık ve Fermi enerjisi veya Fermi düzeyi ile karakterize edilir [21]. Mutlak sıfırda (0K) Fermi enerjisi elektronların işgal ettiği en üst enerji düzeyi olarak tanımlanır [25, 29]. Daha yüksek sıcaklık değerlerinde Fermi enerjisi bir durumun işgal edilme olasılığının 0,5 eV'a düştüğü enerji olarak da tanımlanır [28]. Yarıiletkenler de serbest taşıyıcıların yani elektron ve boşlukların yoğunluğu sıcaklığa bağlıdır. Serbest taşıyıcıların yoğunluğunu belirlemek için basit istatistiksel sonuçlardan yararlanır. Bir katı içinde, sistem T sıcaklığında olduğunda elektronun E enerji seviyesini işgal etme olasılığı Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu $f(E)$,

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{(E-E_f)}{kT}} + 1} \quad (2.1)$$

ile verilir. Burada E_f Fermi enerji seviyesi, k Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. $f(E)$ fonksiyonun E enerjisine göre değişimi Şekil 2.1'de görülmektedir. Bu fonksiyonun E enerjisine göre değişimi sıcaklığa bağlı olarak incelenirse [33, 34];

1) T=0 K'de

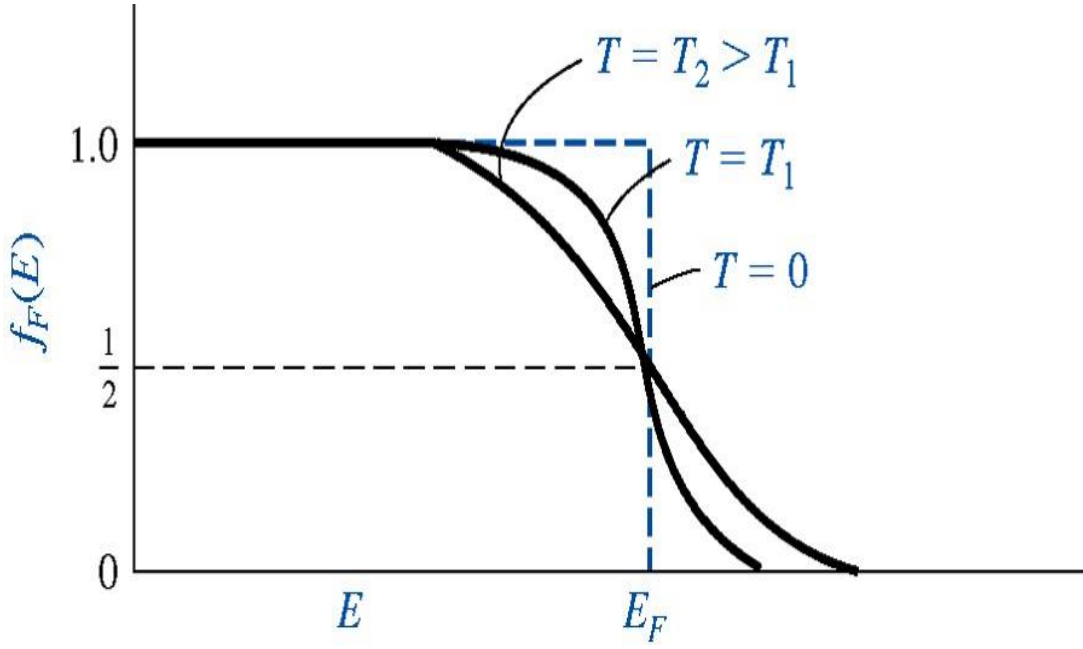
a) $E < E_f$ için, $f(E)$ fonksiyonu $f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_f}{kT}} + 1}$ olur. Buradan $f(E)=1$ bulunur.

b) $E > E_f$ için, $f(E)$ fonksiyonu $f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_f}{kT}} + 1} = \frac{1}{e^{\infty} + 1} = \frac{1}{\infty} = 0$ bulunur.

Yani 0 K'de Fermi enerjisinin altında bulunan bütün durumlar dolu iken, Fermi enerjisinden daha büyük enerjili bütün durumlar boştur [33, 35].

2) T>0 K ve $E=E_f$ ise

$f(E)$ fonksiyonu $f(E) = \frac{1}{e^{0} + 1}$ olur. Buradan $f(E)=1/2$ sonucu bulunur. Yani Fermi enerji seviyesinin işgal edilme olasılığı 1/2'ye eşittir [34, 35].



Şekil 2.1 : Fermi-Dirac dağılımfonksiyonu

3) $T \gg 0$ K ve $E - E_f \gg kT$ ise

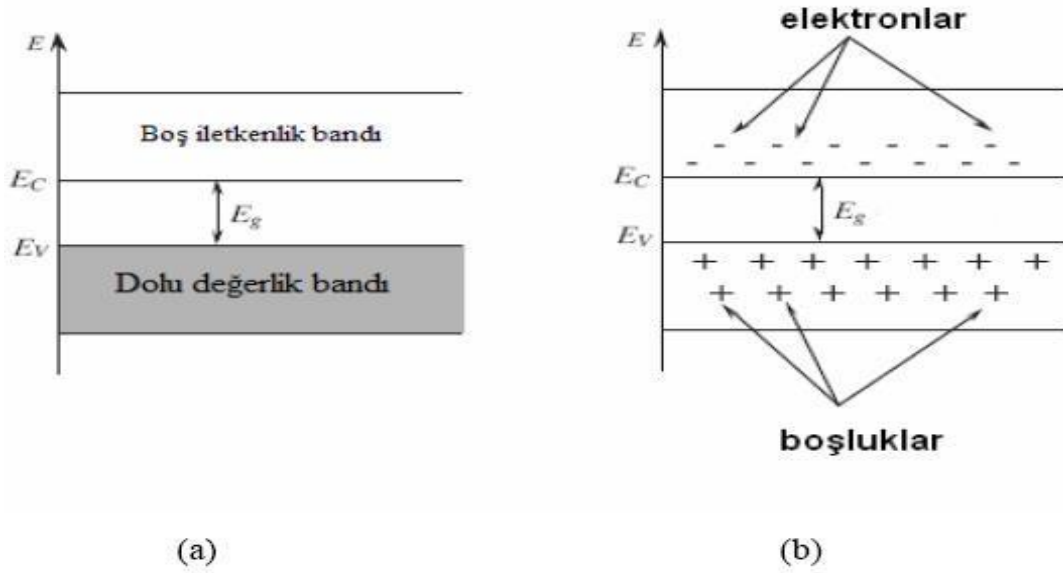
$f(E)$ fonksiyonu $f(E) = e^{-\frac{E-E_f}{kT}}$ ye dönüşür. Bu denklem klasik Maxwell-Boltzman dağılım fonksiyonudur. Yarıiletkenlerde iletim bandındaki elektronlar ve valans bandındaki boşluklar için bu dağılım fonksiyonu kullanılır. Ayrıca bu değerlendirmelerden şu sonuç çıkarılabilir; yarıiletkenlerde enerjisi E_f civarında olan ya da E_f 'den büyük olan elektron veya holler iletkenliğe katkıda bulunurlar. Bu şekle göre, sıcaklık artışından dolayı yüksek enerjili durumların işgal edilmesi artmaktadır. Çünkü sıcaklık artışı sistemin tüm enerjisini arttırmaktadır [33, 34].

2.4 Yarıiletken Türleri

2.4.1 Katkısız Yarıiletkenler

Yarıiletkende mutlak sıfırda (0 K'de), iletkenlik bandı boş olup dolu değerlik bandından E_g yasak enerji ayrılmıştır. Yarıiletkenler bu sıcaklıkta tam bir yalıtkan gibi davranış gösterirler. Sıcaklık 0 K 'den itibaren yükseldiğinde elektronların ısı enerjileri artar ve bu enerji yasak enerji değerine ulaştığında elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına geçerler. Bu biçimde yer değiştiren elektronlar geride boşluklar (hole) bırakır. Boşluk elektronun yüküyle zıt işaretli ama aynı değerdedir. Değerlik bandında olan bu boşluklar, aynı banttaki başka elektronlar tarafından

doldurulur ve yer değiştiren elektronlar yeni boşluklar oluşturmuş olur. Böylece boşluk hareket etmiş olur. Elektron ve boşluklar serbest taşıyıcı gibi davrandığı için elektriksel iletkenliğe katkı sağlamış olurlar. Şekil 2.2. Katkısız bir yarıiletkende enerji bant diyagramını göstermektedir.

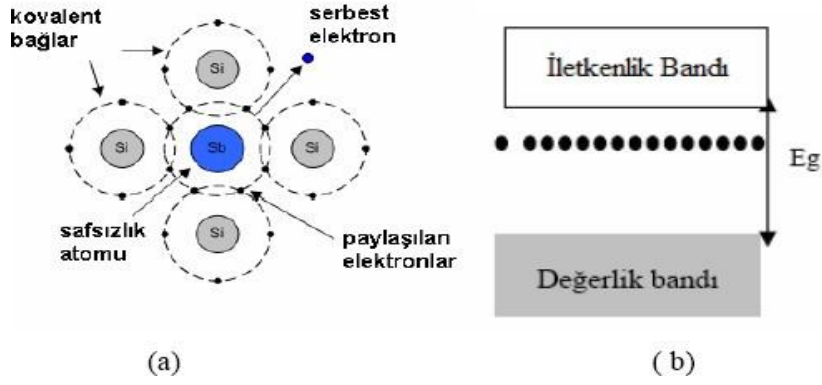


Şekil 2.2 : Katkısız yarıiletkenlerde değişik sıcaklıklardaki enerji bant diyagramı a) $T=0$ K, b) $T>0$ K

2.4.2 Katkılı Yarıiletkenler

2.4.2.1 n-tipi Yarıiletkenler

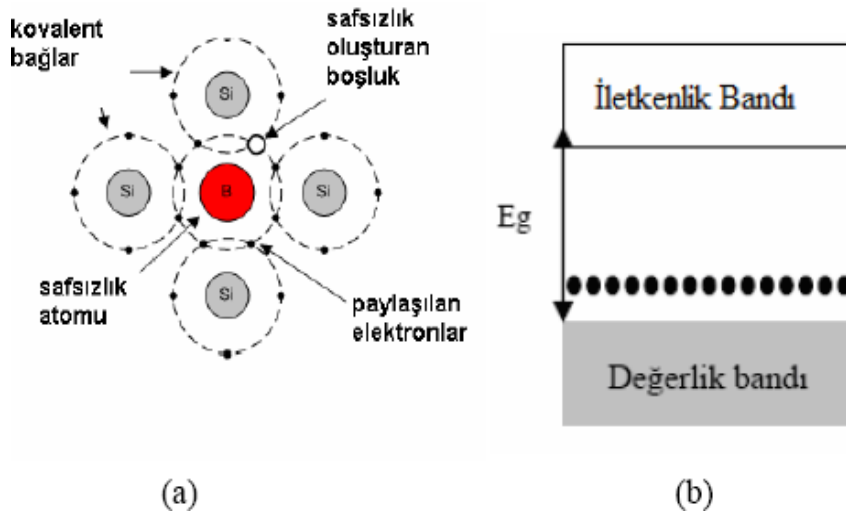
Periyodik tablonun IV A grubunda bulunan silisyum (Si) ve germanyum (Ge) dört değerlik elektronuna sahip yarıiletkenlerdir ve elektronlar kovalent bağ yaparlar. Buna periyodik tablonun V A grubu beş değerlikli bir atom (N, P, As, Sb, Bi) eklendiğinde kristal yapı içinde atomun dört elektronu kovalent bağ yapar, beşinci elektron zayıf bir bağla safsızlık atomuna bağlı kalır. Bağ yapamayan elektronlar iletkenlik bandının hemen altında bir enerji seviyesi oluşturur. Bu tip safsızlıklara verici (donör), oluşan enerji seviyesine de verici (donör) seviyesi denir. Verici seviyedeki bu elektronlar az bir enerjiyle iletkenlik bandına geçer ve bu değerlik bandında katkısız yarıiletkenlerde olduğu gibi boşluklar oluşmaz. Buna ilaveten saf atomda değerlik bandından iletkenlik bandına elektron geçişleri de olabilir. Ancak iletkenlik bandındaki elektron sayısı değerlik bandındaki boşluklardan fazla olacağından iletkenlikte çoğunluk taşıyıcıları elektronlar olmaktadır. Böyle yarıiletkenlere n- tipi yarıiletkenler denir. n- tipi yarıiletkenlerde fermi seviyesi verici seviyeye doğru yaklaşır.



Şekil 2.3 : (a) n tipi bir yarıiletken için kovalent bağ oluşumu b) n tipi bir yarıiletkenin safsızlık enerji düzeyi

2.4.2.2 p-tipi Yarıiletkenler

Periyodik cetvelin IVA grubu dört değerlikli Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi yarıiletkenler IIIA grubu elementlerinden biri (B, Al, Ga, In) ile katkılandırıldığında kovalent bağ oluşumunda ana elementin bir elektronu bağ yapamayacaktır. Bu bağı tamamlayabilmek için kristal örgü de yapılmış bağdan bir elektron alır ve geride bir boşluk oluşur. Değerlik bantta bu şekilde boşluk oluşması karşılığında iletim bandına elektron çıkmaz. Bu boşluk safsızlık atomu içerisinde hareket eder ve iletkenliğe katkıda bulunur. Oluşan boşluklar valans bandına yakın bir enerji seviyesi oluşturur. Bu tip safsızlıklara alıcı (acceptor) ve bant aralığında meydana gelen yeni seviyeye de alıcı seviyesi denir. Boşluk sayısı elektron sayısından fazla olduğundan burada çoğunluk taşıyıcıları boşluklar olmaktadır. Böyle yarıiletkenlere p-tipi yarıiletkenler denir. p- tipi yarıiletkenlerde fermi seviyesi alıcı seviyesine yakın bulunmaktadır.

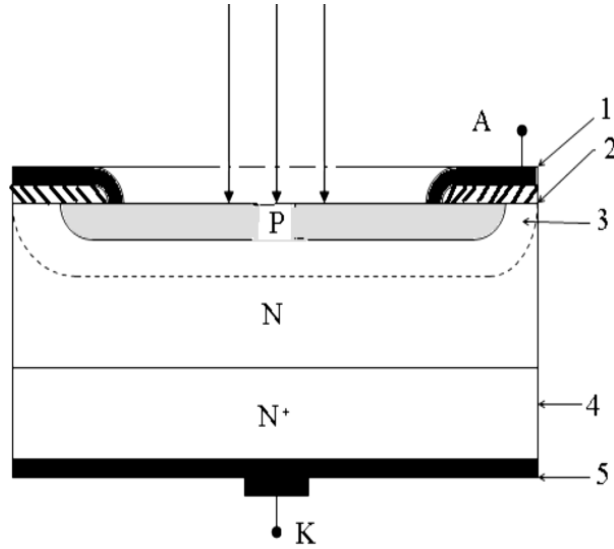


Şekil 2.4 : a) p tipi bir yarıiletken için kovalent bağ oluşumu b) p tipi bir yarıiletkenin safsızlık enerji düzeyi

2.5 Fotodiyotlar

Fotodiyotlar, yarıiletken bağlantısı bir optik mercek altına yerleştirilmiş veya ışığı geçiren bir muhafaza içine yerleştirilmiş normal bir silikon diyot olup ışığa duyarlı, p-n eklemine sahip yarıiletkenlerdir. Fotodiyodun görevi ışık şiddetini elektriksel işarete etkili ve hızlı bir biçimde dönüştürmektir. Fotodiyodun ışığa duyarlı yüzey kısmına ışık düşürülerek fotonların soğrulması ve serbest yük taşıyıcıların oluşması sağlanır. Serbest yük taşıyıcıların sayesinde ise bir akım meydana gelir [36, 37].

p-n eklemine n tipi yarıiletken bölgede elektronlar, p tipi yarıiletken bölgede ise boşluklar fazla durumdadır. Elektronlar ile boşluklar hareketli ve zıt yüklü olduklarından dolayı birleşme bölgesinde birbirlerini nötr hale getirirler. Bu da birleşme bölgesinde taşıyıcı sayısının azalmasına neden olur. Bu bölgede kalan zıt polariteli iyonlaşmış atomlar, serbest taşıyıcıların bir bölgeden diğer bölgeye geçişini engeller ve potansiyel bariyer (duvar) gerilimi meydana getirirler. Fotodiyodun yapımında kullanılan yarıiletken malzemenin özelliğine göre bariyer gerilimin büyüklüğü değişir. p-n eklemine doğru gerilim uygulandığı zaman taşıyıcıların az olduğu bölge daralır ve eklemine iletkenliğinde bir artış olduğu gözlenir. Uygulanan doğru gerilimin büyüklüğü p-n eklemine bariyer geriliminin büyüklüğüne eşit olduğu anda taşıyıcıların az olduğu bölge ortadan kalkar ve p-n eklemi iletime geçmiş olur. p-n eklemine ters yönde bir gerilim uygulandığı zaman ise bu bölge genişleyerek p-n eklemine iletkenliğinde azalma meydana gelir. Ters yönde uygulanan gerilimde ortamın ısısından ya da diğer ışık kaynaklarından etkilenip oluşan serbest taşıyıcıların oluşturduğu bir akım akışı olur. Fotodiyotların karakteristik özellikleri, kullanılan yarıiletken malzemelerin türüne ve özelliklerine göre belirlenir. En sık kullanılan fotodiyotlar planar, çığ ve schottky fotodiyotlardır. Difüzyon teknolojisi ile üretilmiş planar fotodiyotlar en fazla kullanım alanına sahip diyotlardır [37].



Şekil 2.5 : Planar difüzyon teknolojisi ile geliştirilmiş fotodiyodun yapısı 1-Kontak 2-SiO₂ tabakası 3- Taşıyıcılar bakımından boşalmış bölge 4-Katkı yoğunluğu fazla olan bölge 5-Taban kontak [37].

Şekil 2.5’da fotodiyodun üst tarafında P tipi fazla katkılanmış bölge bulunur. P tipi bölgenin altında ise N tipi daha az katkılanmış bölge bulunur. Bu iki katkı yüzeyi arasında taşıyıcı yönünden fakir bir bölge vardır. Katkı yoğunluğu farkından dolayı taşıyıcı yönünden fakir olan P tipi bölge, N tipi bölgeye göre daha derindir. Fotodiyodun üst tarafı SiO₂ ile kaplanmış ve fotodiyodun alt tarafında N⁺ tipli yarıiletken bölge bulunur. Bu N⁺ bölgesi fotodiyodun metale olan bağlantısını sağlamaktadır.

Fotodiyodun üzerine ışık düşürüldüğü zaman bu ışığın yarıiletken malzeme içerisinde ilerlemesi ışının dalga boyuna bağlıdır. Düşük dalga boyu olan morötesi gibi ışınlar yüzeyde emilerek yapı içerisinde ilerleyemezler ancak yüksek dalga boyu olan kızılötesi gibi ışınlar yapı içerisinde derinlere kadar ilerleyebilirler. Kısacası geniş cevap alanına sahip bir fotodiyot, ince bir P tabakasına ve kalın bir zayıflamış bölgeye ihtiyaç duyar. Fotodiyodun cevap hızı, zayıflamış bölgenin kalınlığına ve fotodiyot üzerine uygulanmış ters polariteli gerilime bağlıdır. Zayıflamış bölgenin kalınlığını ise N tipi bölgenin katkı yoğunluğu ile belirlenir. Katkı yoğunluğu düşük olduğunda zayıflamış bölgenin kalınlığını arttır bu da fotodiyodun kapasitesinin azalmasına neden olur [37].

2.5.1 Fotodedektörler

Işık kaynakları, gösterge aygıtları, modülatörler, haberleşme sistemleri ve optik dedektörler gibi optoelektronik aygıtlar günümüz teknolojisinde çok önemli yer tutar. Optik dedektörler ısıl ve foton dedektörü olmak üzere ikiye ayrılır. Isıl dedektörlerde ışığın soğurulması cihazın sıcaklığını yükselterek, sıcaklığa bağlı olan elektriksel iletkenlik gibi bazı parametrelerin değişmesine neden olur. Isıl dedektörlerinin çıkışı, eğer soğurma verimi bütün dalga boylarında eşit olduğu düşünülürse, ışığın dalga boyundan bağımsızdır ve dedektör tarafından birim zamanda soğurulan enerji miktarıyla orantılıdır. Diğer yanda foton dedektörlerinde soğurma işlemi bir dizi kuantum olayıyla gerçekleşir. Bir yüzeyden elektronların salınması buna örnek olarak verilebilir. Foton dedektörlerinin çıkışı, ışık taneciklerinin soğurulma oranıyla doğrudan ilişkilidir ve foton işlemleri kendilerini başlatacak belirli bir minimum foton enerjisine ihtiyaç duyarlar. Bir tek fotonun enerjisi $E = hv / \lambda$ bağıntısı ile hesaplanır [38].

Kızıl ötesi çalışan fotodedektörlerde sıkça karşılaşılan sorun, soğurulan foton enerjilerinin, dedektörün kendisinde bulunan atomların ortalama ısıl enerjileriyle ($\sim kT$) karşılaştırılabilir hale gelmesidir. Bu tip durumlarda meydana gelen elektron salınımları ışığın soğurulmasının yanında, ısıl uyarımla da üretim sağlanır. Bunun sonucunda da bir gürültü sinyali oluşur. Oluşan bu gürültü sinyalinin azaltılmasının en kolay yolu dedektörün sıcaklığını azaltmaktır [39]. Termometrelerden sonra ısıl dedektörlerde termopil termoelektrik etkinin avantajından faydalanarak gelişme göstermiştir. Termokupl iki farklı metalin birleşmesiyle oluşur. İki ucu arasında sıcaklık farkı olduğunda ise bu farkla orantılı bir voltaj oluşur. İleriki zamanlarda ısıl dedektörlerden pyroelektrik dedektör, golay hücresi, bolometre geliştirilmiştir. Pyroelektrik dedektör içerisindeki soğurucu materyalin dielektrik sabiti, sıcaklığın artmasıyla veya azalmasıyla değişim gösterir. Pyroelektrik materyal kutuplanmış kapasitör içinde bulunur ve materyalin dielektrik sabitinin değişimiyle orantılı olan akımı sağlar. Kapasitanstaki değişim elektrik sinyaline dönüştürülür. Golay hücresi az miktardaki gazın ince metal filme temas etmesiyle oluşur. İnce metal film, ışığı soğurarak ısınır böylece ısı gaza iletilmiş olur. Isınan gazın basıncı hücre içerisinde bulunan aynanın açısını değiştirir ve yansıtılan ışık optik yükseltece yöneltilir. Kızılötesi ısıl detektörlerden olan bolometrelerde sıcaklığın değişmesiyle elektriksel

direnç değişir. Kızılötesi ışığa soğrularak materyalin sıcaklığında bir değişim olur. Bunun sonucunda bolometre içerisinden geçen akım değeri de değişmiş olur [40].

Bir fotodedektör, yasak enerji aralığından daha büyük enerjili fotonları soğurarak elektron boşluk çiftleri oluşturarak dış devreden akımın akmasını sağlar [41]. Kısaca fotodedektör, optiksel enerjiyi soğurup bu enerjiyi elektriksel enerjiye dönüőtiren optoelektronik bir aytıttır. Fotodedektörler optiksel spektrumun çok geniş bir alanına karşılık gelen optiksel sinyal algılaması yaparlar [42]. Fotodedektörler teknolojiye geniş bir uygulama alanına sahip olmakla beraber optiksel komünikasyon sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Fotodedektörün sahip olması gereken en mühim özellikler; düşük gürültü, yüksek duyarlılık, yüksek cevaplama hızı, yüksek güvenilirlik ve düşük maliyetli olmasıdır [43,44].

Fotodedektörün ışığa duyarlı yüzeyine bir ışık düşürüldüğünde oluşan fotoakım,

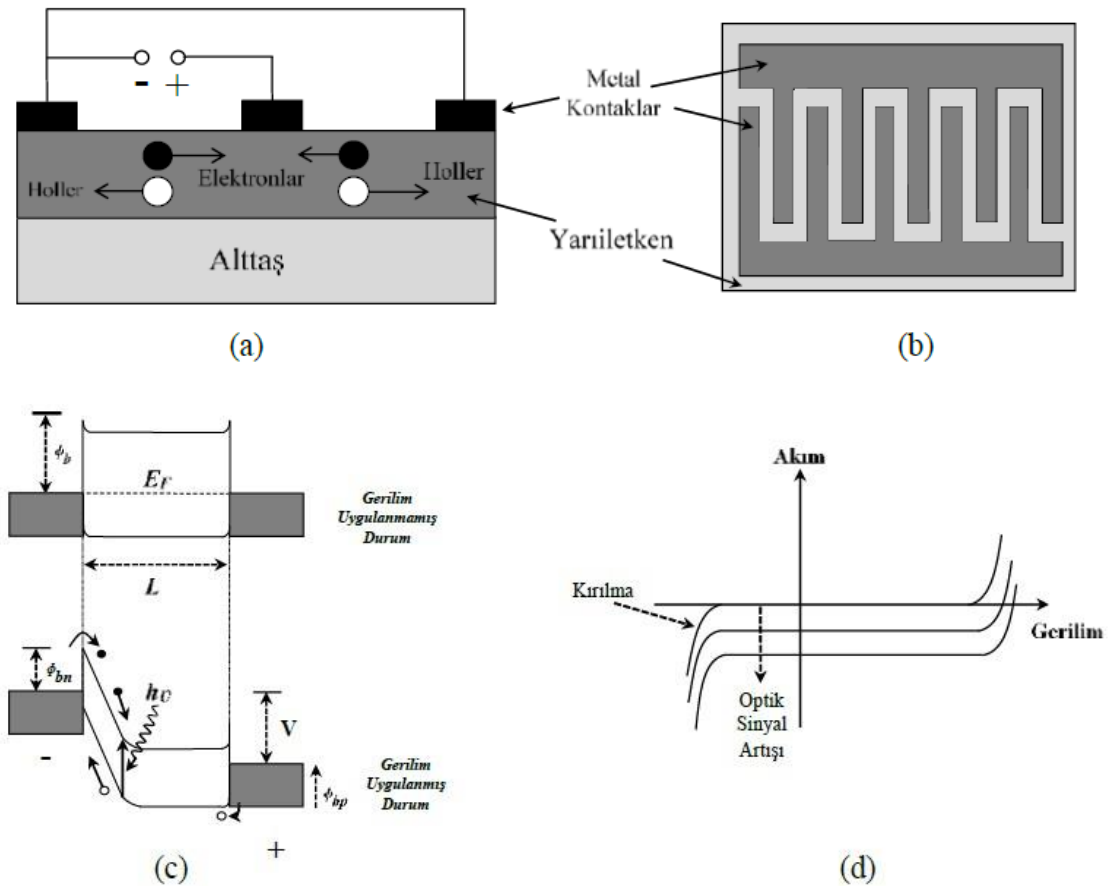
$$I_F = f(F, U_F, L, \theta) \quad (2.2)$$

bağıntısı ile verilir. Burada F ışın şiddeti, L spektrum ile ilgili birim, U_F fotoalıcıya uygulanan gerilim ve θ ısı değeridir. Optoelektronikte kullanılan fotodedektörler; fotodiyotlar, fotodireerler, fototransistörlerin yanı sıra fototristörler ve fototriyaklardır. Fotodireerler, optoelektronik devre elemanlarıdır ve ışığın şiddeti ile dirençleri değişir.

Fotodirencin üzerine ışık düşürüldüğünde ışığın seviyesine göre direnci ya da iletkenliği değişiklik gösterir. Ayrıca ışık ile gelen enerji kovalent bağların kopmasına, kovalent bağların kopması ise elektron boşluk çiftlerinin sayısının artmasına neden olur. Sonuç olarak sayısı artan akım taşıyıcıları fotodirencin direnç değerinin azalmasına neden olur. Yeterli miktarda enerjiye sahip olan foton, bir elektron boşluk çifti meydana getirir. Bu olaya has uyarma denilir. Bir foton has uyarma yapabilmek için, sahip olması gereken minimum enerji, yarıiletken malzemenin yasak enerji bant genişliği kadar olmalıdır. Fotodirenlerin avatajlı tarafları seçilen malzemeye göre görünür ışık ve kızılötesi ışığa duyarlı olarak üretilebilir ve duyarlı olduğu spektrumun çok geniş olması nedeniyle kullanım alanlarının artması sağlanabilir. Ayrıca yüksek duyarlılıklarının yanında yüksek gerilimlerde bile çalışabilirler. Fotodirenlerin dezavantajı ise sıcaklığa olan duyarlılıklarıdır [45].

2.5.1.1 Metal-Yarıiletken-Metal (MSM) Fotodedektörler

Metal-yarıiletken-metal (MSM) fotodedektörler yapı olarak birbirine kenetlenmiş fotoiletken fotodedektörler ile benzer bir yapıya sahiptirler. Fakat metal-yarıiletken ve yarıiletken-metal eklemleri ohmik kontak yerine, Schottky kontak olarak yapılır. MSM fotodedektörler düzlemsel bir yapıya sahiptir ve tek parça entegrasyona uygundur. Bu yüzden alan etkili transistör yapımı için gerekli olan işlemlerin aynılarını kullanarak üretilebilirler. [46]. Şekil 2.6'da görüldüğü üzere, MSM fotodedektörler esas olarak, bir çift arka arkaya bağlı Schottky diyottan oluşmaktadır ve oluşan Schottky bariyer, tekli Schottky diyota göre daha düşük karanlık akım sağlar. Diğer fotodedektörlerde olduğu gibi, soğurulan fotonlar yarıiletkende elektron-boşluk çifti oluştururlar. Uygulanan elektrik alanın etkisi ile elektronlar artı elektrota, boşluklar ise eksi elektrota sürüklenirler. MSM fotodedektörlerin kuantum verimlilikleri metal elektrotların sebep olduğu gölgelemeye bağlı olarak değişiklik gösterir.



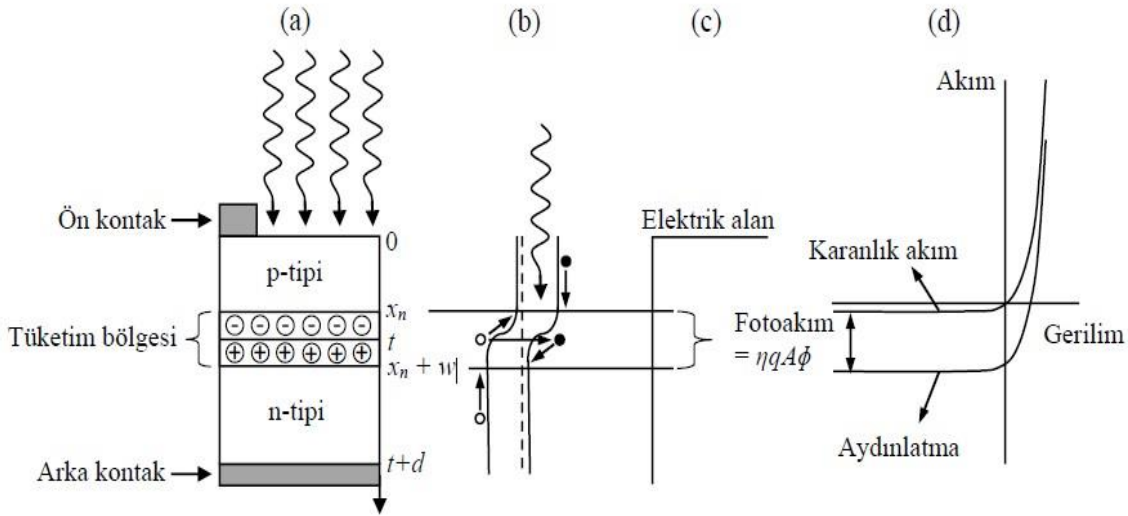
Şekil 2.6 : MSM fotodedektörün (a) yandan görünümü, (b) üstten görünümü, (c) enerji bant yapısı, (d) akım-gerilim karakteristikleri [47].

2.5.1.2 p-n Eklem Fotodedektörler

p-n eklem fotodedektörler, p-n eklem fotodiyot olarak da adlandırılan fotovoltaiik dedektörlerin en yaygın kullanılanlarıdır. Yasak enerji aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar, p-n eklem her iki tarafında da elektron-boşluk çiftleri oluştururlar. Bu elektron-boşluk çiftleri, güçlü elektrik alan etkisiyle birbirlerinden ayrılır ve uzay-yük bölgesinden difüzyon derinlikleri kadar uzaklaşırlar. Azınlık taşıyıcıları, p-n eklem diğer tarafında çoğunluk taşıyıcıları olacak şekilde kolayca hızlandırılarak negatif ya da ters akım boyunca, akım-gerilim özelliklerini değiştirecek şekilde fotoakım oluşturur. Bu akımın miktarı şu formülle hesaplanır,

$$I_{foto} = \eta q A \Phi \quad (2.3)$$

Burada, η kuantum verimini, q elektronun yükünü, A fotodedektörün alanını ve Φ gelen foton akı yoğunluğunu göstermektedir [48]. Şekil 2.7'de p-n eklem fotodedektörün; p-n eklem yapısı, enerji-bant diyagramı, elektrik alanı ve akım-gerilim karakteristikleri şematik gösterilmiştir.

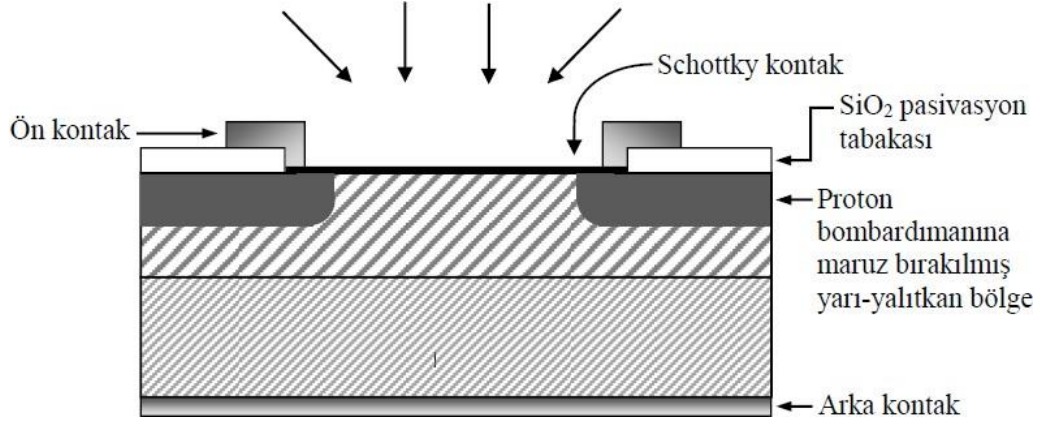


Şekil 2.7 : p-n eklem fotodedektörün şematik gösterimi (a) p-n eklem yapısı, (b) enerji-bant diyagramı, (c) elektrik alanı, (d) akım-gerilim karakteristikleri [47].

2.5.1.3 Schottky Fotodedektörler

Schottky fotodedektörler, katkılı yarıiletkenin üzerine çok ince metal kaplayak oluşturulmuştur. Şekil 2.8'de Schottky fotodedektör şematik olarak gösterilmiştir [49]. Yarıiletkenin bir metal ile temas ettiğinde yarıiletkenin fermi enerji seviyesi ile metalin fermi enerji seviyesi aynı hizaya gelir. Bu da metal-yarıiletken yüzeyinde bir potansiyel bariyer oluşturur. Dedektöre gönderilen ışığa sonucunda oluşan fotonlar

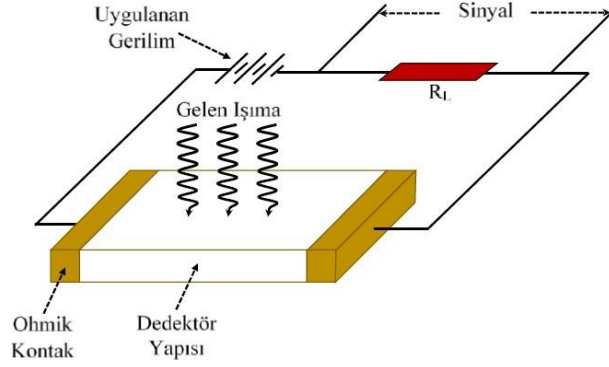
metalde soğurularak elektron boşluk çifti oluşturur. Uyarılan elektronlar, metal yarıiletken yüzeye gelene kadar metal içerisinde rastgele taşınırlar ve yalnızca yeterli enerjiye sahip elektronlar bariyeri geçerek yarıiletkene ulaşır. Böylelikle ışımaya soğurulmuş olarak elektriksel sinyale çevrilmiş olur. Schottky fotodedektörler, kullanılan metal kaplamaya göre geniş duyarlılık spektrumuna sahiptir.



Şekil 2.8 : Schottky fotodedektörün şematik gösterimi [47].

2.5.1.4 Fotoiletken Dedektörler

Fotoiletken dedektörler, ışığa karşı duyarlılık gösteren rezistörlerdir. Şekil 2.10'da gösterilen fotoiletken dedektörüne, yasak enerji aralığından daha yüksek enerjili fotonlar gönderildiğinde, bu fotonlar soğurularak, elektron boşluk çifti oluşturur. Soğurulmayla birlikte valans bandındaki elektronlar iletim bandına geçerek serbest taşıyıcı sayısında artış olmasını sağlar. Bu artış fotoiletken dedektörün elektriksel iletkenliğini değiştirerek bir dış devre vasıtasıyla, gelen ışığın şiddetinin bir ölçüsü olan iletkenlikteki değişim miktarı algılanmış olur. Fotoedektörlerde, iletkenlikteki değişim, malzemeye bağlanan elektrotlar yardımıyla ölçülür. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi Yaklaşık 100 ohm'luk dirence sahip malzemelerde, fotoiletken dedektör genellikle sabit akım devresi ile kontrol edilmektedir. Bu durumda dedektörün seri direnci yarıiletkenin seri direncinden daha büyük olur ve sinyal gerilimdeki değişiklik olarak algılanır. Yüksek dirence sahip fotoiletken dedektörlerde ise, sabit voltaj devresi kullanılır ve sinyal akımdaki değişiklik olarak tespit edilir [47].

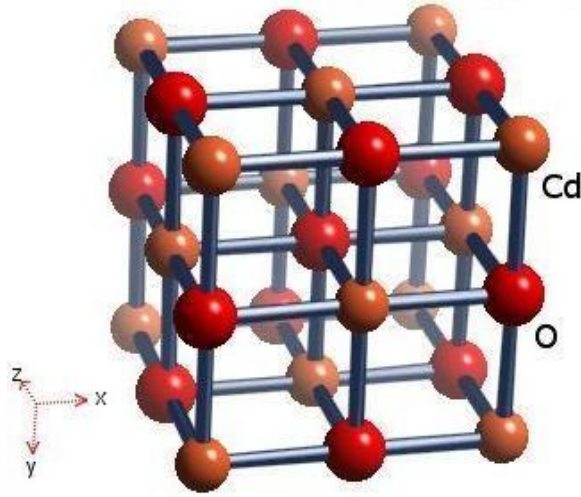


Şekil 2.9 : Fotoiletken dedektör [47].

2.6 CdO İnce Filmleri

1907 yılında ilk bulunan yarıiletken ince filmlerden biri olmasına rağmen CdO (kadmiyum oksit) üzerinde en az çalışma yapılan malzemelerden sayılabilir. Kimyasal püskürtme, kimyasal buhar depolama, kadmiyum oksidasyonu gibi tekniklerle hazırlanan CdO filmlerinin elektriksel özellikleri çalışmalarda sıkça yer almıştır. CdO ince filmler Foto-transistörlerde, ara tabakalar olarak diyotlarda, güneş pillerinde ve gaz sensörlerinde uygulama alanı bulmuştur. Bu nedenle, bu malzeme üzerinde çalışılması ve özelliklerinin geliştirilmesi oldukça önem kazanmıştır [50-60].

Cd elementinin zehirli olması ve CdO'nun dar bant aralığına sahip olması yarı iletken ince filmler arasında CdO malzemenin daha az ilgi görmesine neden olmuştur. CdO II-VI grubu yarıiletken bileşiğidir. Periyodik tablonun II. grup elementlerinden olan kadmiyum (Cd) ile VI. Grup elementlerinden olan oksijen (O)' den oluşur ve kübik yapıdadır. CdO ince filmler yüksek elektriksel iletkenliğe sahip n-tipi bir yarıiletkenidir ve yasak enerji bant aralığı 2,28 eV civarındadır ve görünür spektral bölgelerde geçirengendir. Bu değer en çok kullanılan yarıiletken ince filmlerden olan SnO₂ (3,6 eV), TiO₂ (3,3 eV) ve ITO (3,6 eV) filmlerinininkinden daha düşüktür. Buna rağmen, şu anki metal oksit ince filmlerden 5-10 kat daha fazla elektron mobilitesine (64 cm²/eV) sahip olmaları bu filmler için büyük bir avantajdır [61].



Şekil 2.10 : Kadmiyum oksit kristal yapısı

Yapılan çalışmalarda bu malzemenin 250 °C'nin altındaki sıcaklıklarda zayıf kristalleştiği ve tanelerin cam taban üzerinde rasgele yöneldikleri, 300 °C ve üzerinde ise iyi bir kristalleşme seviyesine sahip oldukları ve genelde (200) doğrultusunda bir tercihli yönelime sahip oldukları gözlenmiştir. CdO yarıiletken ince filmler katkısız olduğunda bile oldukça yüksek taşıyıcı yoğunluğuna sahiptirler. Taşıyıcı yoğunluğu sıcaklığa karşı duyarlıdır ve sıcaklık artış gösterdiğinde taşıyıcı yoğunluğu azalırken, elektron mobilitesi $-1'$ den $-220 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ' ye çıkar. Ayrıca dar bant aralığına sahip olduğu için açık sarı renkte görünür [61].

Güneş pilleri, akıllı pencereler, foto transistörler, ışık yayıcı diyotlar, gaz sensörleri, ince film transistörleri gibi optoelektronik uygulamalar için saf ve katkılı CdO materyali büyük öneme sahiptir [62,63]. Sentezleme yöntemi ve katkı tipi, elektrik ve optik özelliklerini değişmesine sebep olabilir. Farklı iyonlarla CdO filmler katkılanarak optik özelliklerinin yanı sıra iletkenliğide, kontrol edilebilir. CdO, In, Sn, Sc ve Y gibi Cd^{2+} 'den daha küçük iyonik yarıçapa sahip iyonlarla katkıldığında, elektriksel iletkenliği ve yasak enerji aralığı artar [63]. Katkısız CdO filmler genellikle donör olarak hareket eden oksijen boşlukları ya da fazla Cd atomlarının varlığı nedeniyle n-tipi iletkenlik sergiler. Flor (F) katkılanması yapılarak, iletkenliği daha da artırmak mümkündür. O, düşük elektronegatifliğinden dolayı F ile yer değiştirerek iletim elektronları oluşur ve elektriksel özdirenç azalır [64]. CdO, 4.695 \AA latis parametresi ile kübik NaCl yapıda kristalize olur [65].

CdO, yüksek taşıyıcı konsantrasyonu, yüksek elektriksel iletkenliği ve elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yüksek geçirgenliğe sahip

olmasından dolayı, CdO/CdTe heteroeklem güneş pilleri, CdO/Cu₂O güneş pilleri ve diğer optoelektronik cihazlarda kullanım alanına sahiptir [66,67]. CdO, 60 meV eksiton bağlanma enerjisi ve yaklaşık 3,3 eV yasak enerji aralığına sahip ZnO ile heteroyapı oluşturarak, optoelektronik cihazlarda kullanım alanına sahip olan bir malzemedir [68].

CdO, ince filmler sol-jel, spreyci piroliz, moleküler demet epitaksi, sıçratma, buharlaştırma, metal organik kimyasal buhar ile büyütme ve elektrokimyasal büyütme gibi birçok farklı teknikle üretilebilir. Elektrokimyasal büyütme tekniği, oksit yarıiletken ince filmlerin hazırlanmasında geniş bir şekilde kullanılmaktadır [69,70].

2.7 Mangan Elementinin Özellikleri

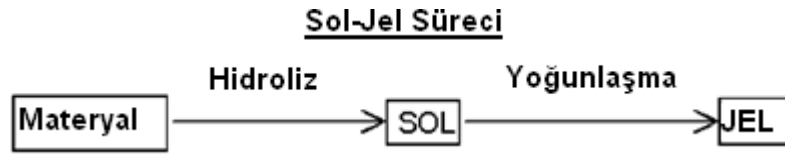
Mn'nin atom numarası 25, kütle numarası 54,938'dir. Doğada serbest element olarak bulunduğu gibi bazı minerallerin içerisinde de bulunabilmektedir. Doğal olarak oksit, karbonat ve silikat halinde dağılmış olarak bulunan metalik bir elementtir. En önemli bileşiği MnO₂; 1774 yılına kadar kadar Demir (Fe) olarak biliniyordu fakat K.W.Scheele tarafından yeni bir element olduğu keşfedildi. 1856 yılında Sir Henry Bessemer tarafından serbest element olarak Mn çeliğe katkı maddesi olarak katılarak endüstride önem kazanmıştır. Mn, Fe'ye benzer şekilde gümüşümsü gri renklidir. Oldukça sert ve kırılabilir bir elementtir. Ayrıca toz haline getirilebilir. Eritmesi zordur ama kolay oksitlenen bir elementtir. Erime noktası 1245 °C, kaynama noktası 2150 °C'dir. Oksidasyon durumu -3'ten +7'ye gözlemlenmesine rağmen Mn'nin en yaygın oksidasyon durumları +2, +3, +4, +6 ve +7'dir. Mn +7 durumunda oksidasyona uğradığında Mn bileşikleri kararsız Mn₂O₇ oksit durumuna sınırlanır. Mn'nin en kararlı oksidasyon durumu +2'dir ve bu durumda rengi pembesidir. Mn (II) sülfat (MnSO₄) ve Mn (II) klorit (MnCl₂) gibi Mn'nin (II) bileşikleri bu durumu gösterir. Mn doğada proluzit (MnO₂), manganit (Mn₂O₃H₂O), hausmannit (Mn₃O₄) gibi oksit mineralleri şeklinde ve mangan silikat (MnSiO₃), mangan spat (MnCO₃), mangan sülfür (MnS) şeklinde bulunur [71].

2.8 Sol-Jel Yöntemi

Katı fazdaki maddelerin sıvı içinde dağılarak süspansiyon oluşturmuş haline sol denir. Moleküller arası Van der Waals ve elektriksel itme-çekme kuvvetlerinin etkisinin

yerçekimi kuvvetine üstünlük sağlaması durumunda sıvı içerisinde dağınık olarak bulunan katı maddeler dibe çökmez, askıda kalır. Sol genişleyerek çözelti içerisinde büyük boyutlara ulaşırsa jeli meydana getirir. Jel içerisindeki katı maddenin sürekliliği, jelin esnek olmasını sağlamaktadır [72].

İnce film kaplamalar, seramik fiberler, oldukça saf ve küresel biçimli tozlar gibi cam ve seramik malzemeler yapmak için Sol-Jel yöntemi oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Sol-Jel süresince sistem sıvı fazdan (sol) katı faza (jel) geçiş yapar. Sol hazırlanırken kullanılan başlangıç malzemeleri inorganik metal tuzları veya metal inorganik bileşenlerdir. Sol-Jel sürecinde ana malzeme çözücü içinde çözünüp bir seri hidroliz ve polimerizasyon tepkimeleri ile koloidal bir yapı olan sol'e dönüşür. Koloidal yapılar heterojen ile homojen yapılar arasındadır. Çözülen tanecikler çok küçük tanecikler olmasa da çökme meydana gelmez ve çözücünden ayrılmazlar. İnce filmler; bir alt tabaka üzerine "Sol" ün döndürme, püskürtme, daldırma kaplama yöntemleri ile kaplanmasıyla üretilir. "Sol" bu alt tabaka üzerine kaplandığında ıslak jel (xerojel) haline dönüşür. Sıcaklık uygulanması ve kurutma işlemlerinden sonra yoğun jel haline geçerek ince filmi meydana getirir.



Şekil 2.11 : Sol-Jel sürecinin şematik gösterimi

2.8.1 Sol-jel Yönteminin Avantajları

- Kimyasal olarak kontrol edilebilir.
- Homojen yapıda numuneler üretilebilir.
- Üretilen toz boyutu nano boyutlardadır.
- Malzemeler düşük sıcaklıklarda üretilebilir.
- İnce film yapımı için kullanışlıdır.
- İstenilen yapı ve kalınlık elde edilebilir ve her türlü geometriye sahip malzemeye uygulanabilir.
- Diğer üretim yöntemlerine göre daha ucuz bir yöntemdir.
- Farklı elementler katılarak yeni ve değişik türde bileşikler elde edilebilir.

- Yüksek saflık oranında ürünler elde edilebilir. Ortamdan gelen safsızlıklar ve reaksiyon kabıyla etkileşim düşük olduğu için optik ürünlerde önemli avantajlar sağlar.
- Polimerizasyon anında jel içinde değişik zincir uzunluğunda polimer moleküllerinin bulunması ve işlem sırasında bunların kısmen faz ayrımına uğramaları nedeniyle yapıda bileşim farklılığı göstermeden yapısal değişiklikler gösteren bölgelerin oluşabilmesi mümkündür.
- Genellikle 1000 °C'nin altında ısı işlem uygulandığından enerji tasarrufu sağlanır.
- Eritme işlemi sırasında buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar en aza indirilir [73-78].

2.8.2 Sol-jel Yöntemin Dezavantajları

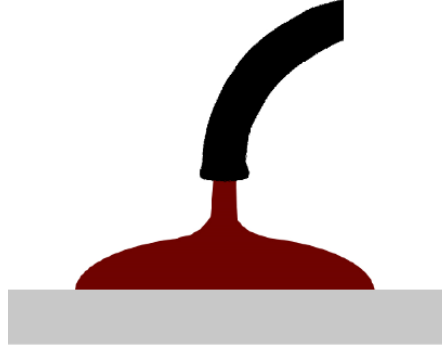
- Yüksek hammadde fiyatlarından dolayı uygulamalar bazı özel seramikler ve kaplama üretimi ile sınırlı kalabilir.
- İşlem süresi uzun olduğu için seri olarak malzeme üretmek ve kaplama yapmak oldukça zordur.
- Kullanılan organik hammaddelerin sağlığa zararlı olması sebebiyle koruyucu önlemler almak gerektiğinden maliyet artar.
- Üretilen tozların maliyeti yüksektir
- Yapım esnasında büzülme miktarı çoktur.
- Yapıda çatlaklar yer alabilir.
- Yapıda OH (hidroksil) veya C grubu bulunabilir
- Jelde kalan gözenekler, hidroksil iyonları ve karbon atomları bazı özel amaçlı ürünlerde hataya neden olur şeklinde sıralanabilir [74, 78].

2.8.3 Sol-Jel Kaplama Yöntemleri

Sol-Jel kaplama yöntemleri; daldırarak kaplama (dip coating), döndürme ile kaplama (spin coating) ve püskürterek kaplama (Spray Pyrolysis) yöntemleridir. Bu tez çalışmasında döndürerek kaplama yöntemi kullanılmıştır.

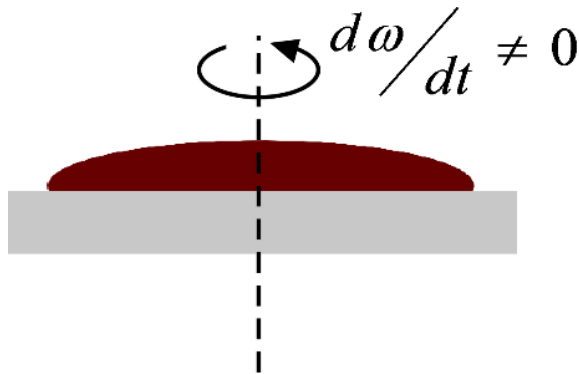
2.8.3.1 Döndürme ile Kaplama Metodu

Döndürme ile kaplama yöntemi, mikroelektronik endüstrisi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu metodun bazı sınırlamaları olmasına rağmen, sol-jel kaplamaları hazırlamak için hızlı ve kullanışlı bir yöntemdir. Bu kaplama metodu ile nanometre boyutlarından mikron boyutlarına kadar değişen geniş bir aralıkta film kalınlıkları elde etmek mümkündür. Bu metot beş aşamaya ayrılır; Damlatma, döndürme başlangıcı, döndürme, döndürme sonu ve buharlaşma. İlk aşamada taşıyıcılar döndürülürken üzerine sol damlatılır ve merkezci kuvvetin etkisi ile taşıyıcı üzerine yayılır [78]. Önemli olan nokta solüsyonun büyük partiküllerden arındırılmış olması ve yüzeye yapışabilir bir özellik göstermesidir [21].



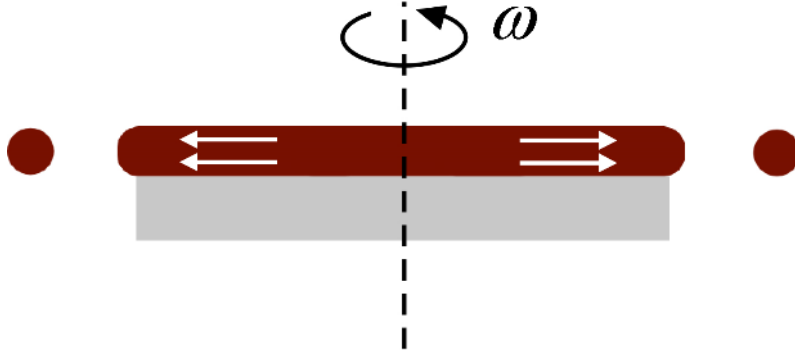
Şekil 2.12 : Solüsyonun döndürme ile kaplamada numune yüzeyine damlatılması [21].

İkinci aşamada solüsyonun tabana yayılması ve fazla solüsyondan kurtulması ve ince filmin oluşması için taban ivmelendirilir. Burada hız < 500 rpm'dir.



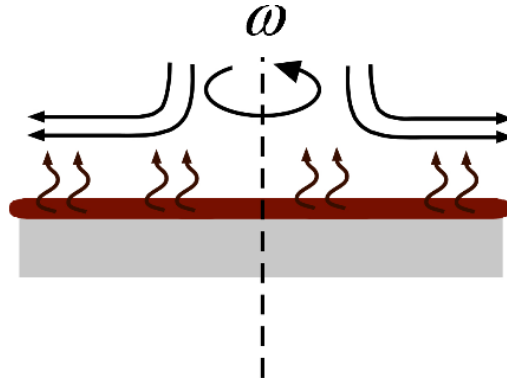
Şekil 2.13 : Döndürme ile kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülmesi [21].

Üçüncü aşamada taban sabit bir hızla dönerek solüsyondaki viskoz kuvvetleri akışkanın daha çok incelmeye engel olur. Hız $\sim 2000 - 4000$ rpm'dir.



Şekil 2.14 : Döndürme ile kaplamada çözeltinin yüksek hızlarda döndürülmesi [21].

Dördüncü aşamada film incelendiğinden viskoz kuvvetlerinin etkisinin yerini buharlaşma alarak jel oluşumu gerçekleştirir. Hız ~ 500 rpm'dir.



Şekil 2.15 : Döndürme ile kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülerek jelleşmenin sağlanması [21].

Son aşamada döndürme sonunda filmin kalınlığı taşıyıcı yüzeyinin her yerinde aynı olur. Döndürerek kaplamada genelde döndürme hızının artırılması filmin homojen kaplanmasının daha iyi olmasını sağlar [21].

Döndürmeyle kaplama metodunun diğer kaplama metotlarına göre bazı avantajları şunlardır; Büyük taşıyıcılar için bile az miktarda kaplama sıvısı yeterlidir. Sıvı fazlası normal olarak tekrar kullanılamaz. Çok hızlı bir metottur. Çok katmanlı uygulamalar için oldukça iyi bir metottur.

Bu metodun dezavantajları ise; Yalnızca dairesel ve dairesel yakın taşıyıcılar için uygun bir metottur. Düzensiz şekillerin köşe ve kenarlarında hava ve sıvının akması çok iyi bir şekilde sağlanmalıdır. Temiz tutulması zordur. Büyük taşıyıcıları (> 800) homojen olarak kaplanmak zordur. Çözücünün hızlı buharlaşması durumunda homojen kaplamalar elde edilemez bu yüzden yüksek kaynama noktalı çözücüler kullanılması gerekir bu da istenilen film kalınlığının elde edilmesini zorlaştırır [79].

2.9 Yarıiletkenlerin Optiksel Özellikler

Yarıiletkenlerin optiksel özelliklerini inceleyerek bant yapıları hakkında bilgilerle birlikte malzemedeki elektronların ve boşlukların davranışları hakkında da bilgiler elde edilebilir.

Herhangi bir ortam üzerine farklı frekanslardan oluşan bir ışın demeti gönderildiğinde, frekanslar arasında ortamı oluşturan atomların enerji seviyelerini kararlı bir duruma yükseltecek enerjide olanların enerjileri atom tarafından soğurur.

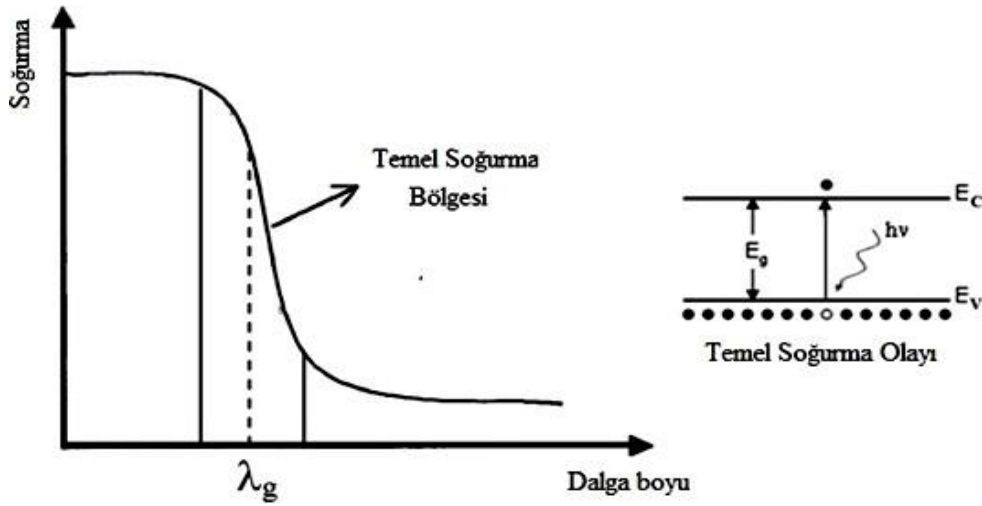
Soğurma ölçümleri geniş bir dalgaboyu aralığında yapıldığı zaman, ortamdaki geçen ışınların bağıl şiddetleri ile dalgaboyları arasındaki bağıntı soğurma spektrumunu verir. Her malzemenin yayınladığı dalgaboyları birbirinden farklı ve kendine has olduğu için malzemenin soğuracağı dalgaboyları da farklı olacaktır. Bu bilgilerden dolayı soğurma spektrumları kullanılarak bir yarıiletkenin bant yapısı incelenip, yasak enerji aralığı hesaplanabilir. Bu metota “optik” metot denir. Soğurma spektrumu kullanılarak yapılan teorik hesaplamalardan, geçirgenlik, kırılma indisi, soğurma katsayısı, yansıtırlık, dielektrik sabiti gibi bazı optik parametreler de bulunabilir [80].

Bir yarıiletken malzemenin bant yapısını araştırmak için o malzemenin optiksel soğurma spektrumunu incelemek en kullanışlı yoldur. Soğurma işlemi sırasında, enerjisi bilinen bir foton yarıiletken içerisindeki bir elektrona düşük enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. Böylece gelen bir ışık önüne yerleştirilen yarıiletken malzemedeki geçen ışığın şiddeti dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak incelenebilir. Bunun sayesinde yarıiletken malzemedeki elektron geçişleri ve izinli elektronik enerji seviyelerinin dağılımları hakkında bilgi edinilebilir. Optiksel soğurma katsayısı, optiksel geçirgenlik bilgilerinden direkt olarak hesaplanabilir.

Bir yarıiletken malzeme üzerine ışık düşürüldüğünde farklı etkiler meydana gelebilir ve bir elektron farklı geçiş mekanizmaları sergileyebilir. Oluşabilecek mümkün geçişler; bantlar arasında, safsızlıklarla bantlar arasında ve bir banttaki serbest taşıyıcılarla olabilir. Bantlar arası geçiş işlemi değerlendirilerek bir yarıiletken malzemenin optik bant aralığı belirlenebilir. Yarıiletken üzerine gelen bir fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan büyükse ($h\nu \geq E_g$), bu valans bandındaki bir elektron bu fotonu soğurarak iletim bandına geçer. Bu olaya temel soğurma olayı denir. Bu soğurma olayı kendisini soğurma spektrumunda hızlı bir artış ile gösterir ve bu bölge temel soğurma bölgesi olarak bilinir. Bu durumda

temel soğurma bölgesi yarıiletken bir malzemenin enerji aralığını belirlemek için kullanılabilir [81].

Şekil 2.16'de yarıiletkenlerde soğurma spektrumu verilmektedir. Uzun dalgalarda yani küçük enerjilerde soğurma değerleri düşüktür olur. Ayrıca bu dalga boyu aralığında malzeme üzerine gelen fotonların enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından daha küçüktür ($h\nu < E_g$). Yarıiletken bu bölgede yüksek derecede geçirgen olarak davranır ve saydamdır. $h\nu > E_g$ olan kısa dalgalarda, yani yüksek enerjilerde malzemenin soğurma değerleri artar ve yarıiletken opak bir malzeme olarak davranır. Saydamlıktan opaklığa keskin geçişin olduğu bölge ise temel soğurma bölgesidir ve bir yarıiletkenin yasak enerji aralığı bu bölge içerisine olur.



Şekil 2.16 : Yarıiletkenlerde soğurma spektrumu [82].

Temel soğurma bölgesinde direkt ve indirekt olmak üzere iki geçiş türü mümkündür [83,84]. Her ikisinde de elektronlar valans bandından iletim bandına geçerler, ancak geçişlerde kullandıkları yollar farklı olabilir [85].

UV-VIS spektrofotometri tekniği malzemelerin optik özelliklerinin incelenmesinde kullanılan tekniktir. Bu teknikte soğurma ölçümleri kullanılarak malzeme tanımlanabilir ve safsızlık belirlenebilir. UV-VIS spektrofotometresi, elektromagnetik spektrumun ultraviyole ve görünür bölgelerinde, moleküler bileşiklerin ve karmaşık iyonların analizlerinde kullanışlı bir tekniktir. Ultraviyole- görünür spektrumu malzeme oluşumundan kaynaklanır [86].

UV-görünür bölge ölçümü ışık kaynağı ve dedektör kullanılarak gerçekleştirilir. Tungsten flama lambaları, çok parlak ve görünür bölgeden infrared bölgeye kadar

ışığa yapabilen kaynaklar olduğu için görünür bölge çalışmalarında kullanımı en fazla olanıdır. Döteryum lambaları ise ultraviyole soğurma çalışmalarında kullanılır. Döteryum lambalarında ışımının dalga boyu 185-375 nm arasında değişir. Ksenon ark lambaları, içerdiği ksenon sebebiyle sürekli ultraviyole ve görünür ışık yaydıkları için ultraviyole ve görünür bölge çalışmalarında kullanılır.

İncelenen malzemenin soğurma spektrumunu çizmek yani her dalga boyunda ölçüm alabilmek için kaynaktan yayılan ışığın dalga boyu dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Bunun için en kolay yöntem soğurma filtrelerinin kullanılmasıdır. Işığın malzeme üzerinden geçirilmesi için tek demet ve çift demet yöntemleri vardır. Tek demet yönteminde ışık malzeme üzerinden geçirilerek dedektöre gönderilir. Çift demet yönteminde ise iki paralel ışık malzeme odasına gönderilir. İlk demet malzeme üzerinden yansdıktan sonra dedektöre gönderilir, ikinci demet boş odadan yansıtılarak dedektöre gönderilerek referans olarak kullanılır.

UV-görünür spektrofotometrelerinde dedektör olarak fotomultiplikator (ışık çoğaltıcı) tüpler veya fotodiyotlar (ışık sensörleri) kullanılır [87].

2.10 Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri

Elektriksel iletkenlik malzemelerde oluşan bağlar göz önünde bulundurularak açıklanabilmektedir. Metalik bağlar serbest elektronlar üreterek bir elektrik alanın etkisiyle kolayca hareket edebilmektedirler. Sonuç olarak bu malzemelerin elektriksel iletkenlikleri yüksek olur. Yalıtkan malzemelerde valans elektronları belli atomlara, iyonlara veya kovalent bağdaki gibi atom çiftlerine sıkıca bağlı bulunmaktadır. Aynı tür bağlara sahip olan birçok malzeme farklı elektriksel özellikler gösterebilir. Örneğin silisyum ve elmasın benzer kristal yapılarının olması ve kovalent bağlara sahip olmalarına rağmen, özellikle yüksek sıcaklıklarda silisyum bir iletken, elmas çok iyi bir yalıtkandır. Bu özellik bant yapılarıyla alakalıdır [88].

Yarıiletkenlerde iletkenliğe sadece iletim elektronları değil, boşluklar da katkıda bulunur. Boşluklar ve elektronların yükü eşittir fakat boşluklar pozitif işaretlidir. Bu nedenle boşlukların varlığı malzemenin iletkenliğini de etkilemektedir. Bir yarıiletkene elektrik alan uyguladığı zaman elektronlar elektrik alanına zıt yönde, boşluklar ise elektrik alan ile aynı yönde yönelim gösterirler.

2.10.1 FotoDiyotların Akım-Voltaj Karakteristiği

Fotodiyotların akım-voltaj (I-V) karakteristiği diyot eklemesindeki akım taşıma mekanizmaları ile belirlenebilirken, farklı akım taşıma mekanizmaları metal-yarıiletken eklemleri (Schottky, MSM fotodiyotlar) ve p-n eklemlerine bağlı olarak oluşabilir [89]. Fotodiyotun akım-voltaj karakteristiği şekil olarak normal bir diyotunkine benzer şekildedir. Sekil.2.17’de fotodiyotun karanlık ve aydınlatılmış durumlardaki akım-voltaj karakteristiğini göstermektedir. Fotodiyotun duyarlı yüzeyine ışık düşmüyorsa foto diyot üzerinden geçen akım, termal yoldan azınlık taşıyıcılarıyla oluşmuş akımdır ve bu akıma da karanlık akım denilmektedir [90].

Bir fotodiyotun performansı, akım-voltaj karakteristiği, kuantum verimi karakteristiği, band genişliği (çalışma hızı) karakteristiği olmak üzere bu üç karakterizasyon ile ölçülür. Diyot eklem niteliğini, düşük karanlık akımı ve yüksek bozulma voltajı, gösterir. Düşük karanlık akımı, oldukça yüksek duyarlılık anlamına gelir. Ayrıca fotodiyota ışık uygulanmaksızın ters polarma altında diyot içinden geçen akımdır [90]. Burada ki ters polarma voltajının değeri bozulma voltajına karşılık gelirken, foto diyotun çalışması için uygulanabilen ters polarma voltajı sınırını belirleyen faktördür. Bu değerden sonra, kazanç ve çarpma mekanizmaları diyotun çalışmasını gerçekleştirmeye başlar [89].



Şekil 2.17 : Fotodiyotun karanlık ve aydınlatılmış durumlardaki akım-voltaj karakteristiki [89,90].

Bir Schottky fotodiyotunun doğru akımı incelenerek ters besleme doyma akımı, engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi diyot parametreleri bulunabilir. I_0 ve ϕ_b , $V=0$ 'da doğru besleme akımı fit edilerek bulunabilir. İdealite faktörü (n) doğru polarma I-V eğrisinin (dV/dI) eğimi ile elde edilir [89].

Schottky diyotlarda doğru besleme gerilimi çok yüksek olmadıkça akım iletimi termiyonik emisyon teorisi ile olur ve akım -gerilim ilişkisi [91],

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

şeklindedir. Burada V_d engel tabakası boyunca gerilim düşmesidir. Pratikte Schottky diyotların, doğru beslem I-V karakteristikleri ideal durumdan bazı sapmalar gösterebilir. Yani saf termiyonik emisyon teorisinde boyutsuz olan idealite faktörü birden büyük olabilir. Bu nedenle akım yoğunluğu ifadesi,

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV_d}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

şeklini alır. Burada $\exp(qV/nkT) \gg 1$ durumu göz önüne alınır ve diyoda uygulanan V geriliminin bir kısmı diyoda bağlı seri direnç üzerine düşeceğinden (IR_s) ilavesiyle,

$$I = AA_n^{**} T^2 \exp \left(\frac{q\phi_{Bn}}{kT} \right) \exp \left(\frac{q(V-IR_s)}{nkT} \right) \quad (2.6).$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. Burada $V_d = V-IR_s$ ' dir, V ise uygulanan dış gerilimdir [91].

Metal-Yarıiletken doğrultucu kontaklarda elektron ve hollerin metal ve yarıiletken arasında yeniden dağılımı sonucunda, yarıiletkenin sınır bölgesinde elektronlardan (n-tipi yarıiletken için) veya boşluklardan (p-tipi yarıiletken için) arınma ve yüksek dirence sahip bir tüketim tabakası meydana gelir. Bu tüketim bölgesinin genişliği (WD) uygulanan dış gerilim ile değişir. Bu tür metal-yarıiletken Schottky diyotun yapısı kondansatörün yapısına benzer şekildedir ve ara bölgede bir kapasite meydana gelir.

2.10.2 FotoDiyotların Kapasitans-Voltaj Karakteristikleri

Schottky diyotların en önemli özelliklerinden biri de kapasitans-voltaj (C-V) karakteristiğidir. Schottky diyotların C-V karakteristiği ara yüzey durumlarına karşı oldukça hassastır ve aygıtların elektriksel özellikleri üzerinde güçlü bir etkisi vardır. Düşük frekanslarda kapasitenin artması, uygulanan AC sinyalinin yük taşıyıcıları

tarafından takip edilebilmesine bağlıdır. Yeterince yüksek frekansta C-V ölçümleri alınır ise ara yüzeydeki yükler AC sinyallerini takip edemez. p-tipi bir yarıiletken ile oluşturulan kontağın kapasitesi,

$$\frac{1}{c^2} = \left[\frac{2}{\epsilon_0 \epsilon_s q N d A^2} \right] \left[V_{bi} - \frac{V - kT}{q} \right] \quad (2.7)$$

denklemleri ile verilir. Burada ϵ_0 , Boşluğun dielektrik geçirgenliği ϵ_s Dielektrik sabiti q, yük d, donör konsantrasyonu N= N-Si V_{bi} , difüzyon voltajıdır.

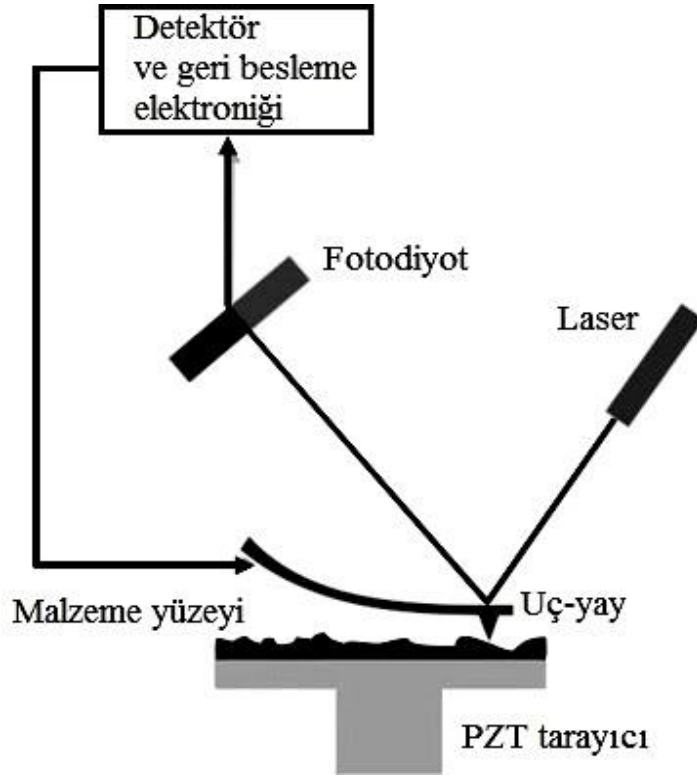
2.11 Yarıiletkenlerin Yüzeysel Özellikleri

Malzeme biliminde katı yüzeylerin fiziksel niteliği, yüzeylerinin yapılanması, faz dağılımları, tanelerin varlığı, homojenlikleri, gözenekli yapıları ve tabana tutunmaları hakkında ayrıntılı bilgi sağlamak oldukça önemlidir. Yüzey özelliklerini incelemek için taramalı uç mikroskopları (SPM) geliştirilmiş ve bu sayede yüzey ayrıntılarını atomik boyutlarda incelemek mümkün olmuştur. Bu mikroskoplar numuneyi tarayan fiziksel bir uç yardımıyla yüzey görüntüsü oluştururlar. Yüzey görüntüsünün elde edilmesi için mekanik olarak hareket ettirilen uç ile numune taratılır ve konumun bir fonksiyonu olarak uç-yüzey etkileşmesi kaydedilir. 1980'lerin başında taramalı tünel mikroskobu Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer tarafından geliştirilmiştir ve bu onlara 1986 yılında Nobel Fizik ödülü kazandırmıştır. Taramalı uç mikroskopları eş zamanlı olarak birkaç etkileşmeyi görüntüleyebilir. Görüntü elde etmek için bu etkileşmelerin kullanılma tarzı “mod” adını alır. Çözünürlük değerleri tekniğe göre değişim gösterirken, bazı uç tekniklerinde oldukça etkili bir atomik çözünürlük elde edilebilir. Bunun için atomik seviyedeki hareketleri algılayacak piezoelektrik düzenekler lazımdır. Bu sebeple bu tekniklere “piezoelektrik teknikler” de diyebiliriz. Bu tekniklerin kullanıldığı cihazlara örnek olarak, AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu), EFM (Elektrostatik Kuvvet Mikroskobu), MFM (Magnetik Kuvvet Mikroskobu) ve STM (Taramalı Tünel Mikroskobu) verilebilir [92].

Taramalı uç mikroskopları içinde en yaygın AFM kullanılır. AFM, nanometre boyutunda çok yüksek çözünürlüğe sahip bir tekniktir. Ayrıca bu değer optik kırınım limitinden bin kat daha iyi bir değerdir. 1986 yılında ilk AFM'yi Binnig, Quate ve Gerber geliştirmişlerdir. AFM ilk başta taramalı tünel mikroskobunun dezavantajı olan, sadece iletken ve yarıiletken yüzeyleri inceleyebilme sınırlılığını ortadan

kaldırmak üzere geliştirilmişti. Ancak AFM, polimer, seramik, kompozit, cam ve biyolojik numuneler gibi birçok çeşit yüzeyin görüntülenmesine imkân sağladı.

AFM, malzemeleri nano boyutta görüntülemek, ölçmek ve değiştirmek için kullanılan en önemli tekniklerdendir. Bu teknikte bilgi, yüzeyi mekanik bir uç aracılığıyla hissederek elde edilir. Çok küçük fakat kesin ve hassas elektriksel komutları kullanabilen piezoelektrik elementler oldukça hassas taramaya olanak sağlar. AFM de malzeme yüzeyini bir-iki mikron uzunluğunda ve genelde 100 Å' dan daha az bir çapa sahip keskin bir uç ile incelenir. Uç, 100200 µm uzunluğunda bir yayın serbest ucuna yerleştirilir. Uç ile numune yüzeyi arasındaki kuvvetler (10^{-8} - 10^{-6} N) Hooke yasasına göre yayın eğilmesine veya sapmasına neden olur. Uç numune üzerinde gezinirken ya da numune uç altında taranırken bir detektör yaydaki sapmayı ölçerek bir bilgisayar aracılığıyla yüzey topografisinin bir haritasını oluşturur. AFM' de ölçülen kuvvetler duruma göre; mekanik kontak kuvvetleri, Van der Waals kuvvetleri, kapiler kuvvetler, kimyasal bağlar, elektrostatik ve manyetik kuvvetler olabilir. Genelde sapma miktarının ölçümü Şekil 2.18'de görüldüğü gibi yayın yüzeyinden yansıyan lazerin bir dizi foto diyot ile algılanması sonucu gerçekleştirilir. Bu hareketten yararlanarak bilgisayar aktarılan veriler, yazılım aracılığıyla görüntü elde edilmiş olur [93]. AFM' nin performansı yayın fiziksel özelliklerine bağlıdır. Uç, sabit bir yükseklikte taranırsa yüzey ile çarpışarak zarar görür. Bu nedenle uç ile malzeme arasında sabit bir kuvvet sağlamak amacıyla uç-numune mesafesini ayarlamak için bir geri besleme mekanizması kullanılır. Malzeme, sabit bir kuvvet sağlamak için z-yönünde ve malzemeyi taramak için ise x-yönünde hareket edebilen bir piezoelektrik tüp üzerine monte edilir.



Şekil 2.18 : AFM'nin temel görüntü alma mekanizması [92].

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Deneysel İşlemler

Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO filmleri üretmek için sol-jel yöntemi kullanıldı. Döndürme ile kaplama yöntemiyle p-Si altlıklar ve mikroskop camı üzerine kaplandı. 0.5 M Kadmiyum Asetat ($\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) 10 ml izopropil alkolde çözüldü. % 0,2, % 6 ve % 10 atomik oranlarında Mangan Asetat ($\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) eklenip manyetik balıkla birlikte 500 rpm'e ayarlanan manyetik karıştırıcının üzerinde çözünene kadar karıştırılmıştır. Stabilizatör olarak aminoethanol eklenmiş ve çözelti 1 saat oda sıcaklığında karıştırılmıştır.



Şekil 3.1 : Numunelerin hazırlandığı deney düzeneği

Öncelikle p-Si altlık üzerindeki organik ve diğer ağır metal kirliliklerini temizlemek ve kristal yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için p-Si tabakaya kimyasal temizleme işlemleri yapılmıştır. p-Si tabakalar 5 dk alkol ve 5 dk saf suda olmak üzere ultrasonik banyo içerisinde temizleme işlemi yaptırılmıştır. Daha sonra azot gazı yardımıyla kurutulmuştur. Hazırladığımız katkısız CdO ve Mn katkılı CdO çözeltilerle p-Si tabakalar 30sn 3000 devir/dk de döndürme ile kaplama yöntemiyle tek kat kaplanmıştır. Tabakalar üzerinde kalan etanol'ün buharlaşması için 150 °C 5 dk kurutuldu ve fırında 450 °C 1 saat tavlama işlemi uygulanmıştır. Tavlama işleminden sonra kimsaysal buhar depolama işlemi uygulanarak hazırlanan silisyumlar üzerine alüminyum kontak yapılarak diyotlar üretilmiştir. Aynı prosedürler uygulanarak mikroskop camlarına da temizleme işlemi yapıldıktan sonra 5 defa kaplama ve kurutma işlemleri uygulanmış ve tavlanaarak ince filmler üretilmiştir.

3.2 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO Filmlerin Optiksel Özellik Analizi

Bu çalışmada sol-jel yöntemi ile katkısız CdO ve %0,2 at., %6 at., %10 at. Mn katkılı CdO ince filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince film numunelerinin UV ölçümleri UV3600 SHIMADZU UV-VIS-NIR Spectrophotometer cihazı ile yapılmıştır. UV ölçümleri sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ince filmlerin yasak enerji aralığı (Eg) grafikleri çizilmiştir.

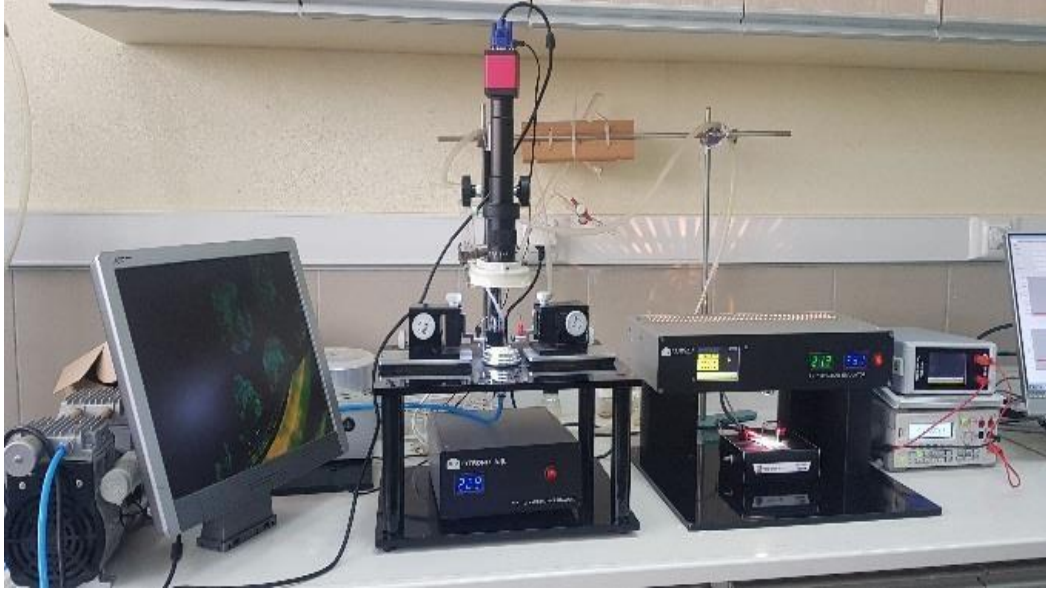


Şekil 3.2 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin U-V ölçümleri için kullanılan UV-VIS spektrofotometre cihazı

3.3 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO Diyotların Elektriksel Özellik Analizi

Bu çalışmada sol-jel yöntemi ile üretilen Katkısız CdO ve Mn/CdO/p-Si diyotlarının Akım-Voltaj (I-V), Kapasitans- Voltaj (C-V) ve Akım-Zaman (I-t) karakterizasyonları oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. I-V ve I-t ölçümleri karanlıkta ve farklı aydınlatma şiddetlerinde (20mW/cm^2 , 40 mW/cm^2 , 60 mW/cm^2 , 80 mW/cm^2 , 100 mW/cm^2) her bir numue için ayrı ayrı analiz edilmiştir. C-V ölçümleri her bir numune için 10kHz-1MHz aralığında analiz edildi. Bu ölçümler Fırat Üniversitesi Fizik

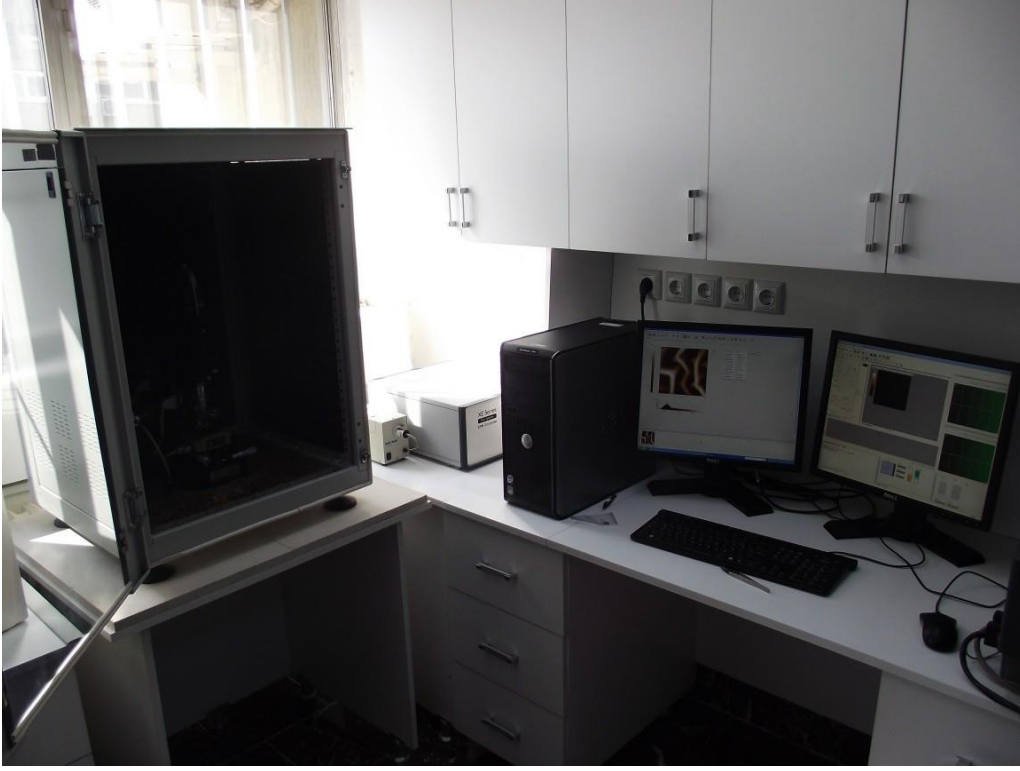
Bölümü Nanoteknoloji Laboratuvarındaki FYTRONIX FY-7000 elektronik cihaz karakterizasyon sistemi ile yapılmıştır.



Şekil 3.3 : Katkısız CdO ve Mn/CdO/p-Si diyotlarının I-V, C-V ve I-t ölçümleri için kullanılan deney düzeneği

3.4 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO Filmlerin Yüzeysel Özellik Analizi

Bu çalışmada sol-jel yöntemi ile üretilen katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince film numunelerinin yüzey özelliklerini araştırmak amacıyla, yüzeylerin 2 ve 3 boyutlu görüntüleri "PARK SYSTEM marka XE-100E model Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)" ile analiz edilmiştir.



Şekil 3.4 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin yüzey ölçümleri için kullanılan AFM cihazı

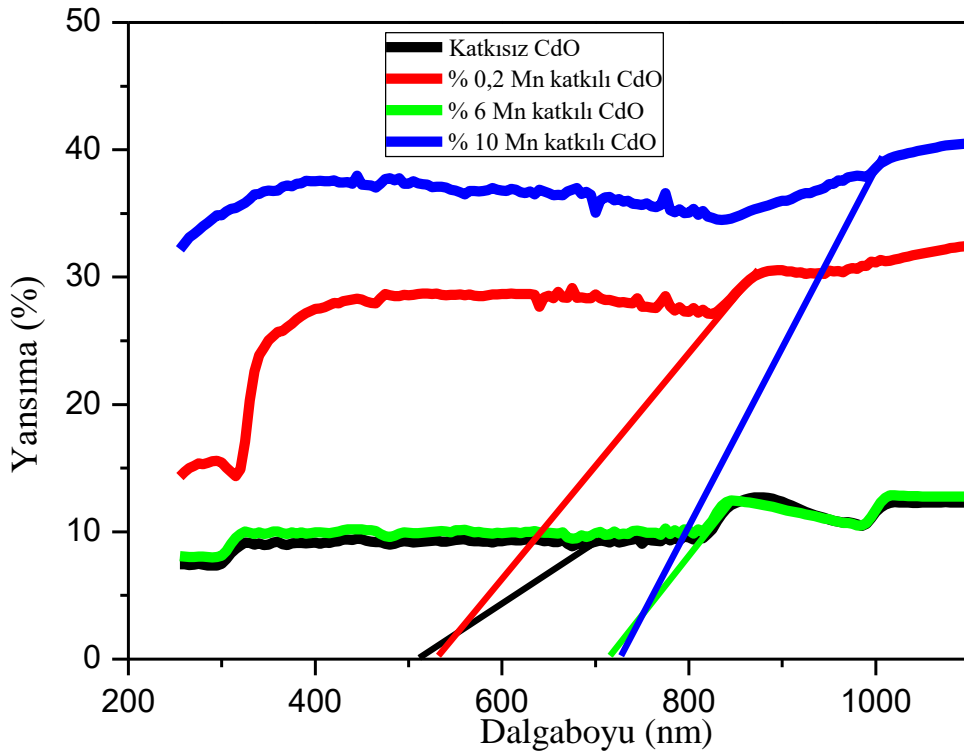
4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

4.1 Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO İnce Filmlerin Optiksel Ölçüm Sonuçları

Sol jel metodu ile elde edilen çözeltiler kullanılarak, döndürme kaplama tekniği ile Mn katkılı CdO ince filmler p-tipi Silisyum (p-Si) altlıklar üzerine kaplanmıştır. Elde edilen katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin optiksel analizleri 200 nm-1000 nm dalga boyu aralığında UV3600 SHIMADZU UV-VIS-NIR Spectrophotometer cihazı ile analiz edilmiştir. Yansımaları kullanılarak, numunelerin optik bant aralık değerleri hesaplanmıştır. Saydam olmayan filmlerin optik bant genişliğini belirlemek için en iyi metotlardan biri yansımaları spektrum metodudur [94]. Numunelerin yansımaları spektrumlarındaki ilk değişim bölgesi ekstrapolasyon yapılarak

$$E_g = hc/\lambda \quad (4.1)$$

denkleminde hesaplanmıştır. Burada E_g , yasak bant aralığını, h , Planck sabitini, c ışık hızını ve λ , dalga boyunu ifade eder. Hesaplanan E_g değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Elde edilen E_g değerleri literatür ile uyum içerisindedir [16]. İnce filmlerin optik bant aralığı değerleri Mn katkısı ile değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin Yansımaları-Dalga boyu grafiği

	KATKISIZ CdO	% 0,2 Mn katkılı CdO	% 6 Mn katkılı CdO	%10 Mn katkılı CdO
E_g Değerleri	2,41 eV	2,33 eV	1,73 eV	1,70 eV

Çizelge 4.1 : Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin yansıma spektrumlarından hesaplanan E_g değerleri

4.2 Katkısız CdO ve Mn/CdO/p-Si Diyotlarının Elektriksel Ölçüm Sonuçları

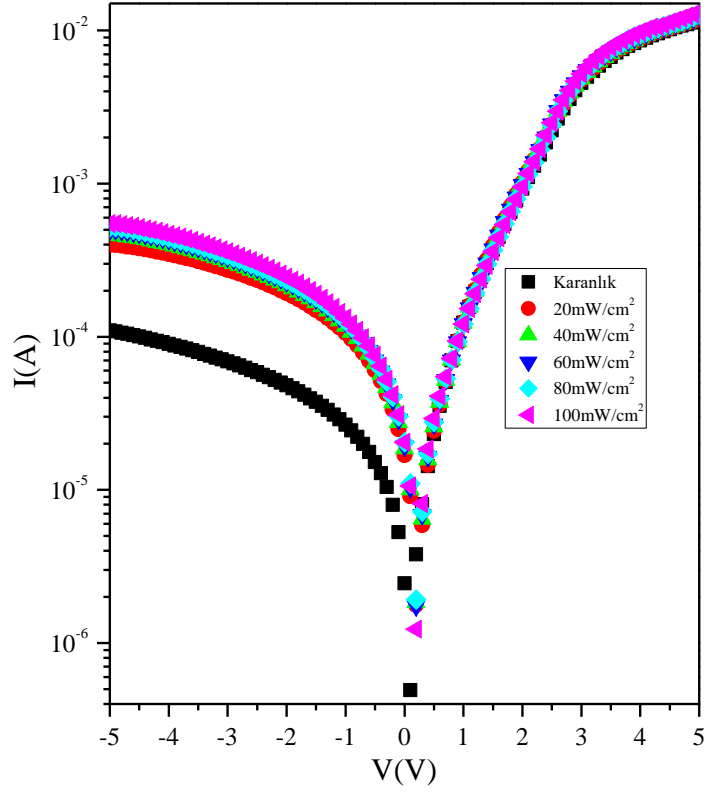
4.2.1 Al/Mn:CdO/p-Si/Al Diyotların Foto Akım- Voltaj (I-V) Karakteristikleri

Bu çalışmada hazırlanan Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların elektriksel karakterizasyonu için, akım-voltaj (I-V) ölçümleri çeşitli aydınlanma şiddetleri altında incelendi. Silisyum altlığı üzerine yapılan fotodiyotlara -5 ile +5 V arasında gerilim uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

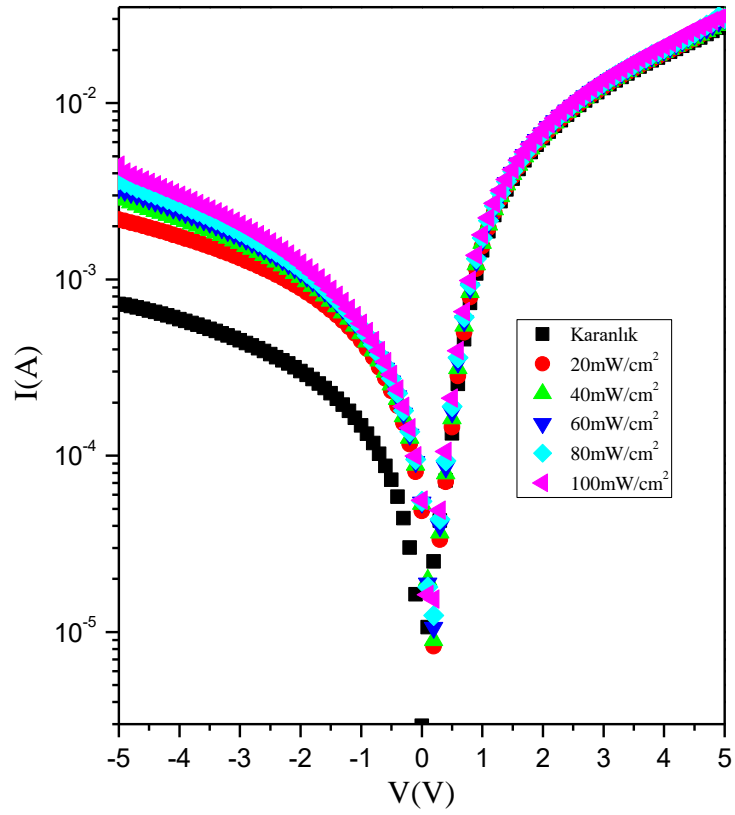
Hazırlanan diyotların I-V karakteristikleri termiyonik emisyon teorisi ile incelendi. Diyotların I-V karakteristikleri malzemelerde birçok elektriksel özelliğin incelemesinde önemli yer tutmaktadır. Diyotların elektriksel parametrelerini hesaplamak için I-V karakteristikleri $\ln I-V$ şeklinde çizilip hesaplanmıştır.

Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi diyot akımı, ışık şiddeti ile artmıştır. Işık şiddeti ile elektronlar valans bandından iletim bandına geçerler ve bunun karşılığında diyotun akımı artar. Fotodiyotun aydınlatma altında ters akımı, karanlıkta bulunan akımın ters akımından daha yüksektir. Ayrıca, ters akım artan aydınlatma şiddeti ile artar. Bu sonuçlar, hazırlanan fotodiyotun bir foto iletken davranış sergilediğini göstermiştir.

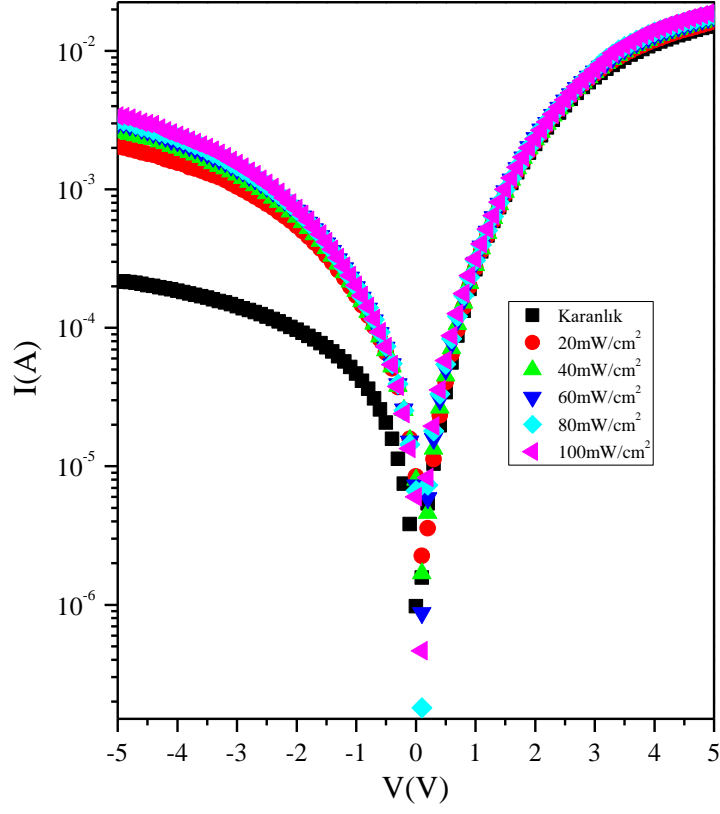
Grafikler incelendiğinde diyotların, özellikle negatif besleme bölgesinde ışık şiddeti arttıkça akım değerinin de arttığı görülmektedir. Pozitif besleme bölgesinde ışık şiddetinin etkisinin akım üzerinde gözle görülür bir etki yapmadığı ancak negatif besleme bölgesinde ışık şiddetinin ölçülen akım değeri üzerinde gözle görülür bir etki yaptığı anlaşılmaktadır. Diyot ileri beslemede üssel şekilde artış göstermekte ancak geri beslemede zayıf voltaj bağımlılığı göstermektedir.



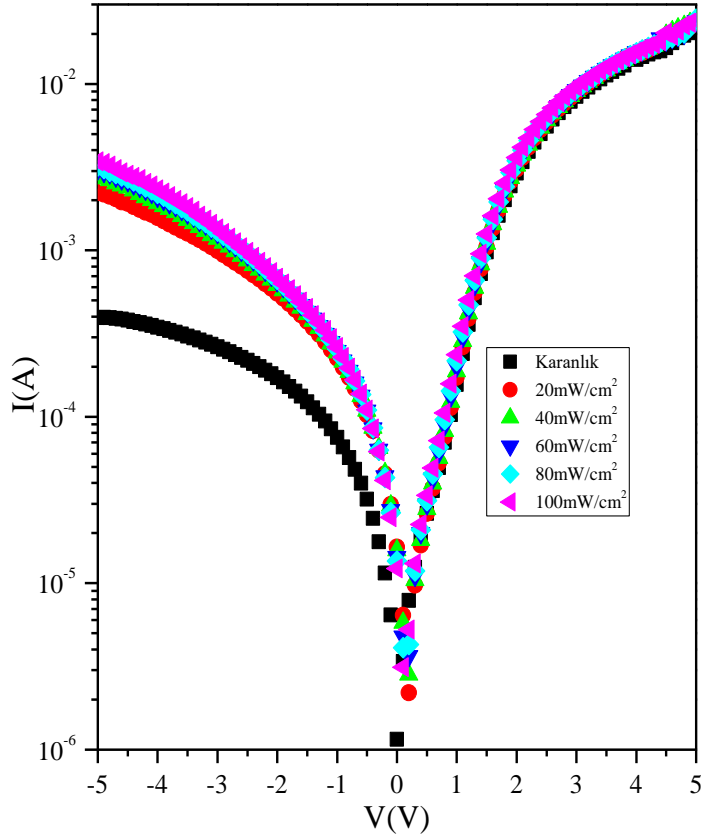
Şekil 4.2 : Katkısız Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri



Şekil 4.3 : %0,2 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri



Şekil 4.4 : % 6 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri



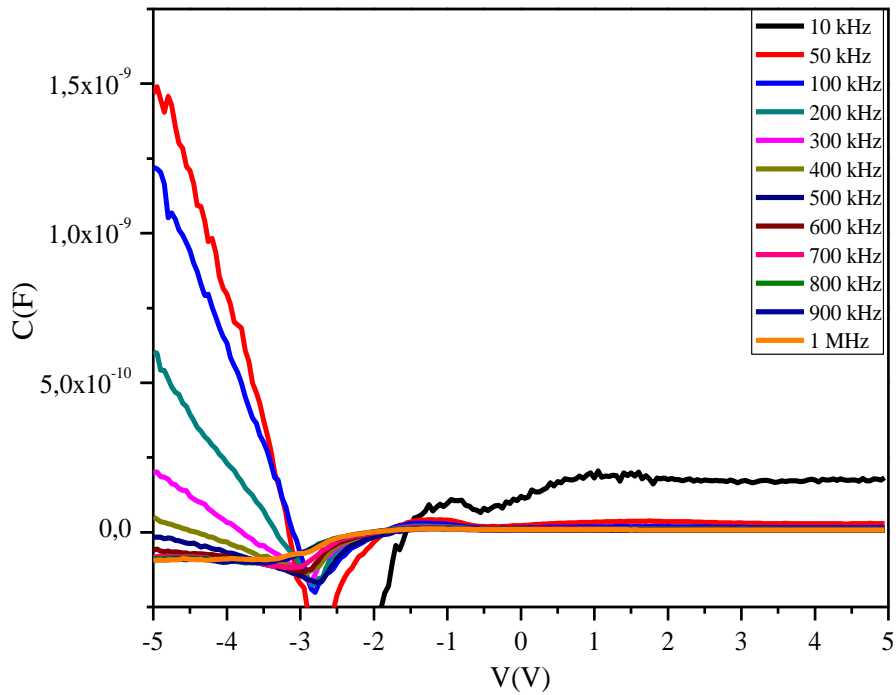
Şekil 4.5 : % 10 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-V eğrileri

4.2.2 Al/Mn: CdO/p-Si/Al Diyotların Foto Kapasitans- Voltaj (C-V)

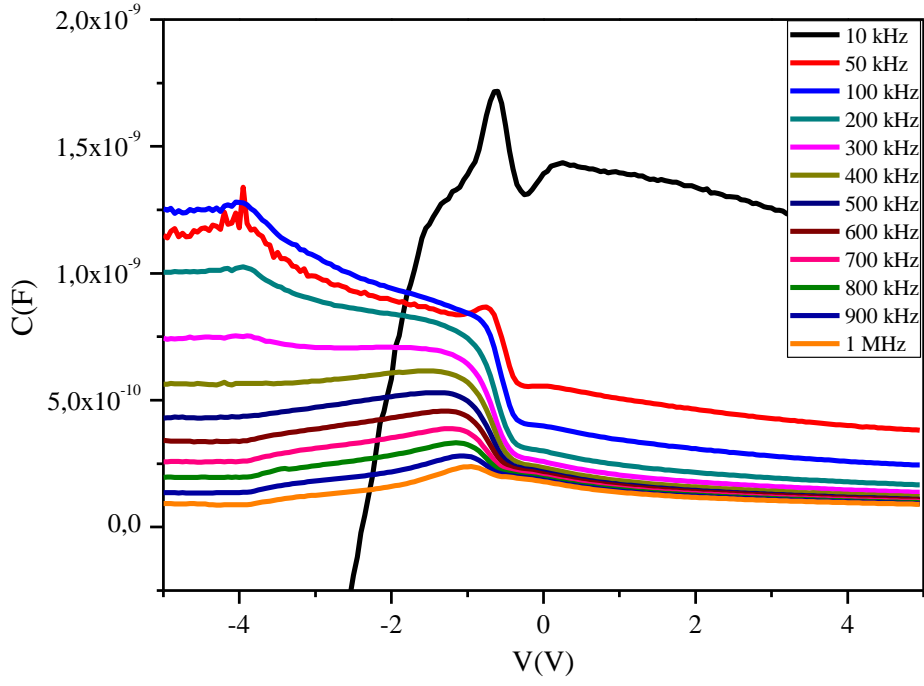
Karakteristikleri

Diyotların Kapasitans-Voltaj özellikleri, 10 kHz-1 MHz arasında ölçülmüş ve Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görüldüğü gibi diyotların pozitif voltaj bölgesinde kapasiteleri değişmezken, negatif voltaj bölgesinde kapasiteleri değişmektedir.

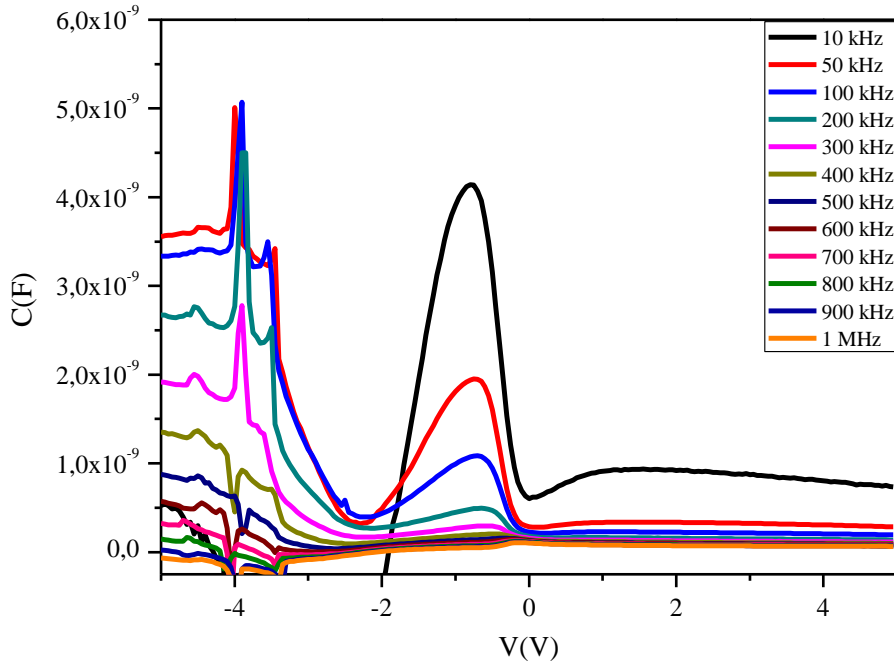
Grafikler incelendiğinde diyotların frekans değeri arttıkça kapasitans değerinin azaldığı görülmektedir. Diyotların özellikle belirli bir eşik voltajı üzerindeyken daha yüksek frekanslarda daha düşük kapasitans değeri gösterdiği anlaşılmaktadır. Artan frekans değeri ile birlikte kapasitif özelliklerinde bir azalma olurken, frekans değerlerinin artmasına bağlı olarak elde edilen kapasitans değerlerinin azalarak birbirine yaklaştığı gözlemlenmektedir. İleri besleme bölgelerinde pozitif voltaj değerlerinde belirli pikler göze çarpmaktadır. Katkılama oranının piklerin başlangıç ve tepe noktasını değiştirdiği görülmektedir. Mn katkısı arttıkça gözlenen piklerin $V=0V$ değerine yaklaştığı gözlemlenmektedir.



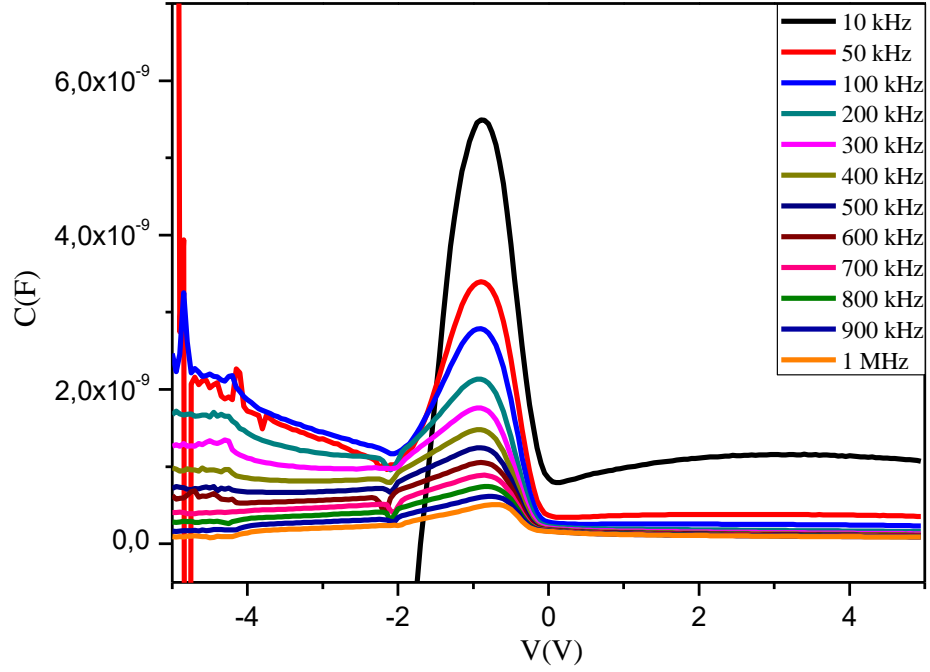
Şekil 4.6 : Katkısız Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği



Şekil 4.7 : % 0,2 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği



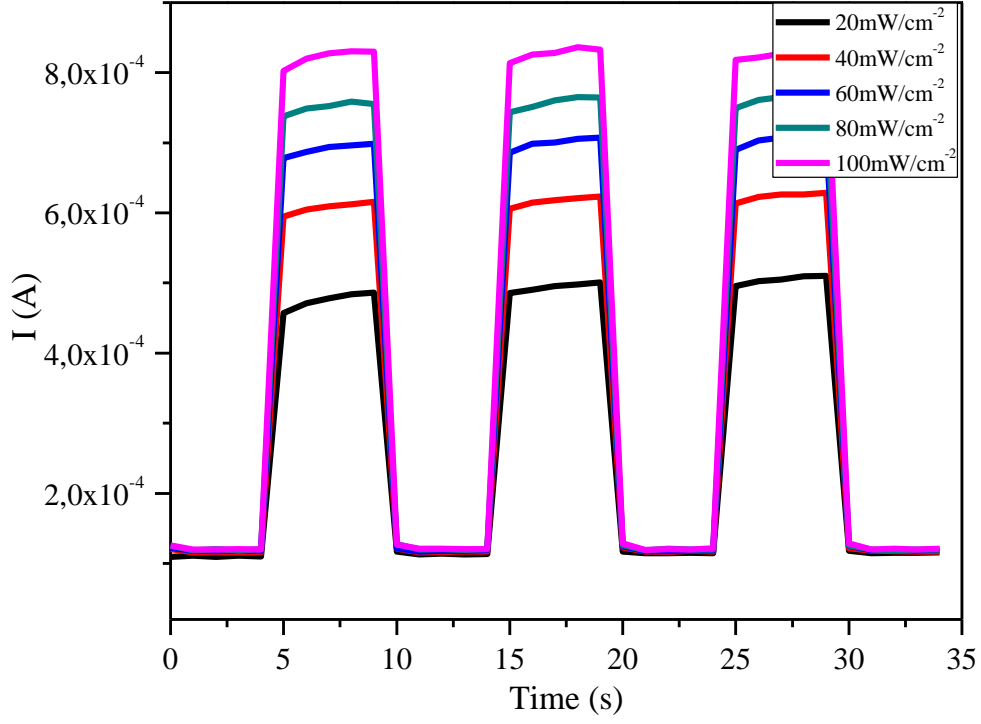
Şekil 4.8 : % 6 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği



Şekil 4.9 : % 10 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların C-V grafiği

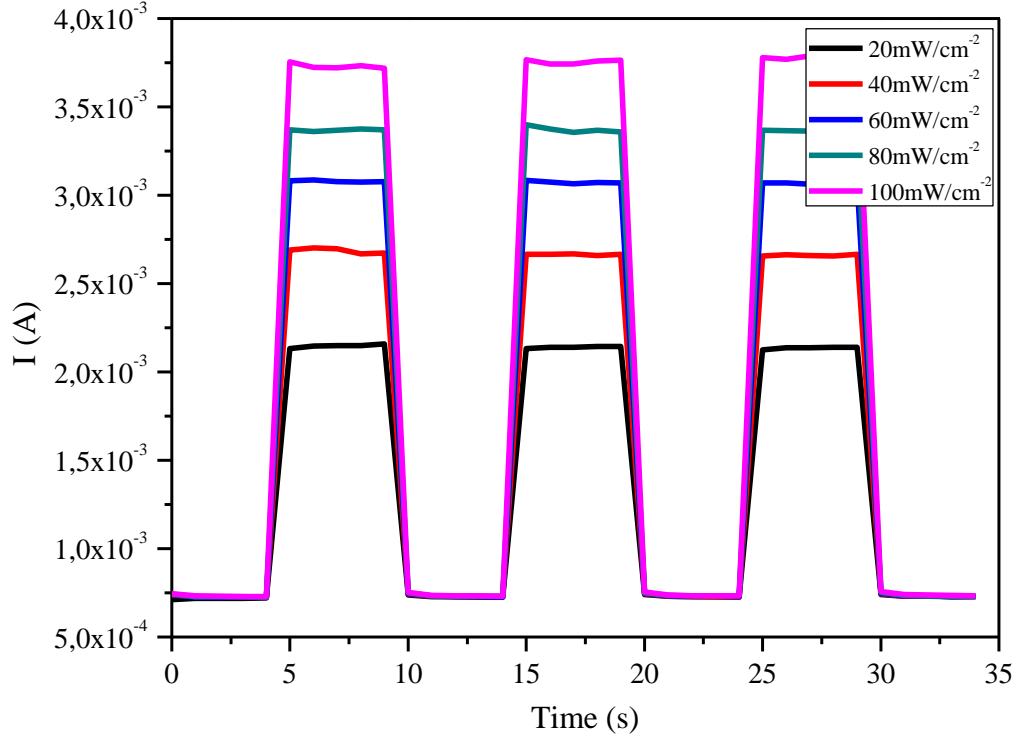
4.2.3 Al/Mn:CdO/p-Si/Al Diyotların Foto Akım-Zaman (I-t) Karakteristikleri

Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotlarının I-t grafikleri Şekil 4.10 ile Şekil 4.13 arasında verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, güneş ışığı altında diyot fotoakımı artan ışık şiddeti ile artmakta ve ışık yok iken ilk değerine geri dönmektedir. Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-t grafiklerine göre, 5'er saniye aralıklarla açma-kapama yapılan diyotların, fotoakımı aydınlatma altında artar ve sabit bir değere ulaşır. Işık ilk kapatıldığı andan itibaren ise azalır ve akım ilk değerine ulaşır. Elde edilen sonuçlar diyotların fotoakım mekanizması, ara yüzey bölgesinde oluşan foto taşıyıcılarından kaynaklandığını göstermektedir [95].



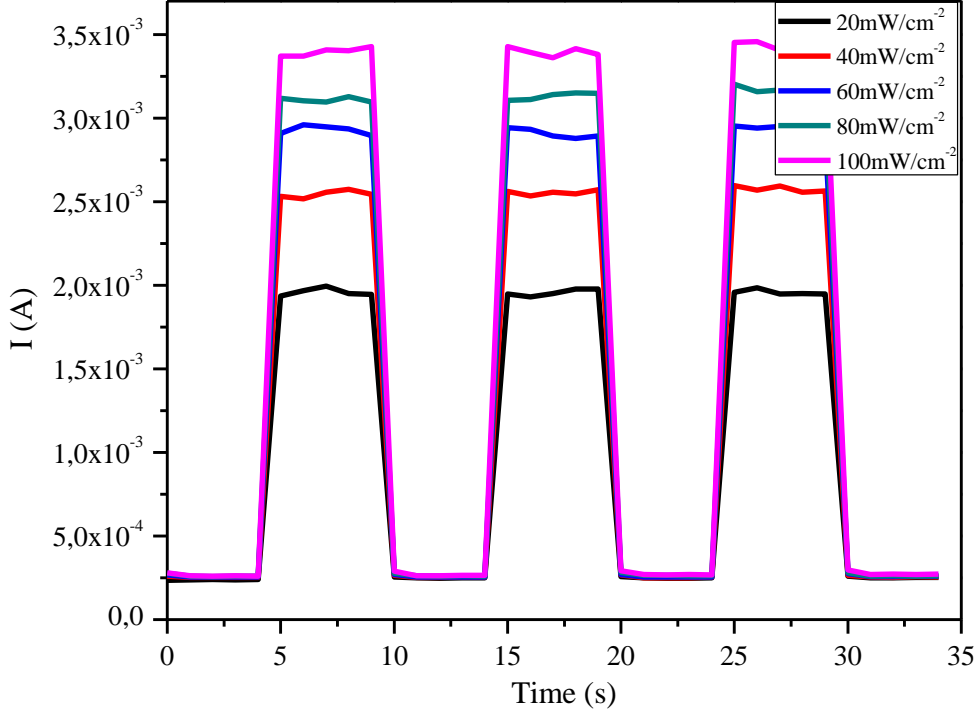
Şekil 4.10 : Katkısız Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri

Şekil 4.10'da diyotun 100 mW/cm² aydınlatma şiddeti altındaki $I_{açma} / I_{kapama}$ oranı 6.53 olarak bulunurken 80 mW/cm²'de 6.25, 60 mW/cm²'de 5.66, 30 mW/cm²'de 5.19, 10 mW/cm²'de ise 4.21 olarak bulunmuştur.



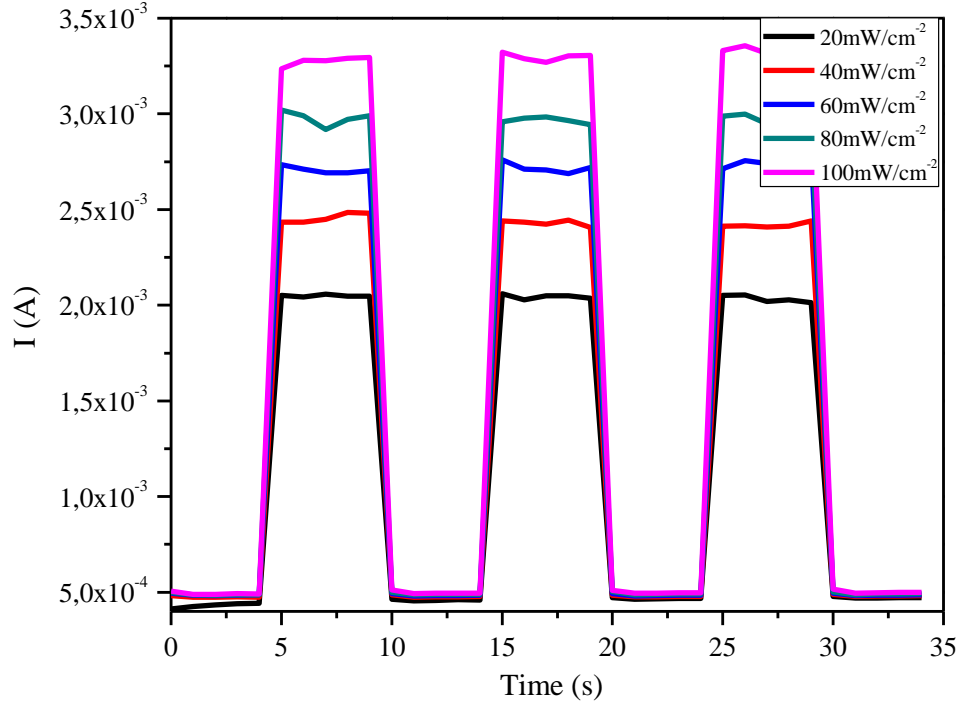
Şekil 4.11 : % 0,2 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri

Şekil 4.11’de diyotun 100 mW/cm² aydınlatma şiddeti altındaki $I_{açma} / I_{kapama}$ oranı 5.78 olarak bulunurken 80 mW/cm²’de 5.36, 60 mW/cm²’de 4.88, 30 mW/cm²’de 4.28, 10 mW/cm²’de ise 3.47 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.12 : % 6 Mn katkılı Al/Mn: CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri

Şekil 4.12’de diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{açma} / I_{kapama}$ oranı 20,11 olarak bulunurken 80 mW/cm^2 ’de 18.47, 60 mW/cm^2 ’de 18.03, 30 mW/cm^2 ’de 14.88, 10 mW/cm^2 ’de ise 11.77 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.13 : % 10 Mn katkılı Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların I-t eğrileri

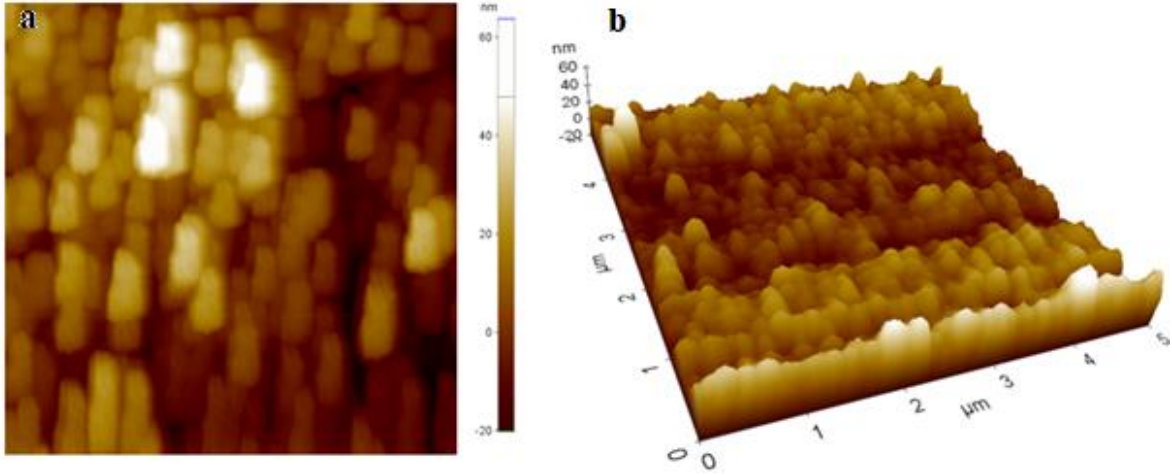
Şekil 4.13’de diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{açma} / I_{kapama}$ oranı 6.62 olarak bulunurken 80 mW/cm^2 ’de 6.11, 60 mW/cm^2 ’de 5.98, 30 mW/cm^2 ’de 5.89, 10 mW/cm^2 ’de ise 5.11 olarak bulunmuştur.

	KATKISIZ CdO	%0,2 Mn KATKILI CdO	%6 Mn KATKILI CdO	%10 Mn KATKILI CdO
AYDINLATMA ŞİDDETİ	$I_{açma} / I_{kapama}$	$I_{açma} / I_{kapama}$	$I_{açma} / I_{kapama}$	$I_{açma} / I_{kapama}$
100 mW/cm^2	6,53	5,78	20,11	6,62
80 mW/cm^2	6,25	5,36	18,47	6,11
60 mW/cm^2	5,6	4,88	18,03	5,98
30 mW/cm^2	5,19	4,28	14,88	5,89
10 mW/cm^2	4,21	3,47	11,47	5,11

Çizelge 4.2 : Al/Mn:CdO/p-Si/Al diyotların $I_{açma} / I_{kapama}$ oranları

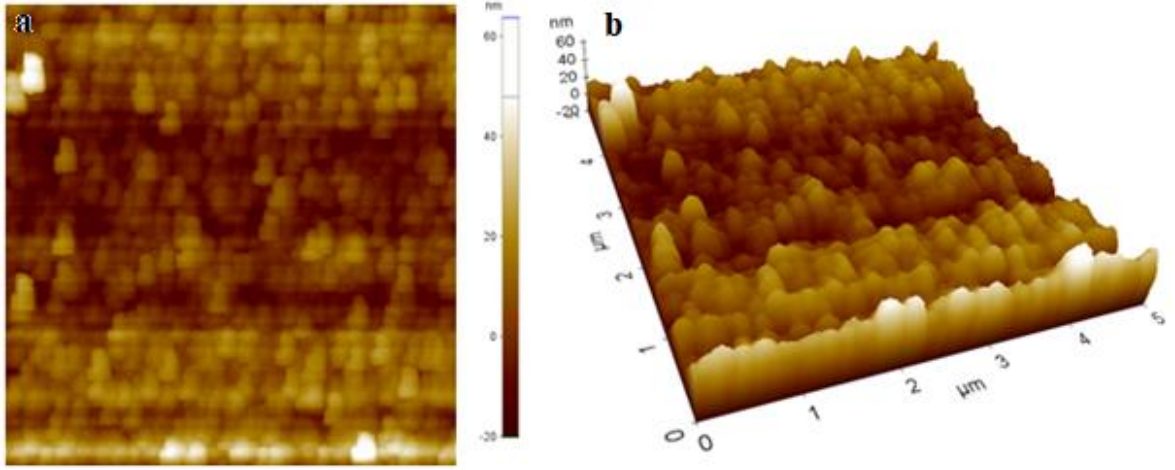
4.3. Katkısız CdO ve Mn Katkılı CdO İnce Filmlerin Yüzey Analiz Sonuçları

İnce film numune yüzeylerinden görüntü almak için temassız modda çalışılmış ve buna uygun AFM ucu kullanılmıştır. Hazırlanan ince film numunelerin $5 \times 5 \mu\text{m}$ boyutlarında görüntüleri alınmıştır. AFM yardımıyla ölçülen numunelerin yapısal özelliklerine ait yüzey topografyasını gösteren 2 ve 3 boyutlu resimler Şekil 4.14 ile Şekil 4.17 arasında verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince film numuneleri granüler yapıdadır.



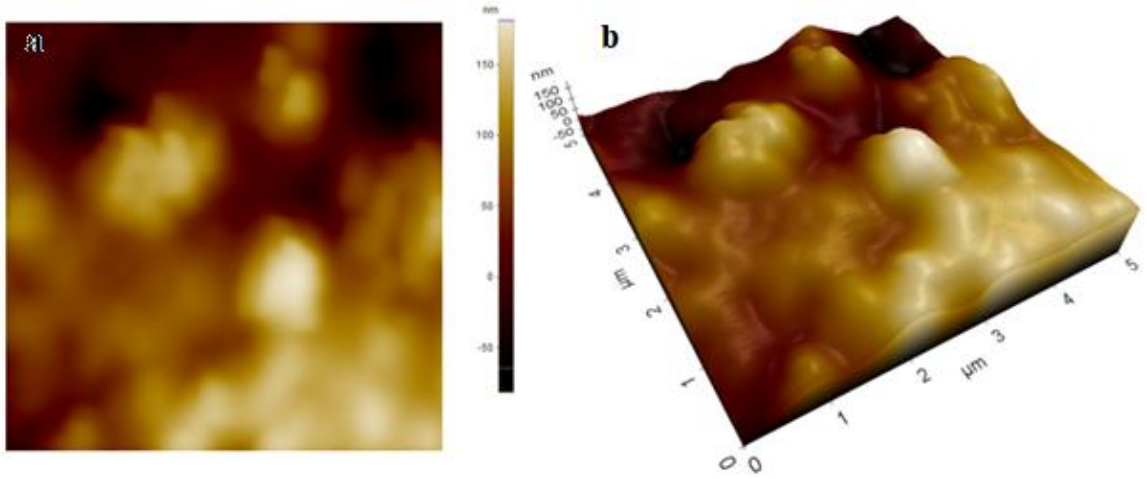
Şekil 4.14 : Katkısız CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri

Katkısız numuneye ait 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri Şekil 4.14'de gösterilmiştir. AFM görüntülerinden granüler yapıdaki ince filmlerin, altlık üzerinde homojen bir şekilde depolandığı görülmektedir. Bu granülerin katmanlar halinde yüzeyi kapladığı ve bu katmanların ortalama 33,4 nm yükseklikte olduğu belirlenmiştir. Granüllerin 2 boyutta pul gibi altlık yüzeyi üzerinde yayılım gösterdiği ve pulların ortalama genişliklerinin 350-450 nm arasında, uzunluklarının ise 750-950 nm arasında değiştiği hesaplanmıştır.



Şekil 4.15 : % 0,2 Mn katkılı CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri

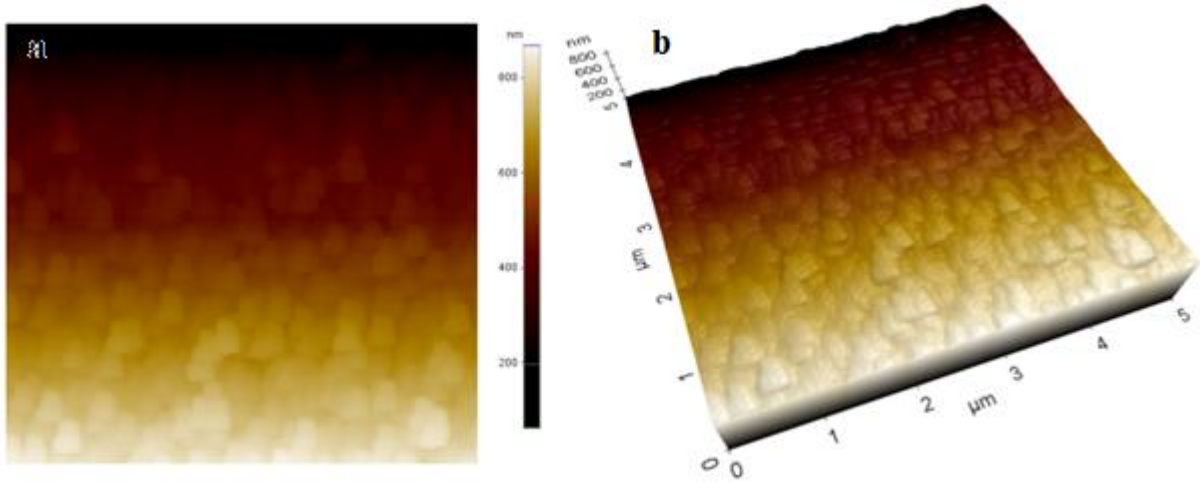
% 0,2 Mn katkılı numuneye ait 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri Şekil 4.15’de gösterilmiştir. % 0,2 Mn katkılı CdO filmler yine katkısız CdO numunesinde olduğu gibi pul şeklinde yüzeyi kaplamışlardır. % 0,2 Mn katkılması ile birlikte pul şeklindeki katmanların ortalama kalınlıklarının 10,8 nm olduğu gözlenmiştir. Pul şeklindeki yapıların genişliğinin 200 nm olduğu, uzunluklarının ise ortalama 135 nm olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.16 : % 6 Mn katkılı CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri

% 6 Mn katkılı numuneye ait 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri Şekil 4.16’de gösterilmiştir. % 6 Mn katkılması yapılan numunede pul şeklindeki yapıların büyüüp yuvarlaklaşarak çekirdek gibi yapılar oluşturduğu görülmektedir. Katmanlı homojen şekilde yüzeyi kaplayan pul şeklinde yapıların toplanarak yüzeye rasgele dağılmış münferit yapılar oluşturduğu söylenebilir. Pul şeklinde yapıların

habbeleşmesi ile oluşan bu yeni yapıların kalınlıklarında ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama kalınlıklarının yaklaşık 10-30 nm den 150-180 nm'ye çıktığı ölçülmüştür. Ayrıca 100-200 nm civarında olan genişliklerinin 500-600 nm'ye, uzunluklarının ise 800-900 nm'ye kadar arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.17 : % 10 Mn katkılı CdO ince filmlere ait (a) 2 boyutlu (b) 3 boyutlu AFM görüntüleri

% 10 Mn katkılı numuneye ait 2 ve 3 boyutlu AFM görüntüleri Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Mn katkısının %10 seviyesine çıkartılması ile ince filmlerinin yüzeyinin tekrar homojen şekilde yayılmış pul desenine döndüğü görülmektedir. Pul şeklinde desenlerin homojen bir şekilde katmanlı yapıda olduğu yer yer katmanlar arasında kat farklarının oluştuğu söylenebilir. Pulların genişliğinin 280-300 nm arasında, uzunluklarının 500-600 nm arasında değiştiği kalınlıklarının ise ortalama 41 nm olduğu hesaplanmıştır.

NUMUNELER	KALINLIK	GENİŞLİK	UZUNLUK
Katkısız CdO	33,4 nm	350-450 nm	750-950 nm
%0,2 Mn katkılı CdO	10,8 nm	200 nm	135 nm
%6 Mn katkılı CdO	150-180 nm	500-600 nm	800-900 nm
%10 Mn katkılı CdO	41 nm	280-300 nm	500-600 nm

Çizelge 4.3 : Katkısız CdO ve Mn katkılı Cdo ince film yüzeylerinde ki pul desenlerinin kalınlık, genişlik ve uzunluk tablosu

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Katkısız CdO ve % 0,2 at., % 6 at. ve % 10 at. Mn katkılı CdO ince filmler ve diyotlar, sol-jel metodu ile elde edilen çözeltiler kullanılarak mikroskop camı ve p-tipi Silisyum altlıklar üzerine döndürme kaplama tekniği ile büyütülmüştür. Elde edilen numunelerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerine Mn katkısının etkisi araştırılmıştır.

CdO esaslı ince filmlerin yapısal özelliklerini incelemek için 5x5 µm boyutlarında alınan AFM görüntülerinde numunelerin granüler yapıda olduğu, altlık üzerine homojen bir şekilde depolandığı ve katmanlar halinde yüzeyi kapladığı görülmüştür. Bu katmanların kalınlıklarının katkısız CdO için 33,4 nm, % 0,2 at. Mn katkılı CdO için 10,8 nm, % 6 at. Mn katkılı CdO için 150-180 nm ve % 10 at. Mn katkılı CdO için ise 41nm olduğu hesaplanmıştır.

p-Si altlık üzerine kaplanan diyotların elektriksel özelliklerinin incelenmesi amacıyla Akım-Voltaj (I-V), Kapasitans- Voltaj (C-V) ve Akım-Zaman (I-t) karakterizasyonları oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

(I-V) ölçümleri farklı ışık şiddetleri altındaki aydınlatmalarda -5 ile +5 V gerilim uygulanarak yapılmıştır. Numunelerin karanlıkta yapılan ölçümlerinde alınan veriler ile akım-voltaj karakteristik grafikleri çizilmiştir. Numunelerin negatif denetleme bölgesinde frekansın artışıyla akımında arttığı, pozitif denetleme bölgesinde ise frekans değişiminin akım üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak I-V grafikleri foto diyotların fotoiletken olduğunu göstermektedir.

(C-V) ölçümleri farklı frekanslarda -4 ile +4 V gerilim uygulanarak yapılmıştır. Numunelerin farklı frekanslardaki kapasitans- voltaj grafikleri çizilmiştir. Numuneler, ileri beslemede üssel şekilde artış göstermekte ancak geri beslemede zayıf voltaj bağımlılığı göstermektedir. Bu durum diyotun doğrultma özelliği gösterebileceğine işaret edebilmektedir. Benzer şekilde C-V grafiklerinde katkılama oranının piklerin başlangıç ve tepe noktasını değiştirdiği, Mn katkısı arttıkça gözlenen piklerin V=0 V değerine yaklaştığı gözlemlenmektedir.

Numunelerin I-t grafiklerinden farklı aydınlatmalarda oluşan akımın, ani artış gösterip sonra sabit bir değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Diyotların akımı karanlıkta ve farklı aydınlatmalarda ölçülerek $I_{açma}/I_{kapama}$ oranları belirlenmiştir. Numunelerin hepsinde

de en büyük artış 100 mW/cm^2 'lik aydınlatmada olmuştur. En büyük $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ oranı % 6 at. Mn katkılı CdO diyotunda 20,11 olarak ölçülmüştür.

Katkısız CdO ve Mn katkılı CdO ince filmlerin optiksel özellikleri UV-vis spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür. Numunelerin yasak enerji aralığı, yansıma spektrumlarındaki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda numunelerin yasak bant aralıklarının katılama oranıyla değiştiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Trivedi, S.B., Wang, C-C., Kutcher, S., Hommerich, U., Palosz, W., 2008, Crystal growth technology of binary and ternary II–VI semiconductors for photonic applications, *Journal of Crystal Growth*, 310, 1099-1106.
- [2] Coşkun B., 2013, sıçratma tekniği ile büyütülen zirkonyum dioksit ince filmlerin mikro yapılarının incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Enstitüsü, Elazığ
- [3] Holmberg K., and Matthews A., 1994, *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*, Tribology Series; 56, Elsevier Science and Teknology Books, Oxford, UK
- [4] Krishnakumar, V., Ramamurthi, K., Kumaravel, R., Santhakumar, K., 2009. Preparation of Cadmium Stannate Films by Spray Pyrolysis Technique. *Current Applied Physics*, 9, 467-471.
- [5] Wang, Z.L. and Kang, Z.C., 1998. *Functional and Smart Materials-Structural Evolution and Structure Analysis*. Plenum Press, New York.
- [6] Ashrafi, A.B.M.A., Kumano, H., Suemune, I., Ok, Y. W. and Seong, T.Y., 2002. CdO Epitaxial Layers Grown on (001) GaAs Surfaces by Metalorganic Molecular Beam Epitaxy. *Journal of Crystal Growth*, 237-239, 518-522.
- [7] Carballeda-Galicia, D.M., Castanedo-Perez, R., Jimenezsandoval, O., Torres-Delgado, G., and Zuniga-Romero, C.I., 2000. High Transmittance CdO Thin Films Obtained by the Sol-Gel Method. *Thin Solid Films*, 371, 105-108.
- [8] Santos-Cruz, J., Torres-Delgado, G., Castanedo-Perez, R., Jimenez-Sandoval, S., Jimenez-Sandoval, O., Zunigaromero, C. I., Marquez Marin, J., Zelaya-Angel, O., 2005. Dependence of Electrical and Optical Properties of Sol-Gel Prepared Undoped Cadmium Oxide Thin Films on Annealing Temperature. *Thin Solid Films*, 493, 83-87.
- [9] Leon-Gutierrez, L.R., Cayente-Romero, J.J., Peza-Tapia, J.M., Barrera-Calva, E., Martinez-Flores, J.C., Ortegaloopez, M., 2006. Some Physical Properties of Sn- Doped CdO Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition. *Materials Letters*, 60, 3866-3870.
- [10] Ismail, R.A., Abdulrazaq, O.A., 2007. A New Route for Fabricating CdO/c-Si Heterojunction Solar Cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91, 903-907.
- [11] Köse, S., Atay, F., Bilgin, V., Akyüz, I., 2009. In doped CdO films: Electrical, Optical, Structural and Surface Properties. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 5260-5266.
- [12] Dakhel, A.A., 2010. Effect of Tellurium Doping on the Structural, Optical, And Electrical Properties of CdO. *Solar Energy*, 84 (8), 1433-1438.
- [13] Gupta, R.K., K Ghosh, K., Patel, R., P K Kahol., 2011. Low Temperature Processed Highly Conducting, Transparent and Wide Bandgap Gd Doped CdO Thin Films for Transparent Electronics. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(10), 4146–4149.
- [14] Gupta, R.K., Şerbetçi, Z., Yakuphanoğlu, F., 2012. Bandgap Variation in Size Controlled Nanostructured Li–Ni Co-doped CdO Thin Films. *Journal of Alloys and Compounds*, 515(25), 96–100.

- [15] Sankarasubramanian K., Soundarrajan P., Logu T., Kiruthika S., Sethuramana K., Ramesh B. R., Ramamurthi K., (2014), Influence of Mn doping on structural, optical and electrical properties of CdO thin films prepared by cost effective spray pyrolysis method, *Materials Science in Semiconductor processing*, 26,346-353.
- [16] Zayed A.A., Albrithen H. A., Ahmed A.A. G., Yakuphanoglu F., (2015), Optical band gap controlling of nanostructure Mn doped CdO thin films prepared by sol-gel spin coating method, *Optik*, 126, 5, 575-577.
- [17] Turgut G., Tatar D., (2017), Investigation of physical, electrical and optical properties of sol-gel deposited Sc-loaded CdO films, *Optik*, 145, 292-303.
- [18] Aydin R., Cavusoglu H., Sahin B., (2019), Transition metal Mn/Cu co-doped CdO transparent conductive films: Effect on structural, morphological and optical characteristics, *Journal of Alloys and Compounds*, 523-530.
- [19] Asar, T., Sarıkavak, B., Öztürk, M. K., Mammadov, T., Özçelik, S., “Effects of annealing on the structural properties of GaAs-based quantum well solar cells”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 11 (11): 1627–1631 (2009).
- [20] Yakuphanoglu, F., 2009. Organik Yarıiletkenler Fizigi, ders notları, Fırat Üniv. Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Elazığ.
- [21] Bilgen, Y., 2008. Sol-gel yöntemi ile üretilen nano kristal ZnO:Ga ince filmlerinin optik ve mikro yapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [22] Eren, O., 2006. Alüminyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [23] Omar, M.A. (1975), *Elementary Solid State Physics*, Addison-Wesley Publishing Company Inc, Menlo Park, California.
- [24] Besler, B., 2007. Elektrokimyasal büyüme ile üretilen ZnO'nun katodik potansiyel değişimine bağlı olarak kristalografik ve optik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [25] Borazan, H., 2007. Yarıiletkenlerde kinetik olayların deneysel araştırma yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [26] Aksoy, S., 2006. Kalay katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [27] Demirci, B., 2006. İndiyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [28] Sarı, H., 2008. Yarıiletken Fizigi: Elektronik ve optik özellikler, ders notları, Ankara Üniv. Fizik Mühendisliği, Ankara.
- [29] Cafer, T., 2000. Katıhal Elektroniği. Yıldıztenik Üniversitesi Basım-Yayım Merkezi, 234 s, İstanbul
- [30] Guseinov, I.I., ve Mamedov, B.A., B., 2009. Unified Treatment for Accurate and Fast Evaluation of the Fermi-Dirac Function. *Chin.Phys.B.*, 19 (5), 1-6.
- [31] Sze, S. M. (1981), *Semiconductor Devices*, John Wiley & Sons, New York, USA.
- [32] Oral, M. (1979), *Güneş Pilleri*, Ege Üniversitesi Yayınları, İzmir.
- [33] Dikici, M., 1993. Katıhal Fizigine Giriş, Samsun.

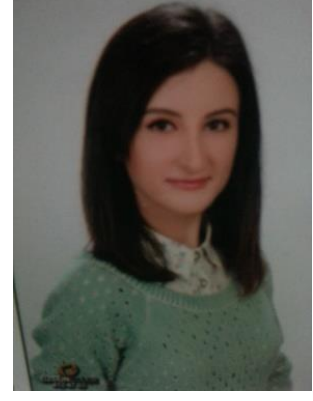
- [34] Tobias Winchen, Stijn Buitink., “ Energy spectrum of fast second order Fermi accelerators as sources of ultra-high-energy cosmic rays””. *Astroparticle Physics* Volume 102, November 2018, Pages 25-31.
- [35] Tosun, H., 2008. Ultrasonik spray pyrolysis yöntemiyle elde edilen CdO yarıiletken materyalinin flor katkısına bağlı olarak yapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Ün.v. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskisehir.
- [36] Heemin Kang, Kunyu Zhang, Dexter Siu Hong Wong, Fengxuan Han, Bin Li, Liming Bian., “Near-infrared light-controlled regulation of intracellular calcium to modulate macrophage polarization””. *Biomaterials* Volume 178, September 2018, Pages 681-696.
- [37] Konstantin Shcherbin, Igor Gvozдовskyy, Dean R. Evans., “ Liquid crystal light valve with a semiconductor substrate for dynamic holography in the infrared””. *Journal of Molecular Liquids* Volume 267, 1 October 2018, Pages 61-66.
- [38] Mehmet, Şeftalici., 2010. Al_{0.47}Ga_{0.53}n Schottky Fotodedektör Yapının Optik ve Morfolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Ankara.
- [39] Wilson, J., Havkes, J. F. B., “Optoelektronik”, Çeviri: Dr. Ğbrahim Okur, Deĝiĝim yayınları, Adapazarı, 282-325 (2000).
- [40] Kartal, D., “Kuantum kuyulu kızılötesi fotodedektörler (QWIP)”, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (2006).
- [41] Anderson, B. L., Anderson R. L., “Fundamentals of semiconductor devices” Mc Graw Hill, New York, 675-676 (2005).
- [42] Cao, X. A., Syed, A. A., Piao, H., “Ğnvestigation of the electronic properties of nitrogen vacancies in AlGaN”, *Journal of Applied Physics*, 105: 063707 (2009).
- [43] Ruiting Hao, Yang Ren, Sijia Liu, Jie Guo, Guowei Wang, Yingqiang Xu, Zhichuan Niu., “Fabrication and characterization of high lattice matched InAs/InAsSb superlattice infrared photodetector. *Journal of Crystal Growth* 470 (2017) 33–36.
- [44] D. Kufer, I. Nikitskiy, T. Lasanta, G. Navickaite, F.H.L. Koppens, G. Konstantatos., “Hybrid 2D-0D MoS₂ -PbS quantum dot photodetectors””. *Adv. Mater.* 26 (2014) 176–180.
- [45] Heemin Kang, Kunyu Zhang, Dexter Siu Hong Wong, Fengxuan Han, Bin Li, Liming Bian., “Near-infrared light-controlled regulation of intracellular calcium to modulate macrophage polarization””. *Biomaterials* Volume 178, September 2018, Pages 681-696.
- [46] A. Aissat, M.El Besseghi, D.Decoster., “ Optimization of photoswitch constituted of a coplanar line introducing an interdigitated MSM photodetector””. *Superlattices and Microstructures* Volume 72, August 2014, Pages 245-252
- [47] Rogalski, A., “Infrared Detectors”, Second Edition, CRC Press, 87-641 (2011).
- [48] Pengpeng Zhao, Shaohui Cui., “ An improved weak light detector used for infrared Imaging guidance system””. *Optik* .Volume 127, Issue 4, February 2016, Pages 23162318.

- [49] Sung-Ho Park, Joondong Kim., “ The properties of transparent TiO₂ films for Schottky photodetector””. Data in Brief Volume 13, August 2017, Pages 171-174
- [50] Ramakrishna Redy, K.T., Shanthini, G.M., Johnston, D. and Miles, R.W., 2003. Highly Transparent and Conducting CdO Films Grown by Chemical Spray Pyrolysis. *Thin Solid Films*, 427, 397-400.
- [51] Rusu, R.S and Rusu, G.I., 2005. On the Electrical and Optical Characteristics of CdO Thin Films. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 7 (3), 1511-1516.
- [52] Lokhande, B.J. and Uplane, M.D., 2001. Effect of Deposition Temperature on Spray Deposited Cadmium Oxide Films. *Materials Research Bulletin*, 36, 439-447.
- [53] Karataş, S., Yakuphanoglu, F. ve Amanullah, FM., 2012. Capacitance-Voltage and Conductance-Voltage Characteristics of Ag/n-CdO/p-Si MIS Structure Prepared by Sol-Gel Method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 73(1), 46-51.
- [54] Subramanyam K. T., Uthanna S. and Naidu B.S. 1998. Influence Oxygen Pressure on the Structural and Optical Properties of DC Magnetron Reactive Sputtered Cadmium Oxide Films. *Physica Scripta*, 57, 317-320.
- [55] Ismail, R.A., Abdulrazaq, O.A., 2007. A New Route for Fabricating CdO/c-Si Heterojunction Solar Cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91, 903-907.
- [56] Yakuphanoglu, F., 2010. Nanocluster n-CdO Thin Film by Sol-Gel for Solar Cell Applications. *Applied Surface Science*, 257(5), 1413-1419.
- [57] Yakuphanoglu, F., 2011. Synthesis and Electro-Optic Properties of Nanosized-Boron Doped Cadmium Oxide Thin Films for Solar Cell Applications. *Solar Energy*, 85(11), 2704-2709.
- [58] Han, N., Wu, XF., Zhang, DW., Shen, GL., Liu, HD. ve Chen, YF., 2011. CdO Activated Sn-doped ZnO for Highly Sensitive, Selective and Stable Formaldehyde Sensor. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 152(2), 324-329
- [59] Ferro, R., Rodriguez, JA., Vigil, O. ve Vidal, J., 1999. Deposition and Characterization of CdO Thin Films Suitable for Gas Sensor. *Quimica Analitica*, 18(1), 65-67.
- [60] Ferro, R., Rodriguez, J.A., Vigil, O., and Morales-Acevedo, A., 2001. Chemical Composition and Electrical Conduction Mechanism for CdO:F Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis. *Materials Science and Engineering*, B87, 83-86.
- [61] Li, X., Gessert, T., Dehart, C., Barnes, T., Moutinho, H., Yan, Y., Young, D., Young, M., Perkins, J. and Coutts, T, 2001. A Comparison of Composite Transparent Conducting Oxides Based on the Binary Compounds CdO and SnO₂. Conference Paper, To Be Presented at the NCPV Program Review Meeting Lakewood, Colorado.
- [62] Liu, Z-Q., Guo, R., Li, G-R., Bu, Q., Zhao, W-X., Tong, Y-X., 2012, Facile electrodeposition of large-area CdO and Cd_{1-x}CoxO curved nanowires, *Electrochimica Acta* 59, 449-454.
- [63] Dakhel, A. A., 2009, Influence of dysprosium doping on the electrical and optical properties of CdO thin films, *Solar Energy*, 83, 934–939.
- [64] Ferro, R. and Rodriguez, J.A., 1999, Some physical properties of F-doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis, *Thin Solid Films*, 347, 295-298.

- [65] Eze, F. C., 2005, Oxygen partial pressure dependence of the structural properties of CdO thin films deposited by a modified reactive vacuum evaporation process, *Materials Chemistry and Physics*, 89, 205-210.
- [66] Chu, L. and Chu, S.S., 1990, *J. Electron. Mater.*, 19, 1002.
- [67] Homes, Y. and San, S.E., 2004, CdO/Cu₂O solar cells by chemical deposition *Solar Energy*, 77, 291.
- [68] Li, G-R., Zhao, W-X., Bu, Q., Tong, Y-X., 2009, A novel electrochemical deposition route for the preparation of Zn_{1-x}Cd_xO nanorods with controllable optical properties, *Electrochemistry Communications*, 11, 282-285.
- [69] Singh, T., Pandya, D.K., R. Singh, R., 2011, Annealing studies on the structural and optical properties of electrodeposited CdO thin films, *Materials Chemistry and Physics* 130, 1366-1371.
- [70] Yogeewaran, G., Chenthamarakshan, C.R., Seshadri, A., de Tacconi, N.R., Rajeshwar, K., 2006, Cathodic electrodeposition in the ternary Zn–Cd–O system: mixed (ZnO)_x(CdO)_{1-x} film formation versus Cd-doping of ZnO, *Thin Solid Films*, 515, 2464-2470.
- [71] Daqing Xu, Zhao Z., Zhang Y., Lou Y., Li P., (2019), Influence of valence states and vacancy defects on the magnetic properties of Mn doped InN, *Solid State Communications*, 297, 11-16.
- [72] Balaban, M., 2006. ZrO₂ İnce Filmlerin Elde Edilmesi, Daldırma Kaplama Yöntemi ile Biriktirilmesi ve Karakterizasyonu. (Lisans Bitirme Tezi), İ.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü.
- [73] Ilican, S., Caglar, Y., Caglar, M., Yakuphanoglu, F., 2008. Structural, optical and electrical properties of F-doped ZnO nanorod semiconductor thin films deposited by sol–gel process, *Applied Surface Science*, 255, 2353–2359.
- [74] Aydın, C., 2010. Metal Oksit Katkılı Yarıiletken Malzemelerinin Üretilmesi ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [75] Benramache, S., Benhaoua, B., Chabane, F., Guettaf, A., 2012. A comparative study on the nanocrystalline ZnO thin films prepared by ultrasonic spray and sol–gel method, *Optik*, Article in press.
- [76] Cui, L., Wang, G., YuZhang, H., Sun, R., Kuang, P., Han, J., 2013. Effect of film thickness and annealing temperature on the structural and optical properties of ZnO thin films deposited on sapphire (0001) substrates by sol–gel, *Ceramics International*, 39, 3261–3268.
- [77] Polat, E.G., 2009. Sol-Jel Yöntemi ile Bakır ve Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi, Optik ve Mikroyapısal Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [78] Toplan, N., 2013. Sol-Jel Metoduyla Amorf Malzeme Üretimi, Ders-Ödev Notları (<http://web.sakarya.edu.tr/>), Sakarya Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya.
- [79] Sorar, İ., 2008. Katkılı ve Katkısız Çinko Oksit (ZnO) İnce Filmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [80] Essick, J.M. and Mather, R.T., 1993, Characterization of a bulk semiconductor's band gap via a near-absorption edge optical transmission experiment, Am. J. Phys., 61(7), 646-649.
- [81] Pankove, J.I., 1971, Optical process in semiconductors, Solid State Physical Electronics Series, Prentice-Hall, N.J., 422 p.
- [82] Akyüz, I., 2000, Püskürtme tekniği ile elde edilen $Zn_{1-x}Cd_xS$ filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir
- [83] Smith, R.A., 1959, Semiconductors, Cambridge University Press, New York, 494 p.
- [84] McKelvey, J.P., 1996, Solid state and semiconductor physics, Harper & Row Ltd.,
- [85] Aybek, A.Ş., 1989, X-ışını toz kırınım deseni ile materyal tayini, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 42 S..
- [86] Rojas, F. S., Ojeda, C. B., "Recent development in derivative ultraviolet/visible absorption spectrophotometry:2004-2008", Analytica Chimica Acta, 635:22-44 (2009).
- [87] Diffey, B. L., "Sources and measurement of ultraviolet radiation", Methods, 28:4-13 (2002).
- [88] Turton, R., 2005, Katıların Fiziği, (Çeviren: Yoğurtçu, Y.K.), Aktif Yayınevi, Erzurum, 436 s.
- [89] Mehmet, Çavaş., 2011. Nano Yapılı Metal Oksit Yarıiletkenler Kullanılarak Foto Diyotların Üretilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- [90] Bayram, Gündüz., 2007.Organik Yarıiletken Fotodiyotların Hazırlanması ve Optoelektronik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Elazığ.
- [91] İdris, Kaya., 2010. Metal-yarıiletken schottky diyotların elektriksel karakteristiklerin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi
- [92] Ketenci, E., 2010, CdO:F Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 98 s
- [93] Doğan, M., 2004, 21. Yüzyılın Teknolojisi Nanoteknoloji, Popüler Bilim Dergisi, 128, 32-36.
- [94] Seval H. G., Mustafa B., Öyküm B., Yakuphanoglu F., (2018) The effects of nanoporous Fe₂O₃ synthesized via mechano-thermal process on electrical and optical properties of zinc oxide, Physica B: Condensed Matter 547,120-126
- [95] S. Wageha, Farooq W.A., Tataroğlu A., Dere A., Al-Sehemi A. G., AlGhamdi A. A., Yakuphanoglu F., (2017), A photodiode based on PbS nanocrystallites for

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Selin DUGAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Dörtyol 15.11.1989

E-Posta : selindugan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik
- **Yükseklisans** : 2019, Kırklareli Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Fizik