

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KATKISIZ VE KATKILI CdSe İNCE FİLMLERİNİN
OPTİK VE ELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Duygu TAKANOĞLU**

Anabilim Dalı : Fizik

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Orhan KARABULUT

2011

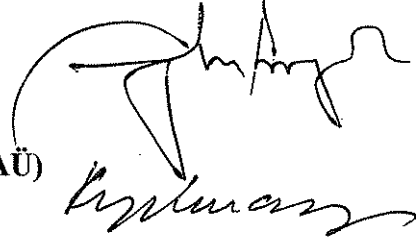
YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 0091401012 nolu öğrencisi Duygu TAKANOĞLU tarafından hazırlanan “Katkısız ve Katkılı CdSe İnce Filimlerinin Optik ve Elektrik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Orhan KARABULUT (PAÜ)




Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ceyhun KARPUZ (PAÜ)
(Jüri Başkanı)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Koray YILMAZ (PAÜ)




Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/08/2011. tarih ve ..2.3.1.17... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Duygu TAKANOĞLU

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım süresince gerek teorik gerek deneysel ortamın hazırlanmasında göstermiş olduğu özverili katkılarından dolayı ve çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, çalışmalarımın her safhasında manevi desteğini esirgemeyen ve bu noktaya gelmemi sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Orhan KARABULUT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında teorik ve deneysel olarak bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Koray YILMAZ ve Dr. Yusuf ÖZCAN'a,

Ayrıca deneysel çalışmalarım süresince teknik bilgisini hiçbir zaman benden esirgemeyen ve teknik sorunlarda yanımda olan Uzman Süleyman Şahin ÇELİK'e,

Çalışmalarım sırasında benden yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Fatih AŞKIN, Deniz GÖLCÜR, Y. Levent ERTOKTAŞ, M. Eray ERGEN, İlyas ÜNAK ve Yunus KAMAÇ'a,

Denizlide bulunduğum süre zarfında beni yalnız bırakmayan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, ev arkadaşım Fatma Emel YAZICI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak ve en önemlisi bütün hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Şevket TAKANOĞLU, annem Serpil TAKANOĞLU ve kardeşim Tolga TAKANOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Siz olmasaydınız bu çalışma da olmazdı...

Temmuz 2011

Duygu TAKANOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 CdSe' nin Yapısı	1
1.2 Önceki Çalışmalar	2
2. TEORİK BİLGİ	5
2.1 İnce Film Teknolojisi	5
2.1.1 Giriş	5
2.1.2 İnce Film Depolama Yöntemleri	6
2.1.3 Termal Buharlaştırma Yöntemi	7
2.2 Yapısal Özellikler	8
2.2.1 X Işını Kırınım Yöntemleri	8
2.3 Elektriksel Karakterizasyon	10
2.3.1 Fermi Dirac Dağılım Fonksiyonu ve Taşıyıcı Konsantrasyonu	10
2.3.2 Elektriksel İletkenlik	12
2.3.3 Hall Olayı	12
2.3.4 Manyeto Direnç	16
2.4 Optik Karakterizasyon	16
2.4.1 Optik Soğurma	16
2.4.1.1 Temel Soğurma Olayı	17
2.4.1.1.a İzinli Doğrudan Geçişler	17
2.4.1.1.b Dolaylı Bant Geçişleri	18
2.4.1.1.c Dolaylı Bantlar Arası Dolaylı Geçişler	19
3. DENEYSEL YÖNTEM	20
3.1 Giriş	20
3.2 Kristal Sentezlenmesi	20
3.2.1 Büyütme Tüplerinin Temizlenmesi	20
3.2.2 Numunelerin Hazırlanması ve Sinterleme	21
3.3 İnce Film Depolama	21
3.3.1 Altaşların Temizlenmesi	21
3.3.2 Termal Buharlaştırma Yöntemi ile İnce Film Depolama	21
3.4 Tavlama İşlemi	23
3.5 Kontak Alma İşlemleri	23
3.6 Elektriksel Karakterizasyon Ölçümleri	24
3.6.1 Sıcaklığa Bağlı Direnç Ölçümleri	24
3.6.2 Hall Ölçümleri	25
3.6.3 Manyeto Direnç Ölçümleri	27
3.7 Optik Ölçümler	28
3.7.1 Optik Soğurma Ölçümleri	28
4. ANALİZ ve YORUMLAR	29
4.1 İnce Film Yapı Analizleri	29
4.2 Sıcaklığa Bağlı Elektriksel İletkenlik	31
4.3 Hall Mobilitesi ve Taşıyıcı Konsantrasyonları	36
4.4 Manyeto Direnç Ölçümleri	38
4.5 Optik Soğurma	40

Sayfa

5.SONUÇLAR	44
KAYNAKLAR	46

KISALTMALAR

Cd	: Kadmiyum
Se	: Selenyum
In	: İndiyum
CdSe	: Kadmiyum selen
SILAR	: Kimyasal banyo yöntemi
eV	: Elektron volt
K	: Kelvin
°C	: Santigrat
Fe	: Demir
XRD	: X ışını kırınımı
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
W	: Tungsten
Mo	: Molibden
Ta	: Tantal
JCPDS	: Joint Committee on Powder Diffraction Standarts
mm	: Milimetre
HNO₃	: Nitrik Asit
g	: Gram
A	: Amper
Å	: Angstrom
s	: Saniye
µm	: Mikrometre
LABVIEW	: Laboratory Virtual Instruments For Engineering Workbench
T	: Tesla
nm	: Nanometre
ZnO	: Çinko oksit
meV	: Mili elektron volt

TABLO LİSTESİ

Tablolar

3.1 : Hazırlanan numunelerin isimlendirilmesi.....	23
4.1 : Üretilen ince filmlerin oda sıcaklığındaki elektriksel parametreleri.	36

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : İnce film depolama yöntemleri	7
2.2 : Yarıiletkenler için Hall etkisi. (a) n-tipi bir yarı iletken için Hall alanı (b) p-tipi bir yarıiletken için Hall alanı	13
2.3 : İzinli geçişler için enerji bant diyagramı	18
2.4 : Dolaylı bantlar arası dolaylı geçişler için enerji bant diyagramı	19
3.1 : Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi	22
3.2 : Van der Pauw ve şerit kontak geometrisinde kontak alınmış ince filmler .	24
3.3 : Elektriksel iletkenlik ölçümlerinin deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.....	24
3.4 : Hall olayının incelendiği deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi	25
3.5 : Direnç ölçümlerinin şematik olarak gösterimi	26
3.6 : V_H için yapılan ölçümlerin şematik olarak gösterimi.....	27
3.7 : Spektrometrenin şematik olarak gösterimi	28
4.1 : Üretilen A0 ve A0_400 filmlerinin XRD sonuçları	29
4.2 : Üretilen A1 ve A1_400 ince filmlerinin XRD sonuçları	31
4.3 : A0 ve A0_400 ince filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	32
4.4 : A1 ve A1_400 ince filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	33
4.5 : A0 ve A1 ince filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	34
4.6 : A0_400 ve A1_400 ince filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi ...	35
4.7 : A1 ince filminin sıcaklığa bağlı olarak Hall mobilitesinin değişimi	37
4.8 : A1 ince filminin taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığa bağlı değişimi.....	38
4.9 : A0 ince filminin manyeto direncinin manyetik alan ile değişimi	39
4.10 : A1 ince filminin manyeto direncinin manyetik alan ile değişimi	39
4.11 : A0 ve A0_400 numunelerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi	40
4.12 : A1 ve A1_400 numunelerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi	41
4.13 : A0 ve A1 ince filmlerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi	42
4.14 : A0_400 ve A1_400 ince filmlerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi	43

SEMBOL LİSTESİ

E	: Enerji
h	: Plank sabiti
c	: Işık hızı
λ	: Dalga boyu
θ	: Örgüye düşen X ışınları ile örgünün yüzeyi arasındaki açı
d	: Kristaldeki atomlar arası mesafe
n	: Yansıma derecesi
$f(E)$: Herhangi bir E enerjili durumda bulunma ihtimali
E_F	: Fermi seviyesi
E_c	: İletim bandının taban enerjisi
N_c	: Etkin durum yoğunluğu
F_E	: Fermi fonksiyonu
m_p	: Deşik kütlesi
m_n	: Elektron kütlesi
n_0	: Elektron konsantrasyonu
p_0	: Deşik konsantrasyonu
σ	: İletkenlik
μ_n	: Elektron mobilitesi
μ_p	: Deşik mobilitesi
\mathbf{B}	: Manyetik alan yoğunluğu
\mathbf{J}	: Akım yoğunluğu
v_x	: Hız bileşeni
R_H	: Hall katsayısı
V_H	: Hall voltajı
θ_H	: Hall açısı
w_c	: Siklotron frekansı
μ_h	: Hall mobilitesi
I	: Akım
α	: Soğurma katsayısı
E_g	: Yasak enerji aralığı

ÖZET

Bu çalışmada II-VI yarıiletken grubuna ait katkısız ve katkılı CdSe ince filmlerinin, yapısal, elektriksel ve optik özellikleri XRD, sıcaklık bağımlı elektriksel iletkenlik, Hall etkisi, manyetik direnç ve soğurma ölçümleri ile belirlenmiştir.

İnce filmler temizlenmiş uygun cam alttaşlar üzerine termal buharlaştırma yöntemi ile büyütülmüşlerdir. Büyütme esnasında sistemin vakumu 10^{-5} torr civarında tutulmuştur. Büyütülen filmler 673 K sıcaklığında 30 dakika tavlama yapılmıştır. CdSe ince filmlerinin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri üzerindeki tavlama ve katkılamanın etkisi araştırılmıştır. X ışını kırınımından, kristalin yapısı ve sitokiyometrisi belirlenmiştir. Filmlerin sitokiyometrik ve hegzagonal olduğu gözlenmiştir.

İletim mekanizmaları, tuzak seviyeleri, iletkenlik tipi, taşıyıcı konsantrasyonları ve mobilitelerini belirlemek için, 10 – 400 K sıcaklık aralığında sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenlik ve Hall ölçümleri yapılmıştır. Tavlama ve In katkısına bağlı olarak saf CdSe ince filmlerinin özdirençlerinde düşüş gözlenmiştir. Katkılı ve katkısız örneklerin iletkenliklerinin sıcaklık ile birlikte değişimi iki farklı aktivasyon enerjisini ortaya koymaktadır. Katkısız ve katkılı ince filmlerin özdirençlerindeki değişim $3,44 \times 10^2 \Omega\text{-cm}$ ile $5,15 \times 10^1 \Omega\text{-cm}$ aralığındadır. Örneklerin aktivasyon enerjileri düşük sıcaklık bölgesinde 4 – 10 meV, yüksek sıcaklık bölgesinde ise 23 – 58 meV aralığında bulunmuştur. Ayrıca filmlerin aktivasyon enerjisi ile özdirençinin tavlama bağımlı olarak azaldığı gözlenmiştir. Hall ölçümlerinden, katkısız ve In katkılı CdSe ince filmlerinin n tipi iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur. Manyeto direnç ölçümlerinde 10 K' nin altında negatif manyeto direnç, 15 K' nin üzerinde pozitif manyeto direnç gözlenmiştir.

Filmlerin yasak enerji aralıkları UV-VIS-IR spektroskopisinde 190-1100 nm dalga boyları arasında incelenmiştir. Tavlama bağımlı olarak saf CdSe filmlerinin yasak enerji aralıklarının 2,25 eV' dan 1,75 eV değerine düştüğü gözlenmiştir. Benzer düşüş In katkılı CdSe filmi için 2,18eV' dan 1,65 eV şeklinde gerçekleşmiştir.

Anahtar kelimeler : Tabakalı Yarıiletkenler, İnce Film, Elektriksel Karakterizasyon, Optik karakterizasyon

ABSTRACT

In this study, the structural, electrical and optical properties of undoped and In doped CdSe thin film belonging to group II-VI semiconductors have been investigated by means of XRD, temperature dependent electrical conductivity, Hall effect, magnetoresistance and absorption measurements.

Thin films have been deposited on suitably cleaned glass substrates by thermal evaporation method. The pressure during evaporation was maintained at 10^{-5} Torr. The 'as-deposited' films are annealed in vacuum at 673 K for 30 min. and the effect of annealing and doping of CdSe thin films on structural, optical and electrical properties have been studied. The crystal structure and stoichiometry were determined from X-ray diffractograms. It was observed that the films were stoichiometric and polycrystalline in nature having hexagonal structure.

In order to determine the conduction mechanisms, trap centers, conduction type, carrier concentration and mobility variations, temperature dependent electrical conductivity and Hall effect measurements have been carried out in the temperature range of 10-400 K. It was observed that both annealing and In doping to the undoped CdSe thin films caused a decrease in resistivity. Variation of conductivity with temperature reveals the presence of two activation energies for both undoped and doped samples. The electrical resistivities of undoped and doped thin films have been measured as $3,44 \times 10^2 \Omega\text{-cm}$ and $5,15 \times 10^1 \Omega\text{-cm}$, respectively. The activation energies of the samples have been found to be 4-10 meV at low temperature region, and 23-58 meV at high temperature region. It was also found that the activation energies and the resistivities of the films decrease with post annealing. Hall measurements showed that both undoped and In doped CdSe thin films exhibits n-type conduction. Magnetoresistance measurements showed negative resistivity below 10 K and positive resistivity above 15 K.

The optical band gaps of these films were determined by UV-VIS-IR spectroscopy in the wavelength range 190-1100 nm. Band gap values were found to be decreasing from about 2.25 eV to 1.75 eV with increase of the annealing temperature for pure CdSe. Similar decrease in band gap values were found to be from about 2.18 eV to 1.65 eV for In doped CdSe films.

Key Words: Layered Semiconductors, Thin Film, Electrical Characterization, Optical Characterization

1.GİRİŞ

Optik ve elektriksel özellikleri açısından iletken ve yalıtkanlara göre farklı özellikler taşıyan yarıiletken malzemeler, endüstrideki kullanım açısından her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Tek ve polikristal halde gruplandırılan yarıiletkenler, Si ve Ge gibi element halinde bulunurken, değişik yöntemlerle ikili, üçlü veya dörtlü bileşikler halinde de elde edilmektedir.

Son yıllarda periyodik cetvelin II-VI yarıiletken grubu bileşiklerinden olan tek kristallerin optik lüminesans ve iletkenlik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu bileşikler geniş bir bant aralığına sahip olup, mor ötesinden kızıl ötesi spektrumuna kadar olan görünür bölgede ışımaya yaparak çok iyi bir lüminesans özelliği gösterdiklerinden dolayı, foto ve katodolüminesans ölçümleri için çok elverişli malzemelerdir. Ayrıca, II-VI yarıiletken grubuna dahil bileşiklerin çoğu oldukça iyi elektriksel iletkenliğe sahip olup, enerji bant aralığında çok miktarda taşıyıcı iyon sürüklenmesine sahiptir [1].

Buna ek olarak, nano kristal yapıya sahip malzemelerin kristal boyutlarının veya film kalınlığının değişmesi ile elektrik ve optik özelliklerinin kontrol edilebilmesi elektronik uygulamalarda yeni alanlar açmaktadır. Bu gruba dahil olan CdSe' da yüksek soğurma katsayısı ve bant yapısı itibari ile enerji dönüşüm uygulamalarında kullanılabilir. Buna ilaveten; yüksek verimli ince film transistör, ışık yayan diyot, gama ışın detektörü, opto elektronik aygıt üretimi, kızıl ötesi optik, ışığa bağımlı direnç uygulamaları, foto elektrokimyasal güneş pilleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılabilir [1].

1.1 CdSe' nin Yapısı

II-VI yarıiletken grubu bileşiği olan kadminyum selen (CdSe) lazer diyotlar, yüksek verimli güneş panelleri, nanosensör ve biyomedikal görüntüleme gibi elektronik ve opto elektronik cihaz yapımında kullanılmaya oldukça elverişli bir yarıiletkendir. Bant kenarında yüksek soğurma katsayısı ile doğrudan bant

geçişine sahip olması, ince film cihazlarda kullanılmasına olanak verir [2]. Bu uygulama alanlarından dolayı son yıllarda üzerinde çokça çalışılan bir malzeme haline gelmiştir. CdSe II-VI yarıiletken bileşiğinin yasak enerji aralığı yaklaşık 1,8 eV civarında olan doğrudan band aralığına, saf olarak n-tipi iletkenliğe sahip bir yarıiletkenidir. Kristal yapısı açısından hegzagonal ve/veya kübik yapıya sahip olabilmektedir [1].

1.2 Önceki Çalışmalar

Çeşitli modern teknolojik cihazların geliştirilmesi için CdSe önemli bir malzeme haline gelmiştir. Son yıllarda cihazların performanslarının geliştirilmesi ve yeni uygulama alanları açısından CdSe' nin optik ve elektriksel özelliklerinin araştırılması büyük ilgi görmüştür [3]. CdSe yüksek soğurma katsayısından dolayı iyi bir fotovoltajik olup, aynı zamanda ışığın verimli bir şekilde soğurularak elektrik enerjisine çevrilmesinde gelecek vaat eden bir malzemedir [4].

CdSe tek kristalleri oda sıcaklığında yüksek potansiyelleri nedeniyle radyasyon detektörlerinde ve doğrusal olmayan optik cihazların üretiminde dikkat çekmiştir [5]. Nano kristal CdSe ise foto-elektro kimyasal hücrelerde foto elektrot olarak kullanılmıştır [6].

CdSe ince filmleri fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri gibi farklı metotlar ile hazırlanarak değişik taşınım ve optik parametrelere sahip malzemeler üretilmiştir. İnce film depolama işlemleri ile bulk yapısına göre elektrik ve optik özellikleri açısından farklılaşan CdSe önemli bir araştırma alanı yaratmıştır.

2002 yılında H.M. Pathan ve arkadaşları SILAR metodu ile CdSe ince filmleri üretmiş ve üretilen filmin yapısını hegzagonal, yasak enerji aralığını 1,80 eV ve elektriksel öz direncini ise $10^4 \Omega\text{-cm}$ olarak bulmuşlardır [7].

2003 yılında C. Baban ve arkadaşları termal buharlaştırma yöntemi ile CdSe ince filmini üreterek tavlama ya bağlı olarak yapısal ve optik özelliklerini incelemişlerdir. Üretilen ince filmlerin hegzagonal yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Filmlerin tavlama öncesi yasak enerji aralıkları 1,75 eV iken tavlama sonrası yasak enerji aralıkları 1,65 eV olarak gözlenmiştir [6].

2004 yılında R.B. Kale ve arkadaşları oda sıcaklığında kimyasal banyo yöntemiyle ürettikleri CdSe ince filminin özelliklerini incelemişlerdir. Tavlanmamış filmlerin yasak enerji aralığını 2,30 eV, elektriksel özdirencini ise $8 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ olarak bulmuşlardır. 673 K de 4 saat tavlama sonrasında ise filmlerin yasak enerji aralığı 1,70 eV, elektriksel özdirencini ise $6,23 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ olarak ölçmüşlerdir [8].

2006 yılında S.A. Mahmoud ve arkadaşları termal buharlaştırma yöntemiyle CdSe ince filmleri üretmişler ve elektriksel özelliklerini tavlamaya bağlı olarak incelemişlerdir. Hall mobilitesinin altta sıcaklığı ile birlikte düştüğünü, kaplama hızı ile arttığını bulmuşlardır. Aynı zamanda tavlamaya bağlı olarak Hall katsayısının ve özdirencin azaldığı, mobilitenin ise arttığı gözlemişlerdir [9].

2007 yılında S.M. Pavar ve arkadaşları kimyasal banyo yöntemi ile saf ve Fe katkılı CdSe ince film üretmişler ve katılamaya bağlı olarak CdSe ince filminin optik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada katılama sonucunda üretilen filmlerin foto duyarlılıklarının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Üretilen ince filmlerin yasak enerji aralığı ise saf malzemeye göre 1,95 eV' den 1,65 eV' ye kadar inmiştir [10].

2008 yılında S. Erat ve arkadaşları kimyasal banyo depolama yöntemi ile CdSe ince filmini üreterek ve nitrojen gaz ortamında farklı sıcaklıklarda tavlama yaparak optik ve elektriksel özellikleri incelemişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda tavlanmamış CdSe ince filminin yasak enerji aralığı 1,93 eV iken tavlama sonrası CdSe ince filmlerin yasak enerjileri 1,70 eV a kadar düşmüştür. Filmlerin oda sıcaklığında özdirenci $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ iken yüksek sıcaklıklarda tavlandıktan sonra özdirençleri $1,8 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ olarak ölçülmüştür. CdSe ince filmlerinin aktivasyon enerjisi düşük sıcaklıklarda 0,19 - 0,26 eV aralığında değişmiş yüksek sıcaklık bölgesinde ise 0,36 – 0,56 eV civarında hesaplamışlardır [11].

2008 yılında D. Patidar ve arkadaşları termal buharlaştırma tekniğini kullanarak CdSe ince filmi üreterek, filmlerin optik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Filmlerin aktivasyon enerjisi 300 – 450 K sıcaklık aralığında 0,34 eV olarak bulunurken, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı 1,65 eV olarak gözlemişlerdir [12].

2008 yılında Ş. M. Huş ve arkadaşları termal ve elektron demeti yöntemlerini kullanarak CdSe ince filmleri hazırlanmış ve farklı depolama yöntemlerine bağlı

olarak filmlerin elektriksel, yapısal ve optik özelliklerini incelemiştir. Yapılan ölçümler sonucunda termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen CdSe ince filmlerinin elektriksel iletkenliklerinin elektron demeti yöntemi ile üretilen filmlere oranla daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [13].

2009 yılında K. Girija ve arkadaşları amonyak banyosu yöntemi ile farklı sıcaklıklarda CdSe ince filmlerini farklı üretmiş ve sıcaklığın, filmin yapısal ve optik özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Yapılan XRD ölçümleri sonucunda filmlerin kübik yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Farklı sıcaklıklarda üretilen filmlerin yasak enerji aralığının depolama işlemi anında sıcaklığa bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. En yüksek sıcaklıkta depolanan ince filmin yasak enerji aralığı 1,52 eV olarak, düşük sıcaklıkta depolanan filmin yasak enerji aralığı ise 2,12 eV olarak bulmuşlardır [14].

2009 yılında K. D. Patel ve arkadaşları termal buharlaştırma yöntemi ile CdSe ince filmleri üretmişler yapısal ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Üretilen ince filmler hegzagonal bir yapıya sahiptir. Filmlerin yasak enerji aralığı 1,72 eV olarak bulmuşlardır [15].

2010 yılında A.S. Khomane ve arkadaşları CdSe ince filmini oda sıcaklığında kimyasal depolama yöntemi ile üretmişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda oluşan ikili yarıiletken ince filminin kübik yapıya sahip olduğu bulunmuş ve ince filmlerde doğrudan bant geçişi gözlenirken yasak enerji aralığını 1,72 eV olarak gözlemişlerdir. Düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon enerjisi 0,125 eV olarak bulunurken yüksek sıcaklık bölgesinde ise aktivasyon enerjisi 0,640 eV olarak bulunmuş olup, oluşan filmlerin n tipi olduğu gözlemişlerdir [6].

2010 yılında M. G. Basheer ve arkadaşları elektron demeti yöntemi ile CdSe ince filmi üreterek, film üretimi sırasında farklı alttaş sıcaklıklarının filmin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üretilen filmler hegzagonal bir yapıya sahiptir. Alttaş sıcaklığı arttıkça filmlerin yasak enerji aralığı 1,92 eV civarından 1,77 eV değerine doğru azalmıştır. Üretilen filmler oda sıcaklığında n tipi bir iletkenliğe sahiptir ve elektriksel özdirençleri alttaş sıcaklığına bağlı olarak $5,7 \times 10^4 \Omega\text{-cm}$ ' den $0,7 \times 10^4 \Omega\text{-cm}$ değerine azalmıştır [16].

2.TEORİK BİLGİ

2.1 İNCE FİLM TEKNOLOJİSİ

2.1.1 GİRİŞ

İnce filmler bir altlığın üzerine bireysel atomların depolanması ile üretilen düşük boyutlu malzemeler olarak tanımlanırken, yoğunlaşmamış maddelerin birebir atom, molekül veya iyon çeşitleri tarafından oluşturulmasıdır. İnce filmlerin kalınlığı genellikle birkaç mikrondan daha azdır.

Tarihsel olarak ince film teknolojisi, yarım yüzyıldan fazla süredir elektronik cihazlar, optik ve sert alet kaplamalarında ve dekoratif parça üretiminde kullanılmaktadır. İnce film teknolojisi aslında köklü bir malzeme teknolojisidir. Ancak bu teknoloji yirmibirinci yüzyılın başından beri yeni ve farklı malzemeleri geliştirilmesine destek olan bir teknolojidir [17]. Günümüzde ince film malzemelerindeki ve gereçlerindeki hızlı değişim yeni işlemlerin, malzemelerin ve teknolojilerin gelişimi için yeni fırsatlar yaratmaktadır. Bu yüzden, çeşitli uygulamalardaki ince film performans ve mikro yapısı ile ilgili temel fiziksel ve kimyasal özelliklerin önceden bilinen özelliklerini geliştirmek ve bu alandaki ilerlemeyi artırmak için birçok deney yapılmış ve model sistemleri geliştirilmiştir. Bu model sistemler, çekirdeklenme ve gelişim işlemleri, katı hal reaksiyonları, ince film sistemleri ve faz sınırlarının ısısal ve mekanik durağanlıkları gibi alanların araştırılmasını içerir. Deneysel ve teorik incelemelerin birleştirilmiş sonuçları, yeni ince film sistemlerinin geliştirilmesi ile mikro yapı ve performanslarının şekillendirilmesinde bir önkoşuldur [18]. İnce film depolama işlemleri ile elde edilen enerji dönüşüm uygulamaları önümüzdeki yüzyılda enerji tüketiminde tasarruf ve çevre açısından uygun bir yol olarak kabul edilebilir.

İnce filmler bir alttaş üzerine termal buharlaştırma, kimyasal ayrıştırma ve kaynak malzemeleri farklı enerjilerde fotonlar ile ışınlayarak buharlaştırma ile depolanabilir. İnce film depolama şu özellikleri sergiler:

1. Herhangi bir depolama tekniği ile oluşacak tüm ince filmler, büyüme ve çekirdeklenme aşamalarını takip eden rastgele bir çekirdeklenme süreci ile oluşmaya başlar.
2. Çekirdeklenme ve büyüme süreçleri; büyüme sıcaklığı, büyüme hızı ve alttaş kimyası gibi farklı depolama şartlarına bağlıdır.
3. Çekirdeklenme aşamasını elektron veya iyon bombardımanı gibi dış etkiler önemli ölçüde değiştirebilir.
4. Filmlerin mikro yapısı çekirdeklenme aşamasındaki depolama koşullarına bağlı olarak oluşan ilgili kusur yapısı veya film stresine bağlıdır.
5. Depolama koşulları, kristal fazını ve filmlerin yönünü belirler.

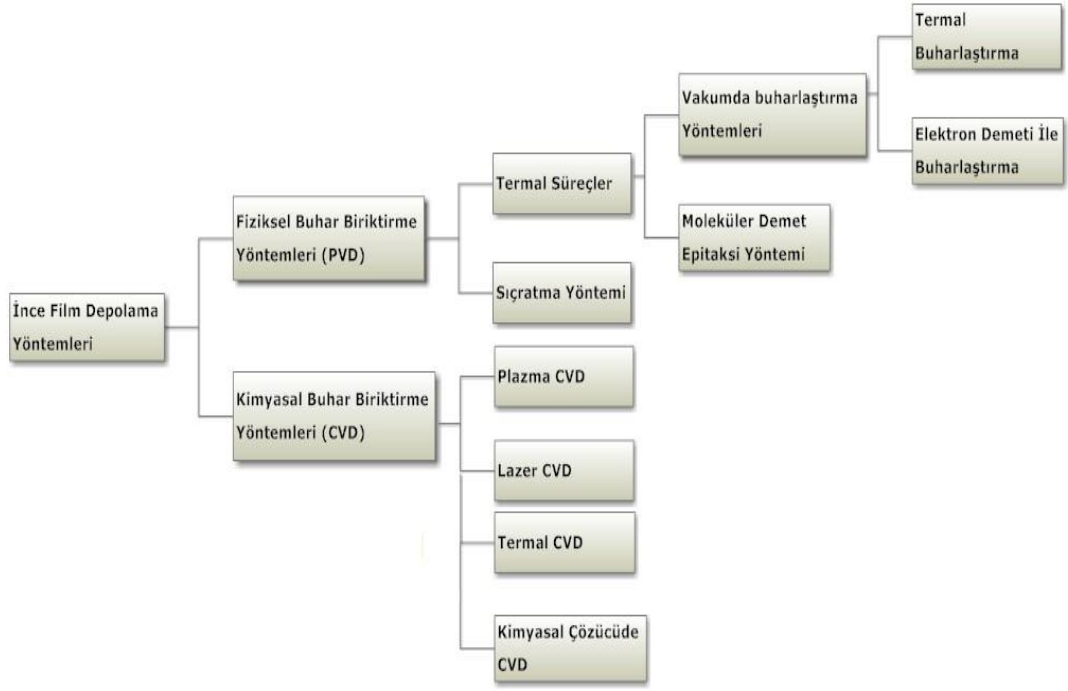
Filmlerin; film kompozisyonu, kristal fazı, film kalınlığı ve mikro yapısı gibi temel özellikleri depolama koşulları tarafından kontrol edilir. İnce filmler, bulk malzemelerin sergilemediği şu özelliklere sahiptir:

1. Atomik büyütme işleminden kaynaklanan benzersiz malzeme özelliğine sahiptir.
2. Kuantum boyut etkileri dahil olmak üzere boyuta, kalınlığa, kristal yönelimine ve tabakalı yapıya sahiptir.

Ayrıca bulk malzemeler genellikle kaynak maddelerin tozlarından sinterlenir ve bu tozların boyutu genellikle 1µm yarıçapa sahiptir. İnce filmler ise atom veya atom kümelerinden sentezlenirler [17].

2.1.2 İnce Film Depolama Yöntemleri

İnce filmlerin depolama yöntemleri, gerçekleşen süreçlerin doğasına göre iki grupta toplanabilir. Tipik depolama süreçleri, fiziksel ve kimyasal yöntemler olarak adlandırılabilir. Fiziksel yöntemler; fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal yöntemler ise kimyasal buhar biriktirme (CVD) olarak adlandırılabilir. Şekil 1.1' de ince film depolama yöntemleri ve alt süreçleri verilmiştir.



Şekil 2.1 İnce film depolama yöntemleri [18].

2.1.3 Termal Buharlaştırma Yöntemi

En basit mantığa sahip olan bu yöntem, kaynak malzemenin sıcaklığının artırılması esasına dayanır. Kaplama işlemi, sarılı bir tel veya açık bir bot yardımı ile kaynak malzemenin buhar fazına geçerek altlık üzerine birikmesi ile gerçekleştirilir [20]. Termal buharlaştırma sürecinde kaynak malzemeler yaklaşık 1×10^{-5} torr basınç altında vakum odasında buharlaştırılır ve yoğunlaşmamış alttaş üzerine birikir. Termal buharlaştırma süreci aynı zamanda vakum buharlaştırma süreci olarak da adlandırılabilir. Termal buharlaştırma yöntemi ikiye ayrılır. Birincisi rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma ikincisi ise elektron demeti ile buharlaştırma yöntemidir.

Rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma yöntemi ince film üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde sıcaklık kontrolü devreye uygulanan akımın ayarlanması veya ısı rezistansı ile sağlanmaktadır. Kaynak malzemeler rezistans yardımı ile ısıtılan filament veya botlar içine yerleştirilir. Isıtılan filament ya da botlar W (tungsten), Mo (molibden) veya Ta (tantal) gibi yüksek erime sıcaklığına sahip elementlerden seçilmelidir [1]. Aksi halde, kaynak malzemenin konulacağı bot veya filament de malzeme ile birlikte buharlaşacak ve filmin kalitesi önemli ölçüde etkilenecektir.

Rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma yönteminin avantajları:

1. Yüksek saflıkta kaynak malzemelerden yüksek saflıkta ince filmler depolanabilir.
2. Buharlaşacak malzeme herhangi bir formda ya da saflıkta bir katı olabilir.
3. Depolama oranının izlenmesi veya kontrol edilmesi oldukça kolaydır.
4. Fiziksel yöntemler içinde en kolay ve ucuz olan yöntemdir [21].

Birçok avantajının yanında rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma yönteminin dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar:

1. Birçok bileşik veya alaşımı buharlaştırmak oldukça zordur.
2. Sadece birkaç depolama değişkeni film üretimi sırasında kontrol edilebilir.
3. Kaynak malzeme kullanımı düşüktür.
4. Büyük hacimli vakum odaları genellikle sıcak kaynak ve kaplanacak yüzey arasındaki mesafeyi korumak içindir [21].

2.2 Yapısal Özellikler

2.2.1 X Işını Kırınım (XRD) Yöntemleri

Kristallerin atomlarının geometrik düzeni ve aralarındaki mesafe hakkında çoğu bilgi XRD yöntemi ile elde edilmektedir. Bundan dolayı X-ışınları kırınımı (XRD) kristalin bileşiklerin sayısal olarak tanınmasında pratik ve uygun bir yöntemdir. X ışını kırınımı, aşırı miktarlardaki X-ışını verilerini işleyebilen çok yüksek hıza sahip bilgisayarların kullanımıyla büyük ölçüde gelişmiştir. XRD yöntemi, bir kristal düzleminin birim hücre boyutlarıyla birlikte, kristalin atom düzlemleri arasındaki uzaklığını belirleyebilen bir yöntemdir. X-ışınının içinden geçtiği maddenin elektronları ile etkileşmesi neticesinde saçılma oluşur. Eğer X-ışınları bir kristaldeki düzenli ortam tarafından saçılırsa, saçılmayı yapan merkezler arasındaki uzaklık X-ışınının dalga boyu ile aynı mertebeden olduğu için saçılan ışınlar olumlu ya da olumsuz girişim yaparlar. Bu durumda kırınım meydana gelir. XRD çalışmalarında sabit dalga boylu X-ışınları kullanılır. X-ışınları kaynağı olarak X-ışını tüpleri kullanılmaktadır. Dalga boylu sabit X-ışınları elde etmek için ısıtılan bir tungsten filamandan ısı tahriki ile yayınlanan elektronlar, elektromanyetik bir alan içinde hızlandırılır. Hızlandırılarak yüksek enerji kazandırılan bu elektron

demeti bakır gibi bir anota çarptığında, elektronlar anotun elektron kabuklarına girerler. Yüksek enerjili elektron demeti çekirdeğe yakın kabuktaki bir elektrona çarparak onu yerinden çıkartırsa, elektron kaybından dolayı atom kararsız hale geçer ve boş kalan elektronun yeri daha yüksek enerjili bir elektron tarafından doldurulur. Bu elektron geçişinden kaynaklanan enerji farkı, karakteristik X-ışını fotonu olarak yayınlanır. Yayınlanan enerji,

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada; h : Planck sabiti ($6,62 \times 10^{-34}$ J.s), c : ışık hızı (3×10^8 m/s), λ ise X-ışınının dalga boyudur.

X-ışını kırınımı ile filmlerin kalınlık, kimyasal bileşim, amorflik, tek kristal ya da polikristal durum, kristal yapı bozuklukları, kristal içerisinde bulunabilecek katkı atomları, kristalografik yönelim, örgü parametreleri, tane boyutu ve benzeri pek çok özellik incelenebilmektedir.

Bir malzeme için yapılan basit kimyasal analiz ancak malzeme içerisinde var olan elementlerin hangileri olduğu hakkında bilgi verebilir. Halbuki, X-ışını kırınımı ile malzemenin içinde bulunan kimyasal bileşenlerin cinsi ve bu bileşenlerin malzeme içinde hangi fazda buldukları belirlenerek nitel analiz yapılabilir [20].

XRD ölçümleri ile nicel analiz de mümkündür. Çünkü malzeme içinde var olan bileşenlerin sahip olduğu piklerin şiddeti, bu bileşenin malzeme içindeki oranına bağlıdır. Bu şekilde bilinmeyen bir malzeme, kırınım spektrum ve JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kartları kullanılarak tayin edilebilir. XRD ile kimyasal analizde kullanılacak bilinmeyen malzeme zarar görmez ve küçük bir parçası bu analiz için yeterlidir. Bir cismin toz deseni o cismin karakteristik bir özelliğidir. Spektrum üzerindeki piklerin şiddetlerine, yarı pik genişliklerine ve zemin (background) şiddetine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilebilir. İyi bir kristalleşme seviyesine sahip malzemenin XRD spektrumu, şiddeti minimum olan bir zemin üzerinde bulunan yüksek şiddetli ve yarı pik genişlikleri dar olan piklere sahiptir. Eğer zemin şiddeti yüksek, yarı pik genişlikleri geniş ve pik şiddetleri düşük ise kristalleşme seviyesinin kötü olduğu söylenebilir. Spektrum üzerinde zemin şiddetinin yüksek olması, düşük şiddete sahip pikleri görüntülenemeyecek hale getirir. [20]

Kristalik yapılı katılarda X-ışını kırınımının temeli Bragg Kanunu ile verilmektedir. Bragg Kanununa göre, örgünün atomik tabakalarından yansıyan ve sonra kırılan ışın şiddetinin güçlenme şartı şu şekilde verilir:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

burada λ kristal örgüsüne düşen X-ışınlarının dalga boyu, θ örgüye düşen X-ışınları ile örgünün yüzeyi arasındaki açı, d kristaldeki atomlar arası mesafe ve n yansıma derecesidir [20]. Bu çalışmada üretilen ince filmlerinin yapı analizinde kullanılan X-ışınının dalga boyu $\lambda=1,54059\text{\AA}$ dır.

2.3 Elektriksel Karakterizasyon

Yarıiletkenlerin elektriksel karakterizasyonu, serbest taşıyıcılardan kaynaklanan, malzemenin kirlilik veya kusur yapısı hakkında bilgi veren elektriksel iletkenliği içerir. Bu bölümde elektriksel iletkenliğin sıcaklığa bağlı olarak değişim parametreleri incelenecektir.

2.3.1 Fermi Dirac Dağılım Fonksiyonu ve Taşıyıcı Konsantrasyonu

Yarıiletken malzemelerde, teorik olarak 0 K sıcaklığında yük taşıyıcıları bulunmaz. 0 K sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça valans bandındaki elektronlar termal enerji ile uyarılarak iletim bandına ulaşırlar. Bu işlem sonucunda iletim bandına uyarılan elektronlar ile valans bandında kalandeşikler elektrondeşik çiftlerini oluştururlar.

Saf yarıiletken kristaller yani yapısında herhangi bir kirlilik olmayan yarıiletkenler özgül (saf) yarıiletken olarak adlandırılırlar. Yüksek sıcaklıklarda elektrondeşik çiftleri oluşur ve bu çiftler özgül yarıiletkenlerde tek yük taşıyıcılarıdır. Fakat yarıiletken kristaller içerisine kirlilik atomları ekleyerek taşıyıcılar oluşturmak mümkündür. Yarıiletken malzemelerdeki çok küçük kirlilikler bile, malzemenin elektriksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu işlem katkılama olarak adlandırılır ve yarıiletkenlerin optik ve elektriksel özelliklerini değiştirmek için en sık kullanılan yöntemdir. Katkılama sonucu iki tür yarıiletken oluşur. Bunlardan ilki n tipi yarıiletkenler (genellikle yük taşıyıcıları elektronlar) ve p tipi yarıiletkenlerdir (yük taşıyıcıları genellikledeşiklerdir). Katkılama sonucu oluşan yarıiletkenler ise katkılı yarıiletken olarak adlandırılır [21].

Katılarda elektronlar Fermi Dirac istatistiğine uyarlar ve termal dengedeki herhangi bir E enerjili durumda bulunma ihtimali;

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{(E-E_F)}{kT}}} \quad (2.3)$$

formülü ile verilir. Burada E_F Fermi seviyesinin enerjisidir. Eğer mevcut durum yoğunluğu E ile $E+dE$ aralığında ise iletim bandındaki elektron yoğunluğu $N(E)dE$,

$$n_0 = \int_{E_c}^{\infty} f(E)N(E)dE \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_c iletim bandının en alt noktasının enerjisidir. Bu integral eşitlik biraz daha basit bir forma dönüştürülürse,

$$n_0 = N_c f(E_c) \quad (2.5)$$

ile verilir.

Burada N_c etkin durumların yoğunluğudur. Yani N_c sanki iletim bandının kenarına lokalize olmuş iletim bandının ulaşılabilir tüm durumlarını temsil eder. İletim ve valans bandının kenarları için etkin durum yoğunlukları;

$$N_c = \left(\frac{2\pi m_n kT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (2.6)$$

ve

$$N_v = \left(\frac{2\pi m_p kT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (2.7)$$

olarak verilir. Fermi seviyesinin iletim bandının birkaç kT altında bulunduğunu varsayarsak, $((E_F - E_v) > kT)$, fermi fonksiyonu;

$$F_E \cong e^{-(E_c - E_F)/kT} \quad (2.8)$$

ve daha sonra denklem (2.5)' i kullanarak iletim bandındaki elektron konsantrasyonu

$$n_0 = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT} \quad (2.9)$$

olarak bulunurken benzer şekilde valans bandındaki deşik konsantrasyonu

$$p_0 = N_v e^{-(E_F - E_v)/kT} \quad (2.10)$$

şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki elektron ve deşik konsantrasyonları termal dengede olan hem özgül hem de katkıli yarıiletkenler için geçerlidir. Özgül yarıiletkenlerde

Fermi seviyesi yasak enerji aralığının ortasında ve E_i enerjisi ile aynı yerde bulunmaktadır. Özgün yarı iletkenlerde elektron ve deşik konsantrasyonları,

$$n_i = N_c e^{-(E_c - E_i)/kT} \quad (2.11)$$

$$p_i = N_v e^{-(E_i - E_v)/kT} \quad (2.12)$$

ile verilebilir [21].

2.3.2 Elektriksel İletkenlik

Yarı iletkenlerde elektriksel iletkenliğe dolu valans bandından uyarılarak üst seviyedeki boş iletim bandına çıkan elektronlar katkıda bulunabilir. Bunun sonucunda oluşan deşikler valans bantta kalırlar. Yarı iletkenlerde elektriksel iletkenlik

$$\sigma = q(\mu_n n_i + \mu_p p_i) \quad (2.13)$$

denklemleri ile verilebilir. Burada q elektronik yük, n_i ve p_i özgün yarı iletkenlerdeki serbest elektron ve deşik yoğunluğu μ_n ve μ_p ise elektron ve deşik mobiliteleridir. Eğer n tipi bir yarıiletken, elektron yoğunluğunu da göz önüne alarak iletkenlik ifadesi yeniden yazılır ise;

$$\sigma = N_c q \mu_n e^{-(E_c - E_i)/kT} \quad (2.14)$$

elde edilir. Burada μ elektronun mobilitesidir. Denklem (2.6)' dan yararlanarak $N_c \propto T^{3/2}$ orantılı olduğunu görebiliriz. Aynı şekilde μ ile T arasında da benzer bir ilişki bulunmaktadır. Eğer mobilite üzerindeki tek etki kristal etkileşmesi ise düşük sıcaklıklarda mobilitenin sıcaklığa bağımlılığı $\mu \propto T^{3/2}$ şeklindedir.

Böylece iletkenlik

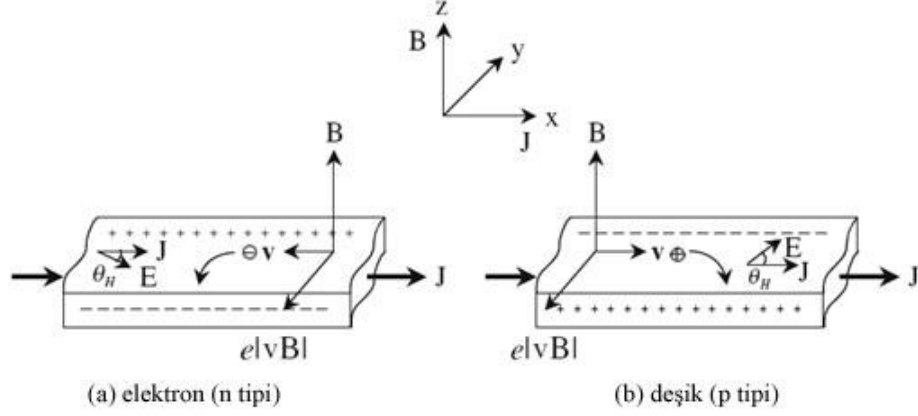
$$\sigma = C e^{-(E_c - E_i)/kT} \quad (2.15)$$

şeklinde yazılabilir. Burada C sabit bir katsayıdır. $\ln \sigma - 1/T$ grafiğinin eğimi aktivasyon enerjisini verir [21].

2.3.3 Hall Olayı

İletken bir malzeme üzerine, akıma dik olarak uygulanan manyetik alan, manyetik alana ve akıma dik bir elektrik alan ile sonuçlanır. Bu olay ilk olarak 1879 yılında E.H. Hall tarafından keşfedilmiş ve Hall etkisi adını almıştır. Bu etki

yarıiletken ve metallerin elektronik özelliklerini belirlemek açısından oldukça önemlidir. Bu bölümde ilk olarak elektronların aynı hızda hareket ettiği basit bir yaklaşımla Hall etkisi açıklanacaktır [22].



Şekil 2.2 Yarıiletkenler için Hall etkisi. (a) n tipi bir yarıiletken için Hall alanı (b) p tipi bir yarıiletken için Hall alanı.

Şekil 2.2'deki gibi bir örnek üzerinden, x -ekseni boyunca, akım yoğunluğu J olan akım geçtiğinde, elektronların sürüklenme hızı v Lorentz kuvvetinden hesaplanabilir.

$$\mathbf{F} = -e\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.16)$$

Burada $-e$ elektron yükünü temsil eder. Eğer malzemedeki elektron yoğunluğu n ise J akım yoğunluğu

$$\mathbf{J} = n(-e)\mathbf{v} \quad (2.17)$$

şeklinde verilebilir. Eğer akım $+x$ yönünde malzeme boyunca verilirse hız bileşeni $v_x < 0$ olur ve böylece elektron $-x$ yönünde sürüklenmeye başlar. z yönünde bir manyetik alan uygulandığında elektron için yazılan Lorentz kuvveti;

$$F_y = -e(|v_x|B_z) = -e|v_x|B_z < 0 \quad (2.18)$$

olarak verilir ve böylece elektron $-y$ yönünde hareket etmeye zorlanır.

Hall olayı normalde akım geçişinin olmadığı z yönünde bir manyetik alan uygulanarak ölçülür, negatif yükler elektronlardan dolayı Şekil (2.2)'de gösterildiği gibi, yüzeyde toplanır ve hareketsiz pozitif yükler (donörler) $-y$ yönünde manyetik alan uygulandığında malzemenin arka yüzeyinde birikirler. Uygulanan elektrik alan (Hall alanı) $E_y < 0$ ise Lorentz kuvveti ile dengelenir ve kararlı bir duruma gelir. Yani

$F_y + (-e)E_y = 0$ olur. Uygulanan bu alan, Hall alanı olarak adlandırılır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$E_y = v_x B_z = -\frac{B_z J_x}{ne} \equiv R_H J_x B_z \quad (2.19)$$

burada R_H Hall katsayısıdır. Elektronlar için Hall katsayısı,

$$R_H = -\frac{1}{ne} \quad (2.20)$$

E_x ve E_y arasındaki açı θ_H yani Hall açısı,

$$\tan\theta_H = \frac{E_y}{E_x} = -\mu_e B_z = \omega_c \tau \quad (2.21)$$

yukarıdaki eşitlikte,

$$J_x = ne\mu_e E_x \quad (2.22)$$

$$v_x = -\mu_e E_x \quad (2.23)$$

ve

$$\omega_c = \frac{eB_z}{m^*} \quad (2.24)$$

$$\mu_e = \frac{e\tau}{m^*} \quad (2.25)$$

Burada ω_c açısal siklotron frekansıdır. Hall olayı şematik olarak Şekil 2.2(a)'da negatif yük taşıyıcıları için (n tipi yarıiletkenler için elektronlar) 2.2(b)'de pozitif yük taşıyıcıları için (p tipi yarıiletkenler için deşikler) gösterilmiştir. $+y$ yönündeki deşik sürüklenmesi $+x$ yönünde bir deşik akımı üretir ($v_x > 0$) ve deşikler üzerindeki lorentz kuvveti z yönünde uygulanan manyetik alan varlığında $-y$ yönü boyunca etki eder, negatif ve pozitif yüklerin birikmesi ise $+y$ ve $-y$ yönlerinde olur. Bu yük birikimi $+y$ yönünde Hall alanının artmasına neden olur ki, bu durum elektronlar için tam tersidir. Deşikler için Hall katsayısı yük yoğunluğu p olmak üzere

$$R_h = \frac{1}{pe} \quad (2.26)$$

şeklinde verilir.

Eğer, yarıiletken malzemenin y yönündeki genişliği w , ve z yönündeki kalınlığı t ise, y yönündeki Hall voltajı $V_H = wE_y$ olur. Akım $I_x = J_x wt$ ve (2.19) denkleminde Hall voltajı,

$$V_H = \frac{R_H}{t} I_x B_z \quad (2.27)$$

denklemleri ile verilebilir.

Hall olayı ölçümlerinden Hall katsayısı R_h (2.27) formülü ile verilebilir ve elektron yoğunluğu n veya deşik yoğunluğu p (2.20) ve (2.26) denklemlerinden hesaplanabilir [22].

Ayrıca belirtmelidir ki (2.20) ve (2.26) denklemlerinde verilen Hall katsayısı, taşıyıcı durulma zamanı τ 'nin taşıyıcı enerjisinden bağımsız olduğu varsayılarak türetilmiştir. Eğer durulma zamanı, taşıyıcı enerjisine bağlı ve etkin kütle skaler değilse, Hall katsayısı (2.20) denklemi yerine;

$$R_H = -\frac{r_H}{ne} \quad (2.28)$$

denklemleri ile verilebilir. Burada r_H Hall katsayısının saçılma faktörüdür ve saçılma mekanizmaları ile taşıyıcıların dağılım fonksiyonunu belirler. İletkenlikten yararlanarak Hall katsayısı için denklem

$$|R_h| \sigma = \mu \quad (2.29)$$

şeklindedir. Bu eşitlik yalnızca $r_H = 1$ olduğunda geçerlidir ve denklem (2.27)'de görüldüğü gibi genel kullanımı

$$|R_h| \sigma = r_H \mu \quad (2.30)$$

olarak verilir. Hall mobilitesi ise,

$$|R_h| \sigma = \mu_H \quad (2.31)$$

ile tanımlanır. Burada μ_H Hall mobilitesidir. Yukarıda tanımlanan Hall mobilitesi sürüklenme mobilitesi ile aynı boyutlara sahiptir. Fakat aradaki fark r_H ile yada başka bir deyişle aşağıdaki eşitlik ile ayrılabilir [22].

$$\frac{\mu_H}{\mu} = r_H \quad (2.32)$$

2.3.4 Manyeto Direnç

1857 yılında William Thompson (Lord Kelvin), mıknatıslanan bir demirin direncinin değiştiğini gözlemiştir. Bu özellik, uygulanan manyetik alana bağlı olarak metallerin dirençlerindeki değişim olayıdır ve manyeto direnç olarak adlandırılır [23]. Klasik olarak manyeto direnç etkisi, uygulanan manyetik alanın büyüklüğüne, yönüne ve sıcaklığa bağlıdır [22].

Manyetik alana ve sıcaklığa bağlı olarak malzemelerin dirençlerindeki değişim,

$$\Delta R / R = B^2 T^{-\alpha} \quad (2.33)$$

ile verilebilir. Burada R malzemenin manyetik alan uygulanmıyorkenki direnci, ΔR manyetik alana bağlı olarak malzemenin direncindeki değişim, B uygulanan manyetik alan ve T sıcaklıktır. α ise değeri 3/4 olan durum yoğunluğu sabitidir.

Daha önceki bir teori olan Shklovskii ve Efros manyetik alanın numunenin taşıyıcı fonksiyonları üzerindeki etkiyi göz önüne almış fakat bu teoriye girişimi dahil etmemişlerdir. Pozitif manyeto direnci ise,

$$\ln[\rho(B) / \rho(0)] = \alpha B^2 [T_0 / T] \quad (2.34)$$

olarak tahmin etmişlerdir ve burada α aynı değere sahiptir [24].

2.4 Optik Karakterizasyon

2.4.1 Optik Soğurma

Yarıiletkenlerin bant yapısını araştırmak için en yaygın ve en basit yöntem soğurma spektrumlarını ölçmektir. Soğurma işleminde, enerjisi bilinen bir foton numune üzerine gönderilir. Enerjisi numunenin band aralığından büyük olan fotonlar soğurulurken küçük olanlar geçirilir. Bir foton numune tarafından soğurulduğunda düşük enerji seviyesindeki bir elektronu daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. Bu sayede gönderilen foton ile geçen fotonların enerjileri arasındaki farklar bize yarıiletkenlerin bant aralıkları hakkında bilgi verecektir.

Kalınlığı t olan numuneye I_0 şiddetli foton gönderilirse bu foton, I şiddeti ile numuneyi geçecektir. I ve I_0 arasındaki ilişki LAMBERT-BEER yasasıyla;

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (2.35)$$

ile verilir. Burada α soğurma katsayısıdır [25].

Ayrıca soğurma maksimum olduğunda numuneyi geçen ışının şiddeti sıfır olacaktır.

2.4.1.1 Temel Soğurma Olayı

Temel soğurma olayı, banttın banda geçişi temsil eder ve kendisini soğurma spektrumundaki hızlı artışla belli eder. Valans bandındaki bir elektronun numuneye gelen ışıdan bir foton soğurarak iletim bandına geçmesi olarak adlandırılabilir ve yarıiletkenlerin yasak enerji aralığını belirlemede kullanılabilir. Bunun için fotonun enerjisinin en az yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük olması gerekmektedir. Ayrıca fotonun momentumu kristal momentumuna göre çok küçük olduğundan foton soğurma işleminde momentum korunmalıdır.

Gelen fotonun frekansı ν ise

$$h\nu \geq E_g \quad (2.36)$$

Gelen fotonun dalga boyu λ_g ise

$$\lambda_g \leq hc / E_g \quad (2.37)$$

Verilen bir $h\nu$ foton enerjisi için soğurma katsayısı $\alpha(h\nu)$ elektronun ilk durumdan son duruma geçiş olasılığı P_{if} , ilk durumdaki elektron yoğunluğu n_i ve son durumdaki elektron yoğunluğu n_f ile orantılıdır.

$$\alpha(h\nu) = A \sum P_{if} n_i n_f \quad (2.38)$$

Burada A sabit bir sayıdır.

Temel soğurma olayında yarıiletken malzemenin yapısına bağlı olarak farklı geçişler görülebilir. Bu farklı geçişler izinli doğrudan geçişler, yasaklanmış doğrudan geçişler, dolaylı kıyılar arası dolaylı geçişler, doğrudan kıyılar arası dolaylı geçişler ve bant kuyukları arası geçişlerdir [26].

2.4.1.1.a İzinli Doğrudan Geçişler

Doğrudan bant yapılı yarıiletkenlerde iletkenlik bant kenarının en alt noktası ile değerlik bandının üst kenarı enerji-momentum uzayında $k=0$ değerinde bulunmaktadır. Bu tür geçişlerde momentum korunur ve geçişler P_{if} ' den bağımsızdır.

Şekil 2.3' de izinli doğrudan geçişin şematik gösterimi verilmiştir. Doğrudan bant geçişinde valans bandında bulunan bir elektron, yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya bu değerden daha büyük olan bir fotonu ($h\nu \geq E_g$) soğurarak iletkenlik bandına geçer. Bu geçiş sonrasında valans bantta bir deşik meydana gelir.

Geçiş sırasında elektronlar dalga vektörlerini değiştirmezler ve $k=0$ da momentum korunur.

İzinli geçişlerde her E_i ilk durumunu E_f son durumuna bağlayan ilişki,

$$E_f = hv + |E_i| \quad (2.39)$$

parabolik bantlarda ise bu ilişki;

$$\alpha(hv) = A^*(hv - E_g)^n \quad (2.40)$$

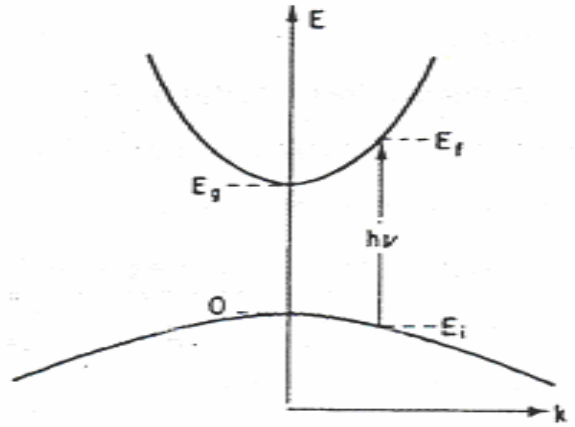
ve

$$A^* \approx \frac{q^2 \left(2 \frac{m_e^* m_h^*}{m_e^* + m_h^*} \right)^{5/2}}{nch^2 m_e^*} \quad (2.41)$$

şeklindedir. Burada n izinli geçişler için $\frac{1}{2}$ olan bir sabittir [26].

2.4.1.1.b Dolaylı Bant Geçişleri

Dolaylı bant geçişlerinde, iletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı k değerine sahip olmadığında, elektron valans bandının üst sınırından iletim bandının alt sınırına doğrudan geçiş yapamaz. Valans bandından iletim bandına bir elektronun momentumunu koruyarak geçiş yapabilmesi için bir fotonun soğurulması ve ardından da bir fononun salınması veya saçılması gerekir. Foton, elektronun iletim bandına geçebilmesi için yarıiletkenin yasak enerji aralığı değeri kadar ya da bu değerden daha büyük olan gerekli enerjiyi sağlarken, fonon bu geçişte momentum korunumu için gerekli momentumu sağlar [26].

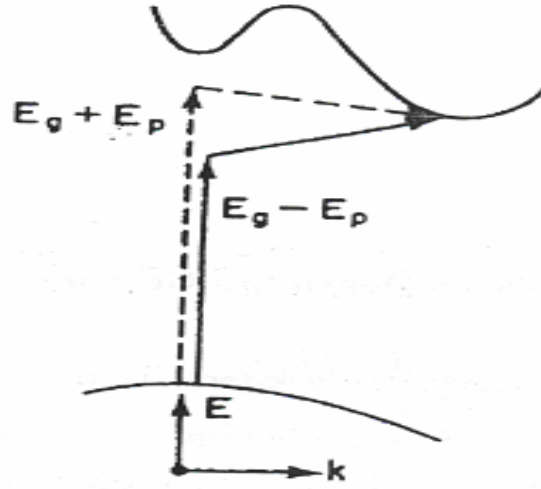


Şekil 2.3 İzinli geçişler için enerji bant diyagramı [26].

2.4.1.1.c Dolaylı Bantlar Arası Dolaylı Geçişler

Bu geçiş, hem enerji hem de momentumda bir değişme gerektirdiğinden ikili ya da iki aşamalı işlem gerekir. Çünkü foton momentumunda bir değişme sağlayamaz. Momentum Şekil 2.4' de görüldüğü gibi fonon etkileşmesi yoluyla korunur. Fonon, örgü titreşiminin bir kuantumudur.

Bu fononların her biri tipik bir E_p enerjisine sahiptir. $E_f - E_i$ geçişini sağlamak için bir fonon ya soğurulur ya da yayınlanır.



Şekil 2.4 Dolaylı bantlar arası dolaylı geçişler için enerji bant diyagramı [26].

Bu iki işlem

$$h\nu_e = E_f - E_i + E_p \quad (2.42)$$

$$h\nu_a = E_f - E_i - E_p \quad (2.43)$$

bağıntıları ile verilir. Dolaylı geçişlerde valans bandının tüm doldurulmuş durumları iletim bandının tüm durumları ile bağlı olabilir. E_i enerjili başlangıç durumlarının yoğunluğu

$$N(E_i) = \frac{1}{2\pi^2 \hbar^3} (2m_h^*)^{3/2} (E_i)^{1/2} \quad (2.44)$$

ile verilir. E_f enerjili durum yoğunluğu ise

$$N(E_f) = \frac{1}{2\pi^2 \hbar^3} (2m_e^*)^{3/2} (E_f - E_g)^{1/2} \quad (2.45)$$

olarak verilir. Soğurma katsayısı α bu iki durum yoğunluğunun çarpımına eşittir ve fononlarla etkileşme olasılığı ile doğru orantılıdır [26].

3.DENEYSEL YÖNTEM

3.1 Giriş

Bu bölümde katkılı ve katkısız CdSe ince filmlerin üretimi ve karakterizasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir. CdSe ince filmleri hazırlanan CdSe polikristalleri kullanılarak termal buharlaştırma yöntemi ile cam alttaşlar üzerine büyütülmüştür. Büyütülen ince filmler üzerine yapılacak ölçümler için numuneler üzerine İndiyum buharlaştırarak kontak işlemleri yapılmıştır.

3.2 Kristal Sentezlenmesi

3.2.1 Büyütme Tüplerinin Temizlenmesi

Öncelikle numunelerin sinterleneceği büyütme tüplerinin seçimi önemlidir. Büyütme tüplerinin içerisindeki malzemeler ile kimyasal reaksiyona girmemesi için, tüplerin erime sıcaklığı sinterlenecek kimyasalların erime sıcaklığından yüksek ve termal iletimi yüksek olmalıdır.

Seçilen kuartz büyütme tüpleri 10 mm iç yarıçapa, 90 mm uzunluğa ve 1mm duvar kalınlığına sahiptir. Kuartz tüpleri kullanarak, kristal oluşturmadan önce tüplerin üzerindeki yağ, toz ve metalik kirlilerden arındırmak önemlidir. Aksi halde kristal içerisinde kirlilik oluşacak ve malzemenin yapısını önemli ölçüde değiştirecektir. Temizleme işleminde öncelikle tüplerin yüzeyindeki toz ve yağ tabakasını kaldırmak için, tüpler deterjan ve sıcak su ile yıkanmıştır. Daha sonra tüpleri kimyasal kirliliklerden arındırmak için sırası ile, tüpler 4 saat %40'lık HNO₃ (nitrik asit) çözeltisinde bekletilmiş ve hemen ardından tekrar deterjan ile temizlenip saf su ile durulanmıştır. 30 dakika da izopropil alkolde bekleyen tüpler son olarak içindeki olası gazları dışarı çıkartmak için 10⁻⁵ torr vakum altında ısıtılmıştır.

3.2.2 Numunelerin Hazırlanması ve Sinterleme

İnce filmleri hazırlanacak malzemelerin, polikristali %99.99 oranında saflığa sahip kadmiyum, selenyum ve indiyum kullanılarak saf CdSe ve % 1 In katkılı CdSe polikristali oluşturulmuştur.

Stokiyometrik oranlarda tartılarak hazırlanan saf CdSe için 3g Se'ye karşılık 4,27 g Cd, %1 In katkılı CdSe için 4 g. Se, 5,69 g. Cd ve 0,09 g. In kullanılmıştır. Atomik ağırlıklarına göre tartılan elementler, daha sonra büyütme tüplerine ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Sinterleme işlemine başlamadan önce büyütme tüpleri içerisindeki hava 10^{-5} torr vakum altında kapatılmıştır.

Ağız tamamen kapatılan tüpler, Protherm marka yatay bir fırın içerisine konularak sinterleme işlemine başlanmıştır. Tüpler Selenyumun yüksek buhar basıncından dolayı çok yavaş bir şekilde kristallenme sıcaklığı olan 1120 °C'ye 48 saatte ısıtılmıştır. Isıtma işlemi sırasında büyütme tüpleri, çalkalanmak suretiyle homojenlik sağlanmıştır. Kristal oluşumu tamamlandıktan sonra tüpler 12 saatte oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra büyütme tüpleri kırılarak hazırlanan polikristaller çıkartılmıştır. Külçe olarak çıkarılan kristal agat havan yardımı ile dövülerek toz haline getirilmiştir.

3.3 İnce Film Depolama

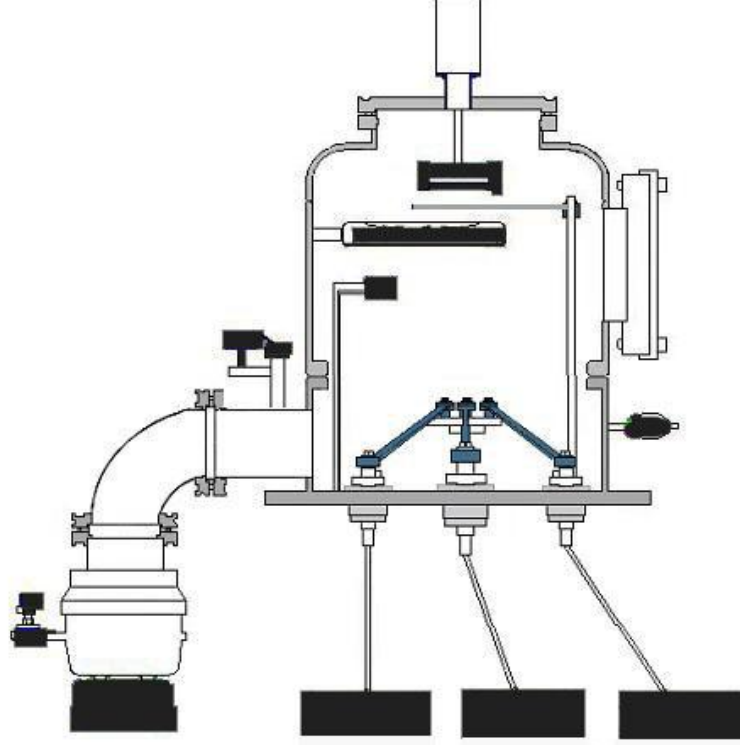
3.3.1 Alttaşların Temizlenmesi

Üzerine film büyütülecek olan cam alttaşların temizliği oldukça önemlidir. Büyütülen filmlerin kalitesi için cam alttaşların üzerinde toz, parmak izi, yağ yani organik yada metalik herhangi bir kirlilik bulunmamalıdır. Cam temizliği için bir miktar potasyum di kromat az bir suda çözülmüş, daha sonra üzerine sülfirik asit eklenerek bir çözelti hazırlanmıştır. 10x12,5 mm ebatlarında kesilen camlar bu çözelti içerisinde 1 gün bekletilerek üzerindeki kirliliklerden arındırılmıştır. Daha sonra camlar üzerindeki tabakaları kaldırmak için, alttaşlar saf su ile durulamıştır. Durulanan camlar en son aseton ile temizlenerek büyütmeye hazır hale getirilmiştir.

3.3.2 Termal Buharlaştırma Yöntemi İle İnce Film Depolama

Sinterleme sonrası toz hale getirilen CdSe ve %1 In katkılı CdSe'nin ince film depolama işlemleri, Vaksis Pvd-Handy serisi ısısal buharlaştırma sistemi ile yapılmıştır.

Temel buharlaştırma sistemi vakumu 10^{-5} torr basınca indiren bir turbo pompa, 3 adet tungsten numune potası, işlem sırasında film kalınlığını ölçebilen bir kalınlık ölçer, örnek tutucu, işlem sırasında istenilen seviyede ve zamanda film depolamak için kullanılan bir kesici ve bir adet ısıtıcıdan oluşmaktadır. Isısal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.

Katkılı ve katkısız polikristallerin termal buharlaştırma işlemi 4×10^{-5} torr vakum altında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ısıtıcı açılarak, cam alttaşlar 300°C ’ de ısıtılarak kaplama işlemi sıcak yüzey üzerine yapılmıştır. Tungsten potalar üzerinden yaklaşık 50-60 A. civarında akım geçirmek sureti ile bot içersine yerleştirilen, toz halindeki polikristalin buharlaşması sağlanmıştır. Buharlaşma hızı yaklaşık olarak $20-25 \text{ A}^{\circ}/\text{s}$ değerlerine ulaştığı anda kesici açılarak, aynı orandaki buharlaşma hızı ile alttaşlar kaplanmıştır. Yaklaşık 7 dakika sonra istenilen kalınlığa ulaşan filmlerin depolama işlemi, kesici kapatılarak sonlandırılmıştır. 5 dakika daha 300°C ’ de tutulan filmler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra termal buharlaştırma sistemi kapatılarak üretilen filmler çıkartılmıştır.

Üretilen saf CdSe filmlerin kalınlığı 0,5 μm , %1 In katkılı CdSe filmlerin kalınlığı 0,6 μm olacak şekilde depolanmıştır.

3.4 Tavlama İşlemi

Tavlama işlemi; malzemenin özelliğine bağlı olarak değişik sıcaklıklarda, vakum veya azot gazı ortamında belirli süre ısıtılması olayıdır. Bu işlemin amacı büyüme veya kaplama esnasında yapıda meydana gelen kusurların uzaklaştırılması ve daha düzenli bir yapı elde edilmesidir. Bu çalışmada hem saf hem de In katkılı CdSe ince filmleri oksitlenmelere karşı vakum (10^{-5} torr) ortamında 400 °C’de 30 dakika bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında elektrik ve optik özellikleri incelenecek örnekler tablo 3.1’deki gibi adlandırılmıştır.

Tablo 3.1 Hazırlanan numunelerin isimlendirilmesi

Yapılan isimlendirme	Numune ismi
A0	Saf CdSe ince film
A0_400	400 C sıcaklığında tavllanmış CdSe ince film
A1	%1 In katkılı CdSe ince film
A1_400	400 C sıcaklığında tavllanmış %1 In katkılı CdSe ince film

3.5 Kontak Alma İşlemleri

Elde edilen filmlerin elektrik ve optik özelliklerine bakabilmek için üzerlerine In buharlaştırarak farklı geometrilere kontaklar alınmıştır. In buharlaştırmadan önce filmlerin boyutuna uygun olarak Van-der Pauw ve şerit kontak geometrisine göre bakır levhalardan maskeler oluşturulmuştur. Yapılan maskeler filmlerin üzerine yüzeylerini çizmeyecek şekilde yerleştirildikten sonra termal buharlaştırma yöntemiyle filmler ve alınacak kontaklar arasındaki iletişimi sağlamak amacıyla 10^{-5} torr vakum altında In buharlaştırılmıştır. Buharlaştırılan İndiyum’un film üzerine iyi bir şekilde oturması ve omik kontakın gerçekleşmesi için, In buharlaştırılmış filmler 100 °C’de yaklaşık 5 dakika süresince azot ortamında ısıtılmıştır. Şekil 3.2’de Van der Pauw ve şerit kontak geometrilerinde oluşturulan filmler verilmiştir.



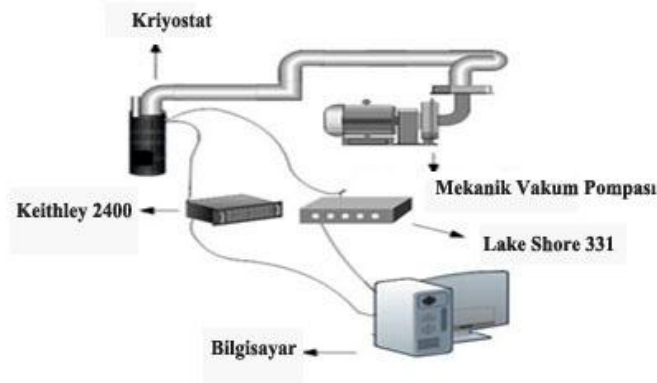
Şekil 3.2 Van der Pauw ve şerit kontak geometrisinde kontak alınmış ince filmler.

3.6 Elektriksel Karakterizasyon Ölçümleri

3.6.1 Sıcaklığa Bağlı Direnç Ölçümleri

Bu bölümde katkısız ve In katkılı CdSe ince filmlerinin katılama ve tavlamaya bağlı olarak dirençlerinin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. 400 °C de tavllanmış filmler ile tavlınmamış filmler 80 – 400 K sıcaklıkları arasında 5 K sıcaklık aralıklarıyla dirençlerinin değişimleri incelenmiştir. Numuneler Janis marka azot soğutmalı kriyostat içine 4 nokta şerit kontak alınarak yerleştirilmiş, sıcaklık kontrolü ise LakeShore 331 sıcaklık kontrol ünitesi ile sağlanmıştır. Elektriksel ölçümler, sabit bir akım-voltaj kaynak-ölçüm cihazı olan Keithley 2400 sourcemeter yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Elektriksel ölçümü yapılacak In buharlaştırılmış örneklerle ince teller, yine In kullanılarak havya yardımı ile tutturulmuştur. Şekil 3.2 de deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi verilmiştir. Yapılan kontakların omikliği değişik akım değerlerinde ileri ve ters yönde akım uygulanmak sureti ile kontrol edildikten sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Verilen akıma karşılık her sıcaklıkta gerilim değerleri ölçülerek, filmlere ait direnç, öz direnç ve iletkenlik değerleri hesaplanarak sıcaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

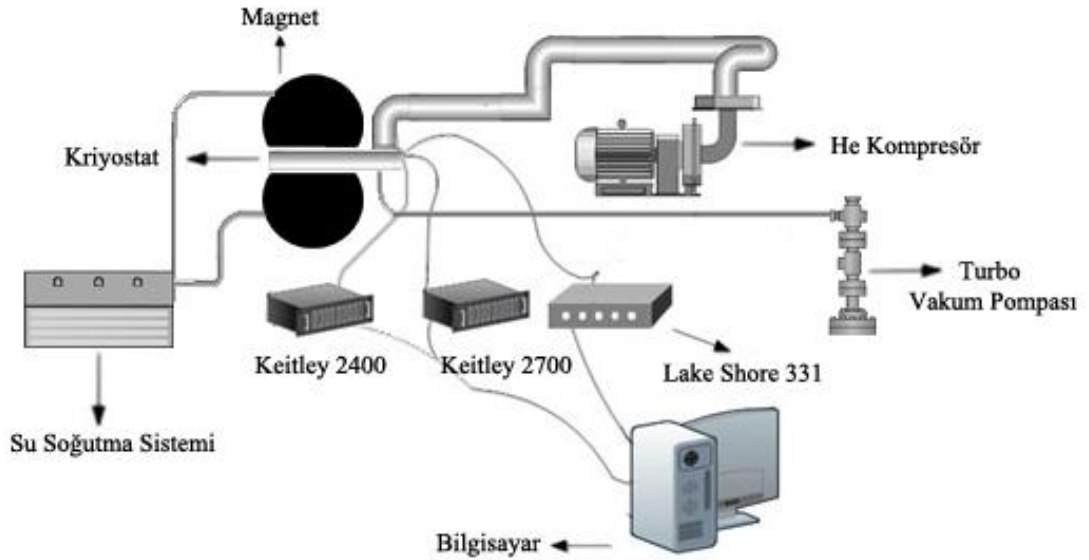


Şekil 3.3 Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.

3.6.2 Hall Ölçümleri

Hall ölçümleri yarıiletken malzemelerin iletkenlik tipinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir ölçüm tekniğidir. Hall ölçümleri aynı zamanda taşıyıcı yoğunluğu, mobilite ve taşıyıcıların saçılma mekanizmalarının belirlenmesine imkan veren eski fakat en geçerli yöntemlerden biridir.

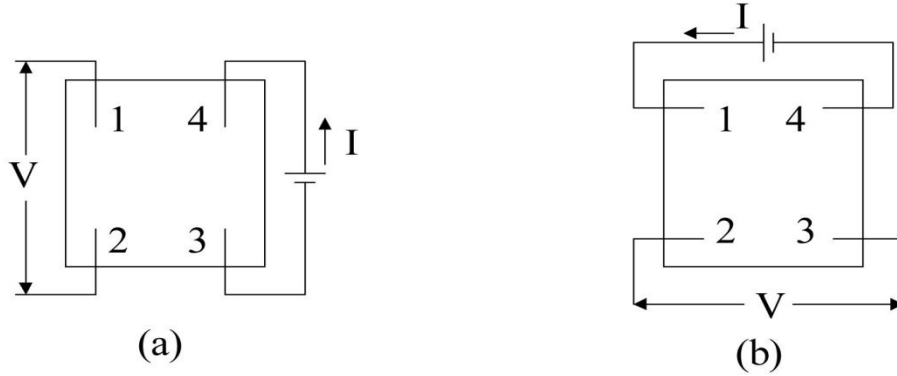
Üretilen ince filmlerin üzerine Van der Pauw geometrine göre filmler üzerine maskeleyme yöntemi kullanılarak, In ile 4 nokta kontak alındıktan sonra, numuneler kriyostat içerisine yerleştirilmiştir. Hall ölçümlerinde sıcaklık kontrolü LakeShore 331 sıcaklık kontrol ünitesi, akım kaynağı olarak, akım-voltaj kaynak ölçüm cihazı olan Keithley 2400 ve gerilim ölçümleri için Keithley 2700 veri kaydedicisi ve uygulanan akım- ölçülen gerilim uçlarını ölçüm esnasında değiştirmek için, Keithley 2700 içerisine entegre olarak çalışan Keithley 7709 matris modülü kullanılmıştır. Ölçümler sırasında numuneye verilen 1,2 teslalık (T) manyetik alan GMW magnetleri ile sağlanırken, düşük sıcaklıklarda ölçüm yapılabilmesi için kapalı devre Cryogenics marka helyum kompresör ve numunenin içinde bulunduğu kriyostatı vakuma almak için Pfeiffer Turbo moleküler vakum pompası kullanılmıştır. Şekil 3.4’ de deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Hall olayının incelendiği deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.

Sıcaklığa bağlı olarak gerçekleştirilen ölçümler Hall olayı için özel olarak tasarlanmış LABVIEW bilgisayar programı yardımı ile tam otomasyonlu olarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle malzemenin direncini ölçmek için Keithley 2400 yardımı ile bir çapraz kontak çiftinden akım uygulanırken, diğer çapraz kontak

çiftinden ise Keithley 2700 ile gerilim ölçümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı kontak çiftleri üzerinden akım ters çevrilerek gerilim ölçülerek ortalama değerlerin hesaplanması ile parametreler belirlenmiştir. Bu işlem Şekil 3.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Direnç ölçümlerinin şematik olarak gösterimi [27].

Direnç değerleri;

$$R_{21,34} = R_{12,43} \quad (3.1)$$

$$R_{43,12} = R_{34,21} \quad (3.2)$$

$$R_{32,41} = R_{23,14} \quad (3.3)$$

$$R_{14,23} = R_{41,32} \quad (3.4)$$

Yani $R_{21,34}$ direnci; akımın 2 numaralı kontakta girer ve 1 numaralı kontakta çıkar. Gerilim ölçümü 3 ve 4 numaralı kontaklar arasında yapılır. Daha sonra ölçümü yapılan numunelerin, belirli bir sıcaklık aralığında yüzey öz direncini bulmak için;

$$R_A = R_{21,34} + R_{12,43} + R_{43,12} + R_{34,21} \quad (3.5)$$

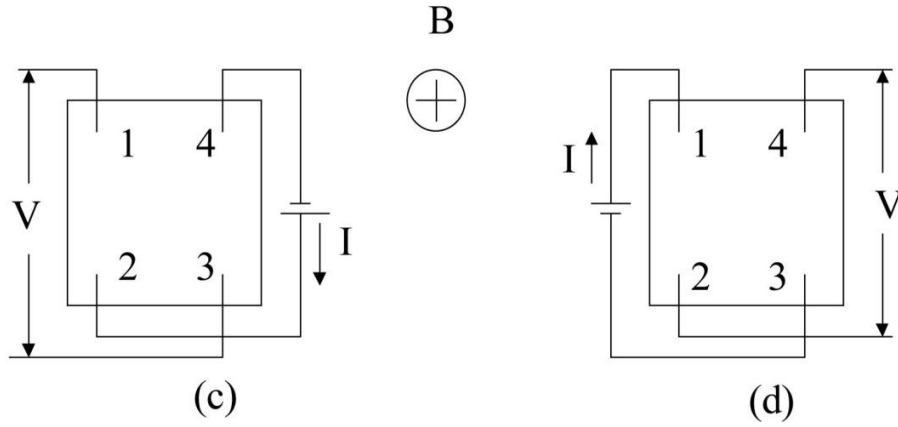
$$R_B = R_{32,41} + R_{23,14} + R_{14,23} + R_{41,32} \quad (3.6)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \left(\frac{R_A + R_B}{2} \right) f \left(\frac{R_A}{R_B} \right) \quad (3.7)$$

denklemleri kullanılmıştır. Burada t numunenin kalınlığı $f(R_A/R_B)$ düzeltme faktörüdür [21].

Numunenin direncini belirledikten sonra, Hall voltajı ölçümleri için manyetik alan varlığında ve Keithley 7709 matris kartı yardımı ile akım - gerilim uçlarını değiştirerek 8 konfigürasyonlu gerilim ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde bir çapraz kontak çiftine manyetik alan altında bir akım uygulanırken, diğer çapraz

kontak çiftinden gerilim ölçülmüş, daha sonra akım – gerilim uçlarını değiştirmeden önce akım sonra manyetik alan ters çevrilerek ölçümler tekrarlanmıştır. Bu işlem Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 V_H için yapılan ölçümlerin şematik olarak gösterimi [27].

Yapılan ölçümler sonucunda V_H

$$V_{Ha} = V_{31,42}^{+}(+B) - V_{31,42}^{-}(+B) + V_{31,42}^{-}(-B) - V_{31,42}^{+}(-B) \quad (3.8)$$

$$V_{Hb} = V_{42,13}^{+}(+B) - V_{42,13}^{-}(+B) + V_{42,13}^{-}(-B) - V_{42,13}^{+}(-B) \quad (3.9)$$

$$V_H = \frac{V_{Ha} + V_{Hb}}{8} \quad (3.10)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada $V_{42,13}^{+}(+B)$ gerilimi: pozitif manyetik alan varlığında, pozitif akımın 4 numaralı kontakta 2 numaralı kontakta geçtiği durumda, 1 ve 3 numaralı kontaklar arasındaki voltaj ölçümü olarak verilmiştir.

Her sıcaklık değeri için LABVIEW programı yardımı ile direnç ve Hall voltajı ölçümleri ile birlikte öz direnç, Hall mobilitesi ve taşıyıcı yoğunluğu parametreleri belirlenmiştir.

3.6.3 Manyeto Direnç ölçümleri

Üretilen ince filmlerin manyeto direnç ölçümleri yine Şekil 3.4’ de verilen Hall ölçüm sistemi yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Manyeto direnç ölçümlerinde öncelikle manyetik alan yokken malzemenin direnci ölçülmüş, daha sonra farklı manyetik alanlar uygulanarak malzemenin direncinin, ne şekilde değiştiği gözlenmiştir.

Manyeto direnç ölçümleri 10 – 45 K sıcaklıkları arasında (-1,2) T – (+1,2) T arasında, 0,2 T aralıklar ile manyetik alan değiştirilerek gerçekleştirilmiştir.

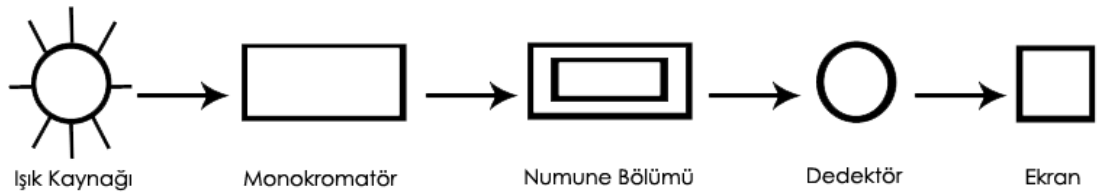
3.7 Optik Ölçümler

3.7.1 Optik Soğurma Ölçümleri

Spektrometre tek renkli gelen ışığı spektral olarak dalga boylarına ayırarak elektriksel sinyallere dönüştüren malzeme analizi yapabilen bir cihazdır. Ölçülen büyüklük genellikle ışığın şiddetidir. Bağımsız değişken ise ışığın dalga boyudur ve genellikle nanometre mertebesindedir.

Soğurma spektrumu ölçümleri, oda sıcaklığında her iki numune içinde, UNICO marka SQ 2802 UV/VIS spektrometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan spektrometrenin tarama bölgesi 190 nm-1100 nm arasındadır. Ayrıca spektrometrede ışık kaynağı olarak halojen lamba, dalga boyunu çevresel etkenlerden ve istenmeyen ikincil radyasyonlardan izole etmek için bir monokromatör, numunenin konacağı bir yuva, iletilen ışığı alan ve onu elektriksel sinyale çeviren bir dedektör ve soğurulan veya geçen ışığı göstermek üzere bir dijital ekran olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır. Şekil 3.7’ de spektrometrenin iç yapısı şematik olarak gösterilmiştir.

Spektrometreye yerleştirilen ince filmlerin üzerine düşecek şekilde oda sıcaklığında ışık kaynağından 190 – 1100 nm dalga boylarında 0,5 nm aralıklarla ışık gönderilmiştir. Tek renkli ışık monokromatör yardımı ile istenilen dalga boyuna çevrilerek numunelere gönderilmiştir. Numuneden çıkan ışık dedektör yardımı ile toplanarak malzemelere ait soğurma spektrumları elde edilmiştir.

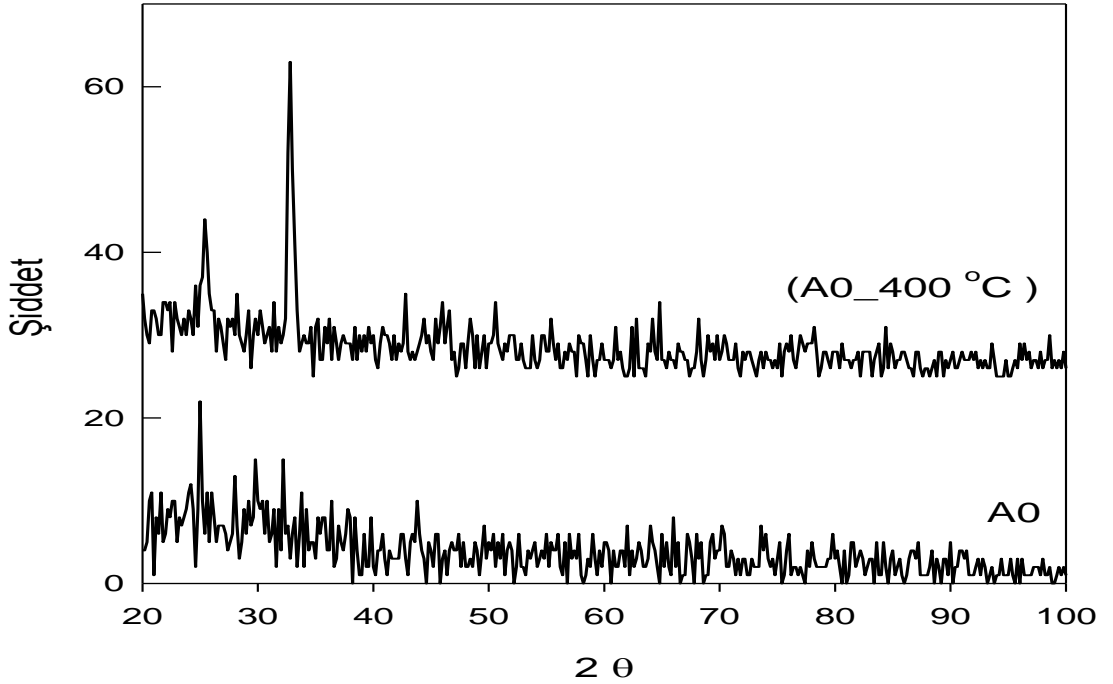


Şekil 3.7 Spektrometrenin şematik olarak gösterimi.

4. ANALİZ VE YORUMLAR

4.1 İnce Film Yapı Analizleri

Termal buharlaştırma yöntemi ile 300 °C sıcak alttaş üzerine büyütülen, yaklaşık 0,5 µm kalınlığındaki saf CdSe (A0) ve 400 °C'de 30 dakika tavllanmış CaSe (A0_400) ince filmlerin XRD saçılma sonuçları Şekil 4.1' de verilmiştir. Hem A0, hem de A0_400 örneklerinde yaklaşık olarak $2\theta=25,4^\circ$ pozisyonunda gözlenen piklerin pozisyonları aynı olup, tavlamaya bağlı olarak şiddetinin arttığı gözlenmektedir. Isıtılmamış örnekte başka pik gözlenmemiş olup, tavlama sonucunda ise yaklaşık olarak $2\theta=32,8^\circ$ pozisyonunda keskin bir pik daha ortaya çıkmıştır. Isıtılmaya bağlı olarak pik pozisyonlarının değişmeyip şiddetlerinin artması, yapısal bozuklukların azalması ve ince filmlerin amorf yapıdan polikristal yapıya geçmesinin bir göstergesi olarak yorumlanabilir.



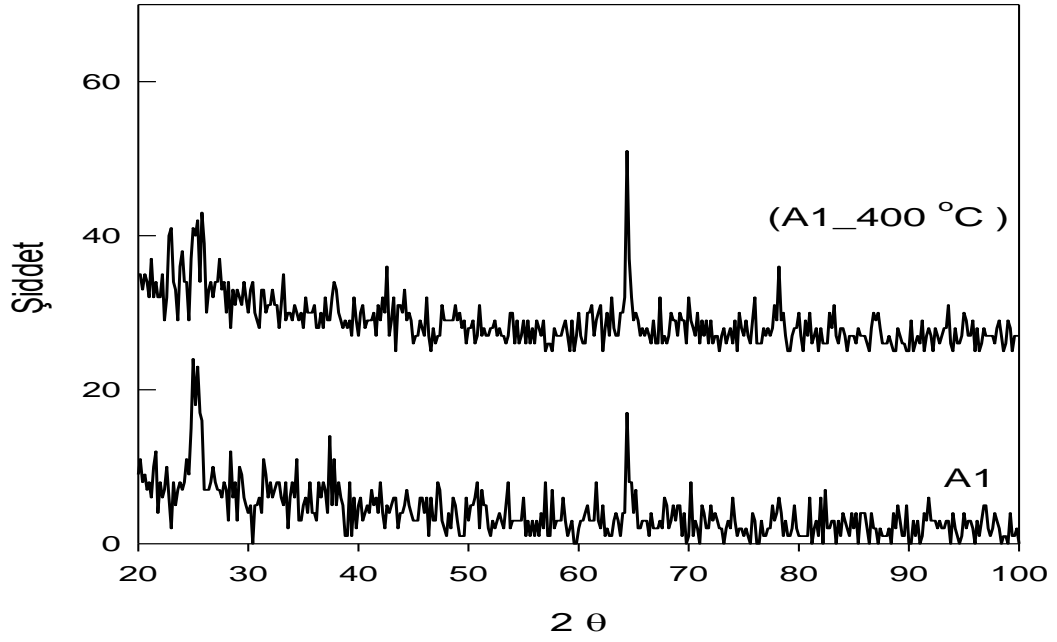
Şekil 4.1 Üretilen A0 ve A0_400 filmlerinin XRD sonuçları.

Daha önce yapılan çalışmalarda, CdSe ince filmlerin hem kübik hem de hegzagonal yapıda büyüyebileceği belirtilmiştir. Hegzagonal yapıdaki CdSe filmlerinin daha kararlı bir fazda olduğu, kübik yapının ise düşük sıcaklıklarda meydana gelen daha az kararlı bir yapı olduğu belirtilmektedir [8].

Termal buharlaştırma yöntemi ile elde edilen saf CdSe ince filmlerin XRD analizlerinde genellikle $2\theta=25,4^\circ$ pozisyonundaki pik gözlenmiş olup, bu yöntem ile elde edilen filmlerin kristal yapısının hegzagonal ve gözlenen pikin ise (002) düzleminden saçılma sonucunda olduğu rapor edilmiştir. Toz numune ile gerçekleştirilen XRD sonuçlarından ise farklı pozisyonlarda çok fazla keskin pikler gözlenmiştir [15]. Literatür incelenmesi sonucunda, bu çalışmada ısısız yolla elde edilen saf CdSe (A0) ince filmlerin polikristal ve hegzagonal yapıda olduğu, büyümenin (002) düzlemi boyunca gerçekleştiği görülmektedir. Tavlamaya bağlı olarak $2\theta=32,8^\circ$ de gözlenen diğer pikin ise yapının düzelmesi sonucunda oluşması veya ısıtılma sonucunda filmlerin faz değişimine uğramış olması ile açıklanabilir.

%1 In katkılı ısıtılmamış (A1) ve 400°C de 30 dakika tavlama (A1_400) katkılı CdSe ince filmlerin XRD sonuçları ise Şekil 4.2' de verilmiştir. A0 örnekleri ile yaklaşık olarak aynı pozisyon olan $2\theta=25,4^\circ$ deki pikler katkılı örneklerde de gözlenmiş olup, ısıtılma sonucunda bu pikin şiddetinin azaldığı görülmüştür. Fakat A0 örneklerinden farklı olarak yaklaşık $2\theta=64,4^\circ$ pozisyonunda yeni bir pik gözlenmiş olup, bu pikin pozisyonunun değişmeyip, şiddetinin ise tavlamaya bağlı olarak belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.

2003 yılında Perna ve ark. Lazer ablasyon yöntemi ile değişik oranlarda In katkılı örneklerin XRD saçılma sonuçlarını incelemiş olup, katkılamanın XRD üzerine etkilerini araştırmışlardır [28]. % 5 ve % 10 gibi artan In konsantrasyonuna bağlı olarak farklı pozisyonlarda pikler gözlenmiş olup bu pikler tetragonal fazdaki CdIn_2Se_4 oluşumu ile açıklanmış olup daha düşük konsantrasyondaki katkılama için sadece CdSe oluşumunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, katkılama sonucunda CdSe oluşumundan kaynaklanan piklerin genişlediği belirlenmiştir. Benzer genişleme Zn katkılı CdSe ince filmlerinde de rapor edilmiştir [29].



Şekil 4.2 Üretilen A1 ve A1_400 filmlerinin XRD sonuçları.

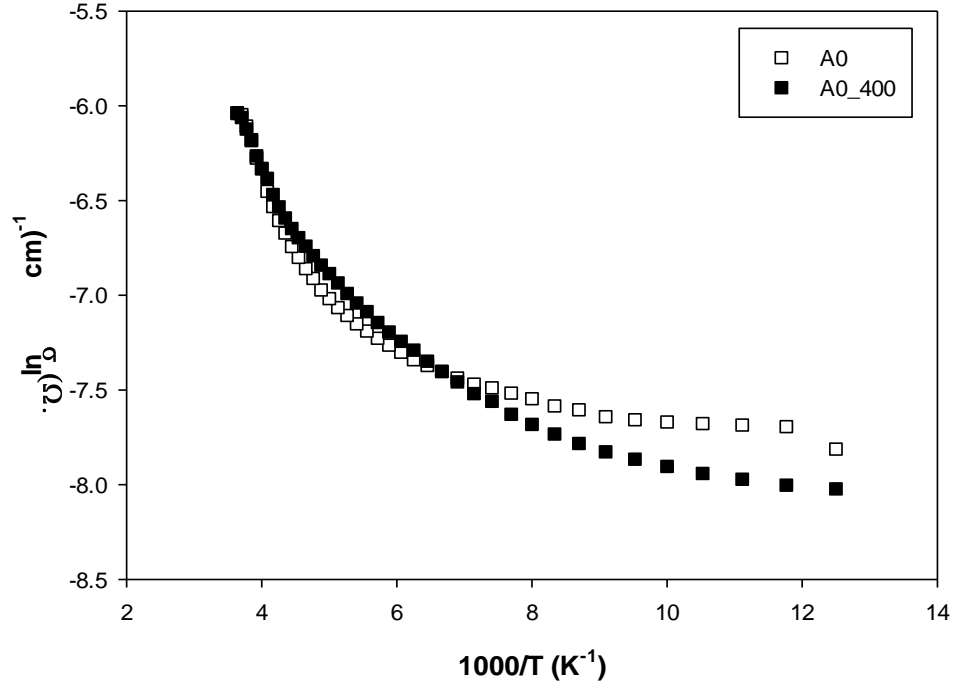
Genel olarak, bu tür malzemelerde büyütme yönteminin, yapı ve taşınım özellikleri üzerine etkisi bilinmektedir. Örneğin kristallerin direk katılaştırılması yöntemi ile elde edilen malzemelerde, katkı atomlarının yeterince yapıya girmediği ve segregasyon ile yapının dışına atıldığı gözlenmiştir. Fakat bu çalışmada gerçekleştirilen katkılama yönteminde, In elementi büyütme ampulüne doğrudan eklenmiş olmakla birlikte, sentezlenme esnasında sürekli olarak ampulün çalkalanması ile homojenlik sağlanmıştır. Buna ilaveten, elde edilen polikristal malzemenin agat havanda toz haline getirilmesi sonucunda homojenliğin daha da attığı düşünülmektedir. Büyütme esnasında Cd, In ve Se elementleri ayrı potalarda eritilmeyip, bu homojen toz yapının kaynak olarak kullanılması sonucunda elde edilen ince filmlere In katkı atomlarının girmesi daha da muhtemeldir. Bu sebeplerden dolayı, katkı oranının düşük olmasına rağmen hem A1 hem de A1_400 örneklerinde $2\theta=64,4^\circ$ pozisyonunda gözlenen pikin In katkılaması sonucunda meydana geldiği söylenebilir. Bu pik daha önce herhangi bir çalışmada rapor edilmemiş olup, CdInSe 'in farklı bir fazından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2 Sıcaklığa Bağlı Elektriksel İletkenlik

Bu bölümde üretilen ince filmlerin sıcaklığa bağlı olarak iletim mekanizmaları incelenmiş ve tuzak seviyeleri belirlenerek elektriksel iletkenliği

80-350 K sıcaklık aralığında belirlenmiştir. Üretilen numuneler üzerindeki In kontaktların omikliği, oda sıcaklığında $I-V$ ölçümleri ile belirlenmiştir.

(A0) ve 400 °C' de 30 dakika tavllanmış (A0_400) ince filmlerinin elektriksel iletkenliğinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.3' de verilmiştir. Her iki numune içinde iletkenliğin sıcaklığa üstel olarak bağımlı olduğu görülmektedir.

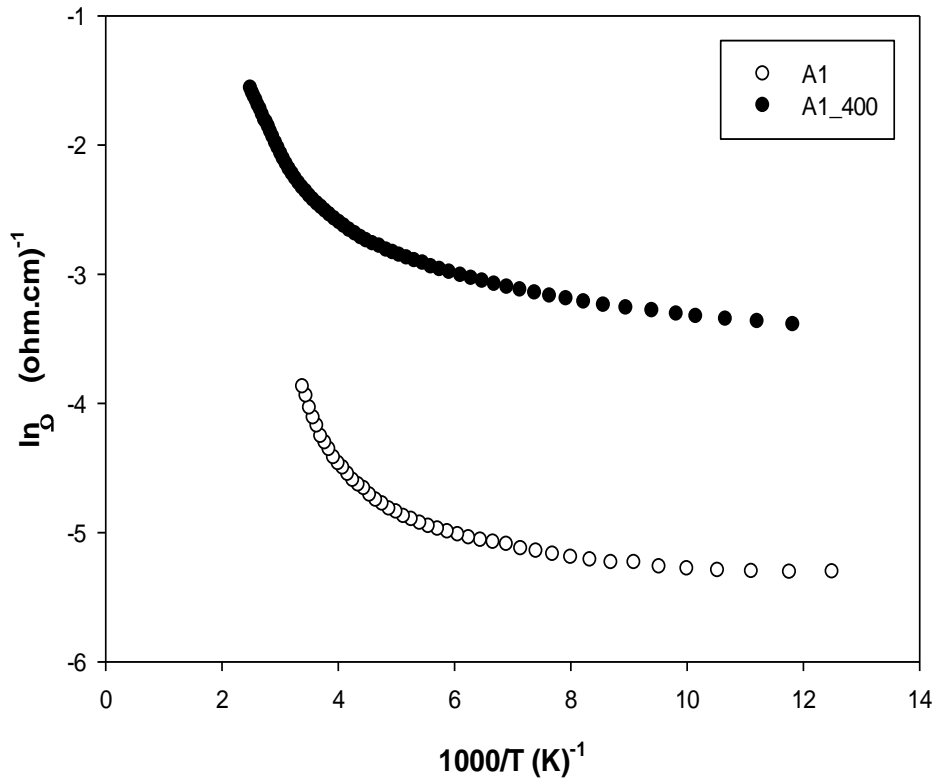


Şekil 4.3 A0 ve A0_400 ince filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi.

Sıcaklığa bağlı özdirenç ölçümlerinden, filmlerin özdirencinin tavlama ile düştüğü gözlenmiştir. Oda sıcaklığında A0 numunesinin özdirenci $3,77 \times 10^2$ ($\Omega\text{-cm}$), iken A0_400 numunesinin özdirenci $8,85 \times 10^1$ ($\Omega\text{-cm}$) olarak bulunmuştur. Farklı çalışmalarda kimyasal banyo yöntemi ile üretilen saf CdSe' nin özdirencinin tavlamaya bağlı olarak azaldığı ve özdirencin değişim aralığının 8×10^5 - $6,7 \times 10^5$ ($\Omega\text{-cm}$) olduğu rapor edilmiştir [8]. Yapılan başka bir çalışmada kimyasal banyo yöntemi ile üretilen saf CdSe ince filminin özdirencinin değişimi farklı tavlama sıcaklıklarında incelenmiştir. Tavlamaya ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak saf CdSe ince filminin özdirencinin $2,78 \times 10^6$ – $2,99 \times 10^5$ ($\Omega\text{-cm}$) aralığında değiştiği gözlenmiştir [30]. Farklı ince film depolama yöntemlerine bağlı olarak özdirenç değerinin değiştiği de ayrıca rapor edilmiş olup veriler ışığında üretilen filmlerde tavlamanın etkisinin görüldüğü söylenebilir.

Ayrıca A0 ve A0_400 filmleri için Şekil 4.3' den de görüleceği üzere iki farklı eğim ve dolayısıyla 2 farklı aktivasyon enerjisi söz konusudur. Düşük sıcaklık bölgesinde iletkenliğin sıcaklık ile değişimi zayıf olup bu bölgede aktivasyon enerjisi A0 için 10 meV, A0_400 filmi için ise 5 meV olarak bulunmuştur. Yüksek sıcaklık bölgesinde ise iletkenlik sıcaklık ile hızlı bir artış göstermiş olup, A0 numunesi için aktivasyon enerjisi 58 meV iken A0_400 filmi için aktivasyon enerjisi 40 meV olarak hesaplanmıştır.

Üretilen %1 In katkılı (A1) ve 400 °C' de 30 dakika tavllanmış katkılı CdSe (A1_400) filmleri için iletkenliğin sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.4' de verilmiştir.



Şekil 4.4 A1 ve A1_400 ince filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi.

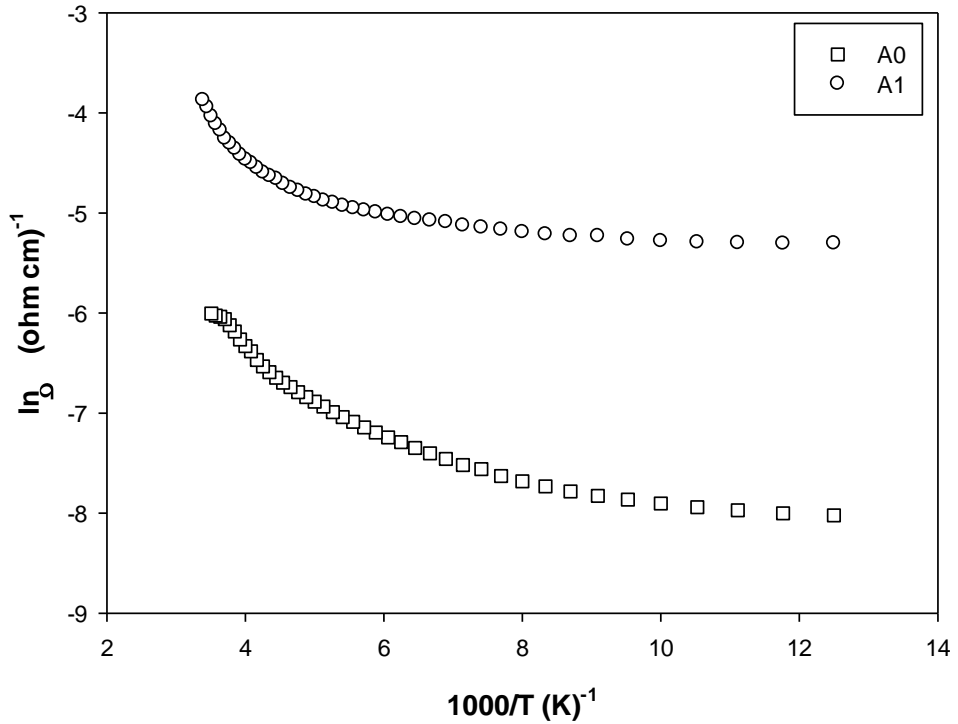
Yapılan ölçümler sonucunda tavlamaya bağlı olarak katkılı filmlerin de öz direncinin düştüğü gözlenmiştir. A1 numunesi için oda sıcaklığında öz direnci $4,40 \times 10^1$ ($\Omega\text{-cm}$), A1_400 filminin oda sıcaklığındaki öz direnci $9,93$ ($\Omega\text{-cm}$)' ye düşmüştür.

Katkısız ve In katkılı CdSe ince filmleri üzerine tavlama etkisi göz önüne alındığında, In katkılı örneklerde tavlama ile elektriksel iletkenliğin daha büyük

oranda arttığı görülmektedir. In katkısının iletkenliği arttırmasına ek olarak, tavlama ile iletkenliğin saf CdSe ince filmlerine oranla daha büyük bir artış göstermesi, katkı atomlarının tavlama ile yapı içerisinde aktif hale geçmesi ile açıklanabilir.

Sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümlerinden (A1) ve (A1_400) filmlerinin iletkenliğinin sıcaklığa üstel olarak bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 4.4' de çizilen grafiğe göre filmler 2 farklı eğime ve dolayısı ile 2 farklı aktivasyon enerjisine sahiptir. Düşük sıcaklık bölgesinde A1 ve A1_400 filmlerinin iletkenliğinin sıcaklık bağımlılığı zayıf olmakla birlikte, yüksek sıcaklıklarda bu bağımlılık daha fazladır. A1 numunesinin düşük sıcaklık bölgesinde aktivasyon enerjisi 4 meV, A1_400 filminin aynı bölgede aktivasyon enerjisi ise 6 meV olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık bölgesinde ise aktivasyon enerjileri A1 filmi için 23 meV, A1_400 numunesi için ise 59 meV olarak bulunmuştur.

Şekil 4.5' de ise saf ve katkılı numunelerinin (A0 ve A1) elektriksel iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi verilmiştir.



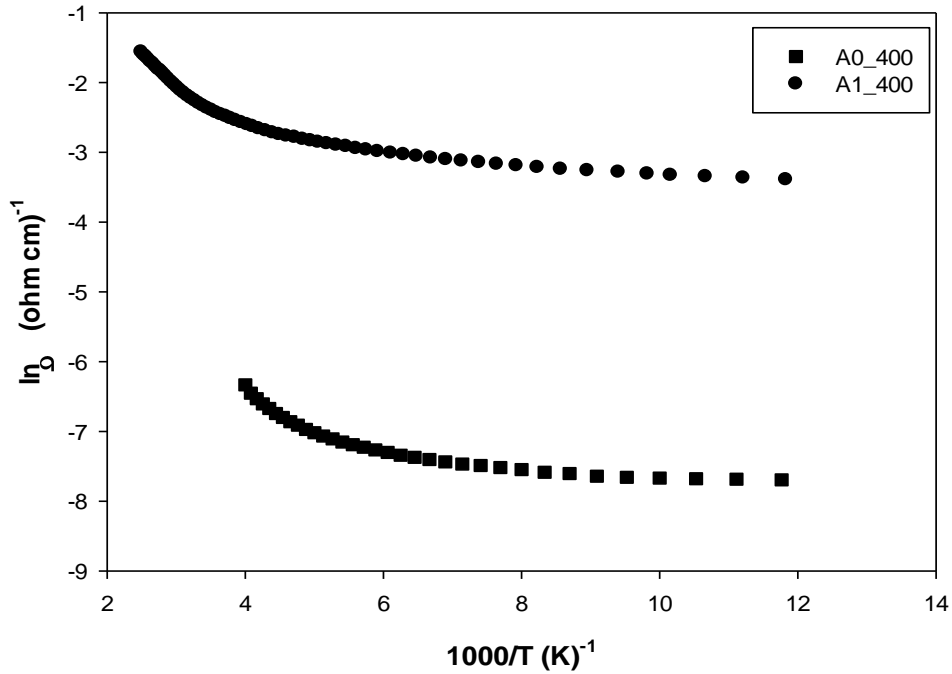
Şekil 4.5 A0 ve A1 ince filmlerinin iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

Katkılama sonucunda, A1 numunesinin saf malzeme olan A0 filmine oranla daha düşük öz dirence ve daha yüksek iletkenliğe sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Özdirenç ve iletkenlikteki bu değişim, saf olan yapıya In metalinin karışması ile birlikte yarıiletken malzemenin daha metalik bir yapıya geçmesi olarak yorumlanabilir.

Daha önceki çalışmalarda kimyasal banyo yöntemi ile üretilen saf CdSe ince filmine farklı oranlarda Hg (cıva) katkılanmış ve katkılamaya bağlı olarak numunenin özdirenci ve iletkenliğinin değişimi incelenmiştir. Düşük konsantrasyonlarda Hg katkısı ile saf malzemeye oranla numunelerin özdirencinin düştüğü, katkı konsantrasyonu artıkça ise özdirencin buna bağlı olarak arttığı belirlenmiştir [31]. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada lazer depolama yöntemi ile saf CdSe üretilerek saf malzeme üzerindeki Zn katkısı araştırılmıştır. Yapılan çalışmada katkılama sonucunda iletkenliğinin $2,3 \times 10^7 - 1,2 \times 10^4 (\Omega\text{-cm})^{-1}$ arasında değiştüğü rapor edilmiştir [29]. Üretilen ince filmlerde katkılamanın etkisi net bir şekilde görülmekte olup katkılama sonucu özdirencin azalmasının önceki çalışmalar ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Son olarak ise Şekil 4.6' da A0_400 ve A1_400 numunelerinin iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi verilmektedir.



Şekil 4.6 A0_400 ve A1_400 ince filmlerinin iletkenliklerinin sıcaklık ile değişimi.

Katkılama ve tavlamanın etkileri numuneler üzerinde net bir şekilde görülmektedir. A0_400 filmine oranla A1_400 filminin özdirenci daha düşük değerler alırken iletkenliği artmıştır. Ayrıca tavlansamamış A0 ve A1 numunelerine oranla üretilen ince filmlerin daha düzenli bir yapıya geçerek iletkenliklerinin sıcaklık ile değişiminin tavlansamamış filmlere oranla daha az değişim gösterdiği söylenebilir.

Üretilen ince filmlerin sıcaklığa bağıli elektriksel iletkenlik ölçümlerinden, filmlerin tipik yarıiletken davranışı sergileyip sıcaklık artışı ile birlikte iletkenliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu davranış termal olarak aktive olan taşıyıcıların iletkenliğe katkıda bulunduğunu göstermektedir.

4.3 Hall Mobilitesi Ve Taşıyıcı Konsantrasyonları

Sıcaklığa bağıli Hall olayı ölçümlerinde numunelerin iletkenlik tipi belirlenmiş ve Hall mobiliteleri ile taşıyıcı konsantrasyonları ölçülmüştür. Üretilen A0 numunesinin direnç değerinin deney yapılan cihazların ölçüm aralığının üzerinde olmasından dolayı, bu malzeme için Hall ölçümleri gerçekleştirilememiştir. Yine A0_400 numunesinin aynı sebepten ötürü Hall ölçümleri düşük sıcaklıklarda yapılamamış, taşıyıcı konsantrasyonu ve mobilitesi oda sıcaklığında ölçülebilmüştür. Tablo 4.1' de oda sıcaklığında A0, A0_400, A1 ve A1_400 numunelerinin özdirenç, düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinde aktivasyon enerjisi, Hall voltajı, Hall mobilitesi ve taşıyıcı konsantrasyonları verilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda oda sıcaklığında Hall geriliminin negatif değerine karşılık numuneler n tipi iletkenliğe sahiptir, katkılama ve tavlama bağıli olarak saf CdSe' nin özdirenci azalmıştır.

Tablo 4.1 Üretilen ince filmlerin oda sıcaklığında ölçülen elektriksel parametreleri.

Numune	$\rho_{295\text{ K}}$ ($\Omega\text{-cm}$)	E_{a1} (meV)	E_{a2} (meV)	$V_{H\ 295\text{ K}}$ (V)	$\mu_{H\ 295\text{ K}}$ ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)	$n_{295\text{ K}}$ (cm^{-3})
A0	$3,44 \times 10^2$	10,68	58,54			
A0_400	$8,85 \times 10^1$	5,43	40,43	$-1,54 \times 10^{-03}$	22,8	$6,94 \times 10^{12}$
A1	$5,15 \times 10^1$	4,63	23,27	$-1,08 \times 10^{-04}$	2,74	$1,16 \times 10^{16}$
A1_400	$1,03 \times 10^1$	6,44	59,09	$-5,97 \times 10^{-05}$	5,5	$2,09 \times 10^{17}$

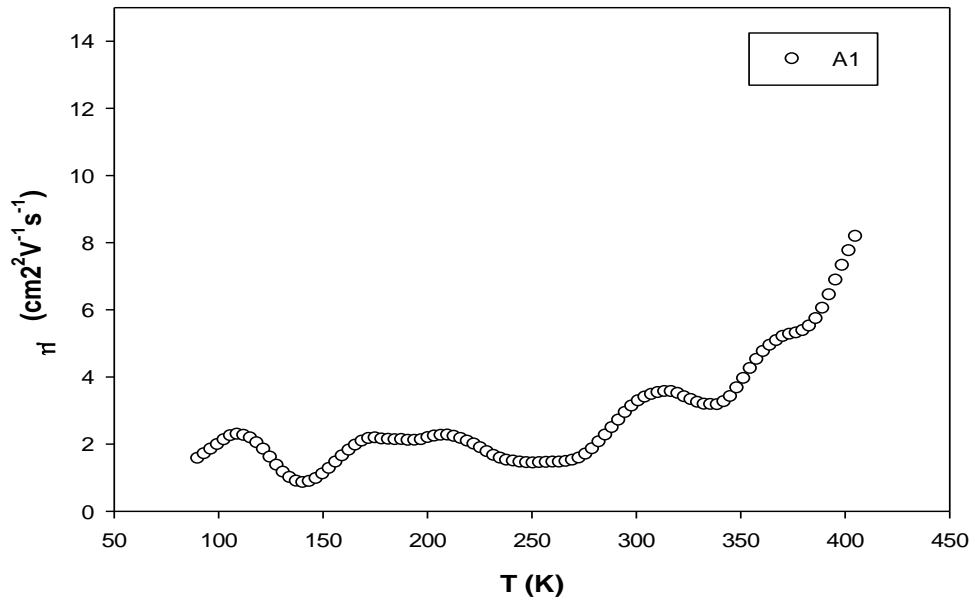
Katkılamaya bağılı olarak direnci saf malzemeye oranla biraz daha düşük katkılı CdSe ince filmlerinin mobilitesi ve taşıyıcı konsantrasyonları 100-380 K sıcaklıkları arasında ölçülmüştür.

Tablo 4.1' den de görüleceği gibi katkılama sonucunda mobilite değeri yaklaşık 23 ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)' den 3 ($\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) değerine düşmüştür.

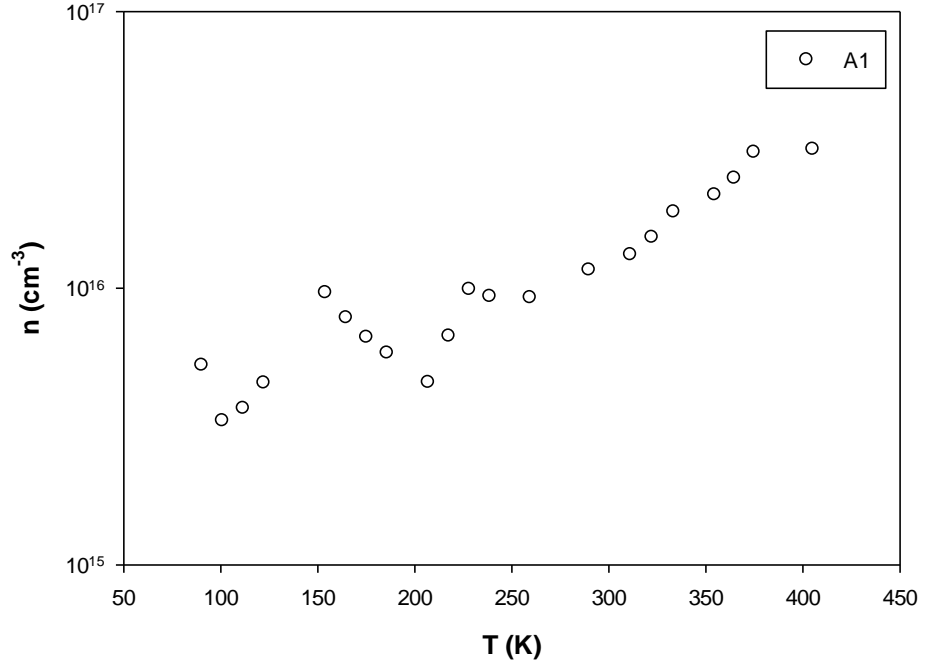
Şekil 4.7' de A1 ince filminin sıcaklığa bağılı mobilitesi görülmektedir. Düşük sıcaklık bölgesinde mobilitenin sıcaklığa bağımlılığı zayıf iken sıcaklık arttıkça mobilite değerinde de bir artış gözlenmektedir. Mobilitenin sıcaklık bağımlılığı genellikle $\mu \propto T^n$ şeklinde olup n değeri ise düşük ve yüksek sıcaklıklarda fonon saçılması ve kirlilik saçılmasına bağılı bir sabittir. Şekil 4.7' de görüldüğü gibi mobilite artan sıcaklık ile bir artış eğilimindedir ve n değeri pozitifdir ($n = 0,068$). Bu da saçılmanın iyonize olmuş kirliliklerden kaynaklandığını göstermektedir.

Taşıyıcı konsantrasyonunda yaklaşık 10^4 (cm^{-3}) mertebesindeki artışın da In katkılaması sonucunda meydana gelen kirlilikten olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.8' de ise A1 örneği için elektron konsantrasyonunun sıcaklık ile değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi elektron konsantrasyonu aratan sıcaklık ile artış gösterdiği görülmektedir. A1 numunesinin taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığa bağılı olarak artması, termal olarak uyarılan taşıyıcıların iletme katkıda bulunduğunu açıklamaktadır.



Şekil 4.7 A1 ince filminin sıcaklığa bağılı olarak Hall mobilitesinin değişimi.



Şekil 4.8 A1 ince filminin taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığa bağlı değişimi.

4.4 Manyeto Direnç Ölçümleri

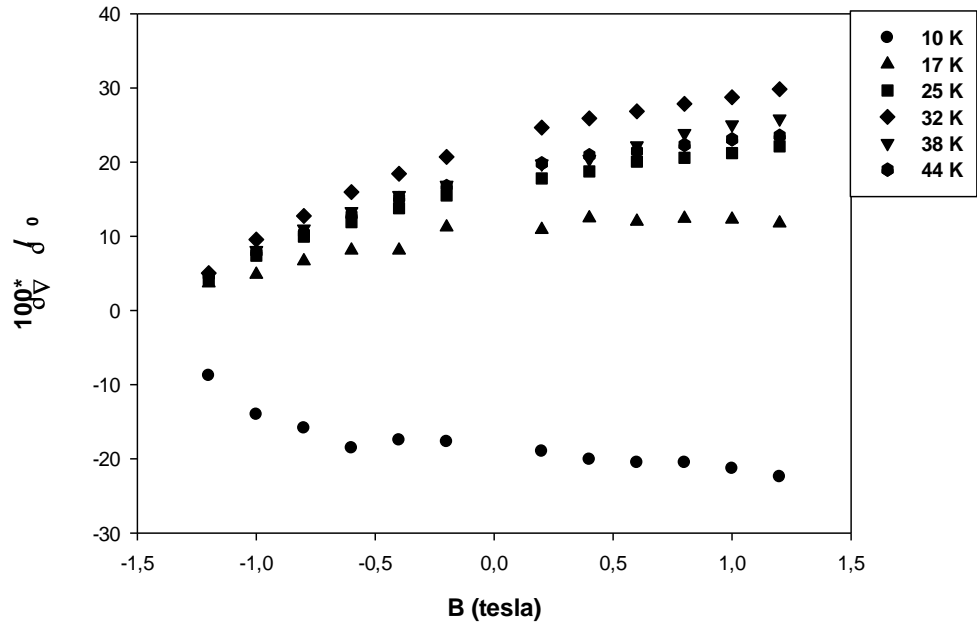
Bu bölümde üretilen saf ve katkılı ince filmlerin, manyetik alan uygulanmadan önce ve uygulandıktan sonraki direnç değişimleri 10-45 K sıcaklık aralığında incelenmiştir. Yapılan ölçümler sabit bir sıcaklıkta manyetik alanın -1,2 T ile +1,2 T arasında ve her bir ölçüm sonucunda manyetik alanda 0,2 T artış olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9’ da saf malzemenin manyeto direncinin değişen manyetik alana karşı grafiği çizilmiştir..

10 K sıcaklığında A0 numunesinin negatif manyeto dirence sahip olduğu, daha yüksek sıcaklıklarda ise manyeto direncin pozitif değer aldığı gözlenmiştir. Ayrıca belirtmelidir ki, sıcaklığın yükselmesi ile birlikte manyeto dirençteki değişim de azalmıştır.

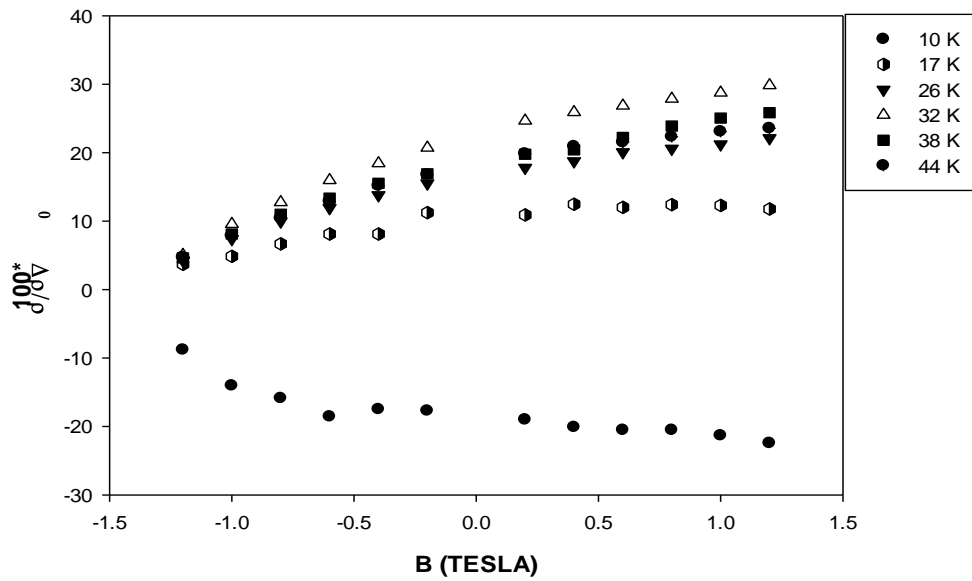
Aynı şekilde A1 numunesi içinde 10-45 K sıcaklıkları arasında manyeto direncin sıcaklığa ve manyetik alana bağlılığı araştırılmıştır. Şekil 4.10’ da A1 numunesinin manyetik direncinin manyetik alana bağlılığı gösterilmiştir. 10 K sıcaklığında numunesi için de manyeto direnç negatif ölçülmüş yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ise manyeto direnç pozitif değerler almıştır.

Yapılan daha önceki bir çalışmada, CdSe bileşiğine düşük ve yüksek oranda Cr katkılanarak, manyeto direncin değişimi araştırılmıştır. Düşük Cr katkısının bir

sonucu olarak 10 K sıcaklığının altında CdSe için negatif manyeto direnç gözlemlendiği belirtilmiştir. Aynı çalışmada Cr katkı oranının artması ile birlikte, manyeto direncin aynı koşullar altında pozitif değerler aldığı rapor edilmiştir [24]. Aynı şekilde A0 ve A1 numuneleri için yapılan ölçümlerde, saf numuneye düşük oranda In katkılamanın etkisinin çok az olduğu, saf ve katkılı ince filmlerin düşük sıcaklık aralığında negatif, daha yüksek sıcaklık bölgelerinde ise pozitif manyeto direncin gözlemlendiği ve manyeto direnç değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.9 A0 ince filminin manyeto direncinin manyetik alan ile değişimi.

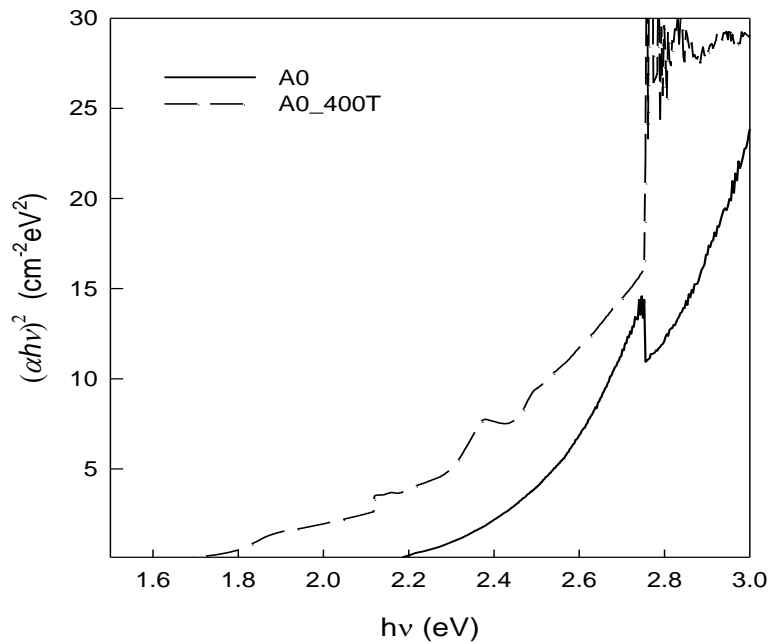


Şekil 4.10 A1 ince filminin manyeto direncinin manyetik alan ile değişimi.

4.5 Optik Soğurma

Üretilen ince filmler için oda sıcaklığında soğurma spektrumları incelenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda katkılamanın ve tavlamanın ince filmlerin yasak enerji aralığına etkileri araştırılmıştır.

Şekil 4.11’ de A0 ve A0_400 numunelerinin $h\nu$ ye karşılık $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri çizilerek tavlamanın filmlerin yasak enerji aralığına etkisi araştırılmıştır. Grafiğin lineer olduğu bölgeye karşılık gelen enerji değeri numunelerin yasak enerji aralığını vermektedir.



Şekil 4.11 A0 ve A0_400 numunelerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi.

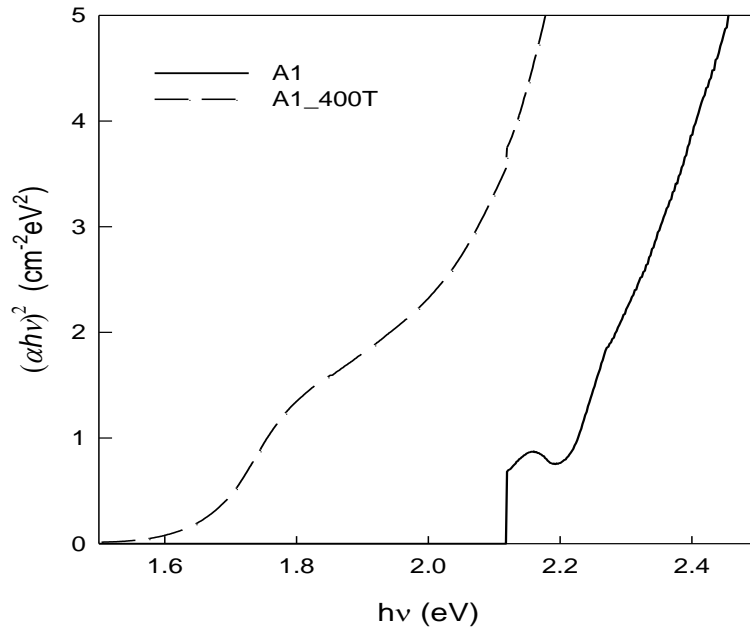
Yapılan ölçümler sonucunda A0 numunesinin yasak enerji aralığı yaklaşık olarak 2,25 eV olarak, A0_400 numunesinin ise yasak enerji aralığı 1,75 eV olarak bulunmuştur. Aynı zamanda filmlerde doğrudan bant geçişleri gözlenmiştir. Tavlamanın etkisi ile filmlerin yasak enerji aralıklarının daha düşük enerjilere doğru kaydığı görülmüştür. Bu olay numunenin tavlamaya bağlı olarak daha düzenli bir yapıya geçtiğinin bir ölçüsüdür.

2004 yılında R. B. Kale ve arkadaşları CdSe ince filmini kimyasal banyo yöntemi ile üreterek tavlamaya bağlı olarak yasak enerji aralıklarının değişimini incelemiştir. Tavlamanın yasak enerji aralığı 2,3 eV olarak bulunurken 400 °C’ de 4 saat tavlamanın yasak enerji aralığı 1,7 eV olarak bulmuşlardır [8].

Başka bir çalışmada 2003 yılında C. Baban ve arkadaşları termal buharlaştırma yöntemi ile CdSe ince filmi üretmişler ve filmlerin yasak enerji aralıklarının tavlamaya bağlı değişimlerini incelemişlerdir. 200 °C’ de 30 dakika tavlanan filmlerin yasak enerji aralığı 1,65 ev olarak bulunurken tavlansız filmlerin yasak enerji aralığı 1,75 eV olarak bulmuşlardır [3].

Elde edilen veriler ışığında A0 ve A0_400 numuneleri tavlamaya bağlı olarak gözlenen sonuçlar literatür ile uyumludur.

Şekil 4.12’ de ise A1 ve A1_400 ince filmlerinin $h\nu$ ye karşılık $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri çizilerek tavlamanın filmlerin yasak enerji aralığına etkisi araştırılmıştır.



Şekil 4.12 A1 ve A1_400 numunelerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi.

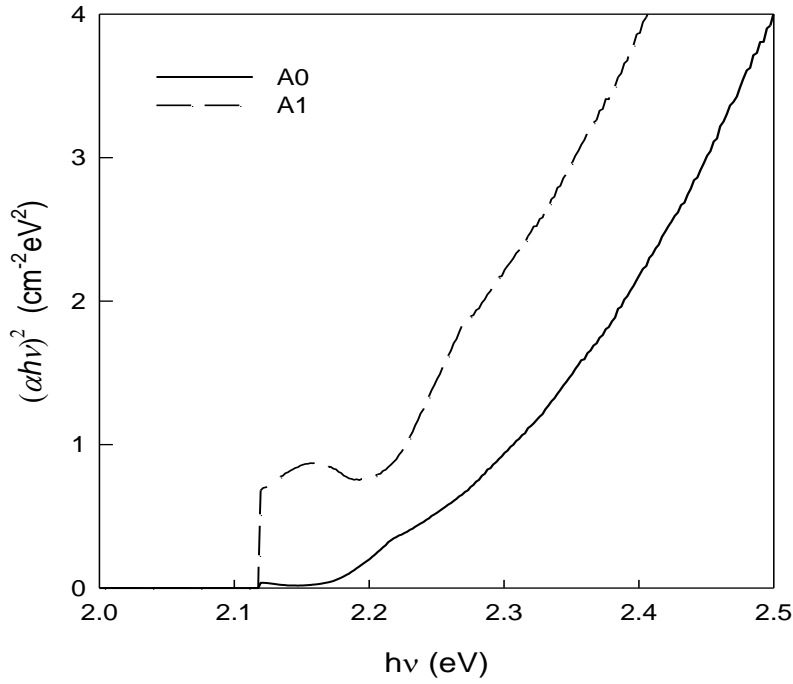
Yapılan ölçümler sonucunda A1 numunesinin yasak enerji aralığı yaklaşık olarak 2,18 eV olarak bulunurken, A1_400 numunesinin yasak enerji aralığı 1,65eV olarak bulunmuştur. Tavlamaya bağlı olarak filmlerin yasak enerji aralığı daha düşük bir değer alırken A1 ve A1_400 filmlerinin de düzenli bir yapıya geçtiği gözlenmiştir.

Şekil 4.13’ de A0 ve A1 numunelerinin yasak enerji aralığı araştırılarak filmler üzerindeki katkılamanın etkisi araştırılmıştır.

Son olarak Şekil 4.14’ de A0_400 ve A1_400 ince filmlerinin tavlamaya ve katkılama bağlı olarak yasak enerji aralıklarının değişimi incelenmiştir.

Katkılama etkisine bağılı olarak filmlerin yasak enerji aralıklarının daha düşük değerler aldığı açıkça görülmektedir.

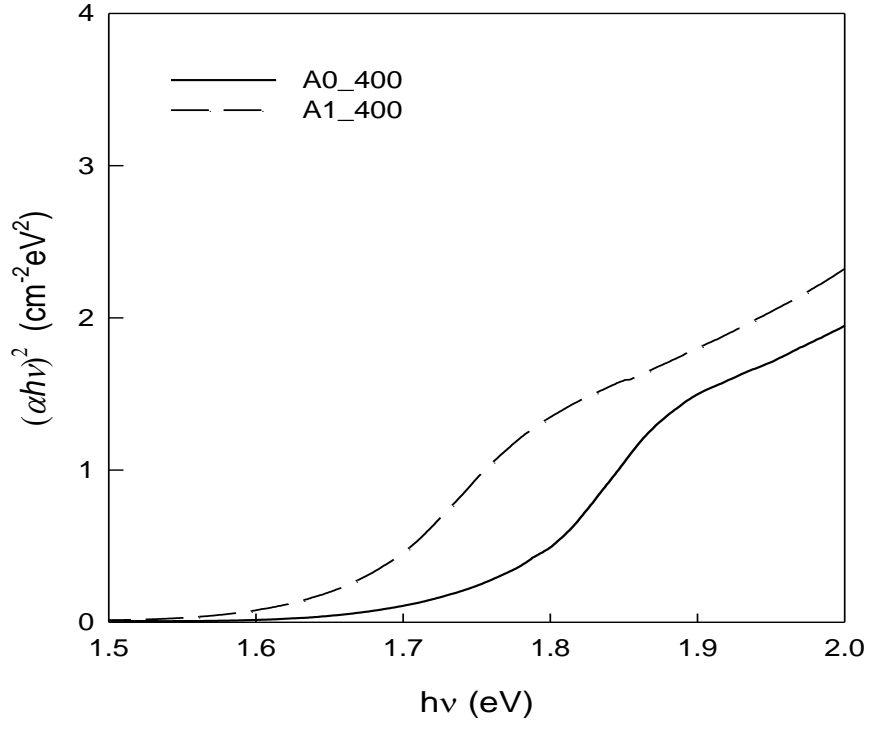
2003 yılında G. Perna ve arkadaşları lazer ablasyon metodu ile In katkılı CdSe ince filmleri üreterek filmlerin yasak enerji aralıkları üzerindeki katkılamanın ve sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Katkılamaya bağılı olarak %1 In katkılı filmlerin yasak enerji aralıklarını 10 K sıcaklığında 1,74 eV, oda sıcaklığında ise yaklaşık olarak 1,67 eV bulmuşlardır [28].



Şekil 4.13 A0 ve A1 ince filmlerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi.

2010 yılında S. Thanikaikarasan ve arkadaşları elektrodeposition yöntemi ile CdSe ve Fe katkılı CdSe ince filmleri üreterek filmlerin yasak enerji aralığına katkılamanın etkisini araştırmışlardır. Oda sıcaklığında Fe katkılı CdSe ince filmi için yasak enerji aralığını 1,70 eV, saf CdSe filmi için yasak enerji aralığını 1,73 eV olarak bulmuşlardır [32].

Yapılan ölçümler sonucunda katkılamaya bağılı olarak ölçülen A0, A1, A0_400 ve A1_400 numuneleri için katkılamanın etkisi literatür ile uyumludur.



Şekil 4.14 A0_400 ve A1_400 ince filmlerinin $h\nu - (\alpha h\nu)^2$ karşı değişimi.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen II - VI yarıiletken grubuna ait olan katkısız ve In katkılı CdSe ince filmlerinin, kristal yapısı, elektrik ve optik özellikleri, XRD, sıcaklığa bağlı iletkenlik, Hall etkisi, manyeto direnç ve oda sıcaklığında soğurma yöntemleri ile araştırılmıştır.

Ayrıca saf ve katkılı örneklerin tavlama işlemine bağlı olarak, yapılarındaki değişimi incelemek için üretilen filmler 400 °C' de 30 dakika tavllanmışlardır.

Katkısız ve katkılı numunelerin yapı analizleri XRD ölçümleri ile yapılmış, ortaya çıkan piklerin şekil ve pozisyonlarından filmlerin polikristal olduğu ve kristal yapının hegzagonal yapıda olduğu tespit edilmiştir. Tavlamaya bağlı olarak ise filmlerin daha düzenli bir yapıya geçiş yaptığı gözlenmiştir.

Sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümlerinden filmlerin tipik yarıiletken davranışı sergilediği ve iletkenliğin sıcaklığa üstel olarak bağlı olduğu gözlenmiştir. Katkılamaya ve tavlamaya bağlı olarak, saf numuneye göre filmlerin özdirençlerinin azaldığı, iletkenliklerinin ise arttığı belirlenmiştir. Filmlerin özdirençlerinin oda sıcaklığında değişim aralığı, $3,44 \times 10^2 - 1,03 \times 10^1$ (Ω -cm) şeklindedir.

Sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümlerinden düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinde 2 farklı tuzak seviyesine rastlanmıştır. Bu tuzak seviyeleri saf numuneler için, düşük sıcaklık bölgesinde 5 – 10 meV'lik seviyelerde bulunurken, yüksek sıcaklık bölgesinde 40 – 58 meV' lik seviyelere kaymıştır. Katkılı örnekler için ise bu elektron tuzakları, düşük sıcaklık bölgesinde 4 – 6meV' lik, yüksek sıcaklık bölgesinde 23 – 59 meV' lik seviyelerde yer almaktadır.

Yapılan Hall ölçümlerinden, filmlerin n tipi iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur.

10 – 45 K sıcaklıkları aralığında yapılan manyeto direnç ölçümlerinden numunelerin 10 K ve altında negatif manyeto dirence, daha yüksek sıcaklıklarda ise pozitif manyeto dirence sahip olduğu belirlenmiştir.

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen soğurma ölçümlerinden filmlerin doğrudan bant geçişine sahip olduğu, tavlamaya bağlı olarak saf CdSe filmlerinin yasak enerji aralığının 2,25 eV' den 1,75 eV değerine düştüğü gözlenmiştir. Benzer düşüş In katkılı CdSe filmi için 2,18 eV' den 1,65 eV şeklinde gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] AKALTUN Yunus. 2006 CdSe, ZnSe ve $CdxZn_{1-x}Se$ Yarıiletken İnce Filmlerinin SILAR Tekniği İle Büyütülmesi Yapısal, Optik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi 1-3
- [2] H.E. Esparza-Ponce, J. Hernández-Borja, A. Reyes-Rojas, M. Cervantes-Sánchez, Y.V. Vorobiev, R. Ramírez-Bon, J.F. Pérez-Robles, J. González-Hernández *Materials Chemistry and Physics*, 113 (2009) 824–828
- [3] Cristian Baban, G.I. Rusu. *Applied Surface Science*, 211 (2003) 6–12
- [4] M. G. Syed Basheer Ahamed, A. R. Balu, V. S. Nagarethinam, A. Thayumanavan, K. R. Murali, C. Sanjeeviraja, and M. Jayachandran. *Cryst. Res. Technol.* **45**, No. 4, 387 – 392 (2010)
- [5] Tixian Zeng, BeijunZhao, ShifuZhu, ZhiyuHe, BaojunChen, ZhaoyiTan *Journal of Crystal Growth*, 316 (2011) 15–19
- [6] A.S. Khomane, P.P. Hankare, *Journal of Alloys and Compounds*, 489 (2010) 605–608
- [7] H.M. Pathan, B.R. Sankapal, J.D. Desai, C.D. Lokhande. *Materials Chemistry and Physics*, 78 (2002) 11–14
- [8] R B Kale and C. D. Lokhande. *Semicond. Sci. Technol.* 20 (2005) 1–9
- [9] S.A. Mahmoud, A. Ashour , E.A. Badawi. *Applied Surface Science*, 253 (2006) 2969–2972
- [10] S.M. Pawar, A.V. Moholkar, K.Y. Rajpure, C.H. Bhosale. *Applied Surface Science*, 253 (2007) 7313–7317
- [11] S. Erat, H. Metin, M. Arı. *Materials Chemistry and Physics*, 111 (2008) 114–120

- [12] D. Patidar, K. S. Rathore, N. S. Saxena, Kananbala Sharma, T. P. Sharma. *Chalcogenide Letters Vol. 5*, No. 2, February 2008, p. 21 - 25
- [13] S. M Hus, and M Parlak. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 41 (2008) 035405 (8pp)
- [14] K. Girija, S. Thirumalairajan, S. M. Mohan, J. Chandrasekaran. *Chalcogenide Letters Vol. 6*, No. 8, August 2009, p. 351 – 357
- [15] K. D. Patel, M. S. Janı, V. M. Pathak, R. Srıvastava. *Chalcogenide Letters Vol. 6*, No. 6, June 2009, p. 279 - 286
- [16] M. G. Syed Basheer Ahamed, A. R. Balu, V. S. Nagarethinam, A. Thayumanavan, K. R. Murali, C. Sanjeeviraja, and M. Jayachandran. *Cryst. Res. Technol. 45*, No. 4, 387 – 392 (2010)
- [17] Kiyotaka Wasa, Makoto Kitabatake, Hideaki Adachi. Thin Film Materials and Technology Sputtering Of Compound Materials *William Andrew, Inc.* USA, 2004 2-10
- [18] KILINÇ Tuğba. (2006) Zn_{1-x}FexS İnce Filmlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi 1-2
- [19] www.kolzer.com Vaccum Depositon Process 1-3
- [20] KIRMIZIGÜL Filinta. (2008) CdO İnce filmlerin Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi Adana, 1-2
- [21] KARABULUT Orhan. (2003) Structural, Electrical and Optical Characterization of N- and Si Implanted GaSe Single Crystal Grown By Brigman Method, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 17-20
- [22] Chihiro Hamaguchi. Basic Semiconductors Physics *Springer* Osaka 2009 287-291
- [23] Perry A. Holman. Magnetoresistance Transducers and How to Use Them as Sensors *Honeywell International Inc.* 2004 2
- [24] D. M. Finlayson . *Phys. Condens. Matter 6*, (1994) 8277-8283
- [25] Vij. D. R. (1998) Luminescence of Solids, **Plenum Press**, New York, 427

- [26] J. I. Pankove. Optical Processes in Semiconductors, *Prentice- Hall*, London 1971 34-36
- [27] Tunalıoğlu Sedef Őebnem. (2007) InGaP Yariletkeninde Mobilite Analizi, *Gazi Őniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi 37
- [28] G. Perna, V. Capozzi, A. Minafra, M. Pallara, and M. Ambrico. *Eur. Phys. J. B* **32**, 339–344 (2003)
- [29] G. Perna, V. Capozzi, M. Ambrico, V. Augelli, T. Ligonzo, A. Minafra, L. Schiavulli, M. Pallara. *Applied Surface Science*, 233 (2004) 366–372
- [30] S. Erat, H. Metin, M. Arı. *Materials Chemistry and Physics*, 111 (2008) 114– 120
- [31] V.M. Bhuse. *Materials Chemistry and Physics*, 91 (2005) 60–66
- [32] S. Thanikaikarasana, K. Sundarama, T. Mahalingama, S. Velumani, Jin-Koo Rheec. *Materials Science and Engineering* MSB-12454; Pages7

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Duygu Takanoğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 15.06.1985

Adres: Fesleğen Mah. İstiklal Cad. 1046 Sok. No : 2 D:13 Denizli

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi

Yayın Listesi:

1. T. Tilki, M. Yavuz, A. Kaplan, O. Karabulut, S. Doğan, D. Takanoğlu.
Investigation of Irradiation Effect on Conductive Composite of Polyprol/Bentonite,
75th Prague Meeting on Macromolecules, 10-14 Temmuz 2011, Prag Çek
Cumhuriyeti
2. T. Tilki, O. Karabulut, M. Yavuz, A. Kaplan, D. Takanoğlu, M. Çabuk.
Irradiational Effects on Transport properties of polyaniline and polyaniline/bentonite
composites, *75th Prague Meeting on Macromolecules*, 10-14 Temmuz 2011, Prag
Çek Cumhuriyeti