

**CdSe, ZnSe ve Cd_xZn_{1-x}Se YARIİLETKEN İNCE FILMLERİNİN SILAR TEKNİĞİ İLE
BÜYÜTÜLMESİ YAPISAL, OPTİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Yunus AKALTUN

Doktora Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

2006

Her Hakkı Saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**CdSe, ZnSe ve Cd_xZn_{1-x}Se YARIİLETKEN İNCE FİLMLEİNİN
SILAR TEKNİĞİ İLE BÜYÜTÜLMESİ, YAPISAL, OPTİK VE
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yunus AKALTUN

FİZİK ANABİLİM DALI

ERZURUM
2006

Her Hakkı Saklıdır

Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM danismanliginda, Yunus AKALTUN tarafindan hazirlanan bu çalisma 14/11/2006 tarihinde asagidaki jiri tarafindan, Fizik Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmistir.

Baskan: Prof. Dr. Ibrahim Halil MUTLU

Imza :

Üye: Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

Imza :

Üye: Prof. Dr. Erdogan BÜYÜKKASAP

Imza :

Üye: Prof. Dr. Mustafa SAGLAM

Imza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK

Imza :

Yukaridaki sonucu onaylarim

(imza)

Prof. Dr. Mehmet ERTUGRUL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ YARIİLETKEN İNCE FİMLERİNİN SILAR TEKNİĞİ İLE BÜYÜTÜLMESİ, YAPISAL, OPTİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yunus Akaltun

Atatürk Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Anabilim Dalı

Danisman: Prof. Dr. Muhammet Yildirim

CdSe yariiletkeni ince film transistörlerde, güneş pillerinde, optoelektronik aygıt üretiminde, alan etkili transistörlerde, kızıl ötesi optikte, isiga bagimli direnç uygulamalarında ve gama isigi dedektörlerinde yaygin olarak kullanilmaktadir. ZnSe ve karisimlerinden elektromanyetik spektrumun mavi ve yesil bölgesinde çalisan laser elde edilmesi sonucunda, bu malzeme yariiletken teknolojisinde genis yasak enerji aralikli yariiletkenlerin öneminin artmasini saglamistir.

Büyütme metotlari arasinda SILAR daha ucuz, daha basit ve az zaman harcanmasi gibi özelliklerinden dolayi son yillarda oldukça tercih edilmektedir. Bu metot bir kimyasal çözültiden katkilama teknigidir. Bilesik yariiletken ince filmlerin, her bir türünün iyonlarini içeren sulu çözültuler içerisinde taban malzemenin belli bir sira ile daldirilarak, taban malzeme üzerine çökelmesi ile olusmasini saglayan basit bir tekniktir.

SILAR yöntemiyle büyütülen CdSe, ZnSe ve bunlarin karisimlanmasi sonucu olusan $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin, sicakliga bagli sogurma, fotoluminesans, SEM, XRD, öz direnç ve kalinlik ölçümleri yapilmistir.

$Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinde Zn konsantrasyonu arttikça yapida düzensizliklerin azaldigi ve tüm yüzeye homojen bir büyümenin gerçeklestigi SEM görüntüleri sonucunda gözlendi. Bununla birlikte, yasak enerji araligi CdSe filmi için 1,88 eV, ZnSe filmi için ise 2,68 eV olarak bulundu. $Cd_xZn_{1-x}Se$ filmleri için yasak enerji araligi bulunan bu degerler arasinda degistigi tespit edildi. XRD ölçümleri neticesinde filmlerin polikristal yapıya sahip olduklari bulundu. Sogurma ölçümleri neticesinde, artan sicaklıkla ve kalinlikle yasak enerji araliginin azaldigi gözlenmistir. PL ölçümleri ve sogurma ölçümleri neticesinde bulunan yasak enerji araligi degerleri birbirleriyle uyum göstermektedir. Öz direnç ölçümleri neticesinde sicaklıkla öz direncin azaldigi tespit edilmiş bu da bize, büyütülen filmlerin yariiletken özellige sahip oldugunu göstermektedir.

2006, 101 sayfa

Anahtar Kelimeler: SILAR, CdSe, ZnSe, $Cd_xZn_{1-x}Se$, Sogurma, PL, Öz direnç

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

GROWTH OF CdSe, ZnSe ve Cd_xZn_{1-x}Se THIN FILMS WITH SILAR TECHNIQUE AND INVESTIGATION OF ITS STRUCTURAL, OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES.

Yunus Akaltun

Atatürk University
Faculty of Arts and Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

CdSe semiconductor commonly are used in thin film transistors, solar cells, optoelectronic device productions field effect transistors, infrared optics, light dependent resistor applications and gamma ray detectors. ZnSe and its alloys were increased the importance of the wide bandgap semiconductors after the production of laser which operates in the blue and green wavelength of the electromagnetic spectrum.

At the last decade, SILAR has been rather used because of the superior properties such as being cheaper, easier and spending less time. This method is the deposition technique of from a chemical solution. It is simple technique which is formation of compound semiconductor thin films from an ionic solution of each element in a compound to substrate by dipping the substrate in a certain sequence in solutions.

Temperature dependent absorption and resistivity, photoluminescence, SEM, XRD and thickness measurements were conducted in CdSe, ZnSe and their alloys Cd_xZn_{1-x}Se thin films which were grown by SILAR method.

As the Zn composition was increased, the decrease in structural irregularities and homogeneous growth to the whole surface were observed from the SEM measurements in Cd_{1-x}Zn_xSe thin films. In addition, the bandgap values of the films were found as 1.88 eV for CdSe films and 2.68 eV for ZnSe films. Polycrystalline nature of the films was determined from the results of the XRD measurements. From the results of the absorption measurements, the decrease in bandgap values was observed with the increase of temperature and thickness. There is correlation between the found bandgap values from PL and absorption measurements. As a result of resistivity measurements, the decrease in resistivity with temperature was observed, which shows the semiconducting nature of the films.

2006, 101 Pages

Keywords: SILAR, CdSe, ZnSe, Cd_xZn_{1-x}Se, Absorption, PL, Resistivity

TESEKKÜR

Doktora Tezi olarak sundugum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM'a derin minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Aytunç ATES ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK'a tesekkür ederim. Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Ars. Gör. Mutlu KUNDAKÇI'ya, tez çalışmam süresinde ilgili yardımlarından dolayı Sayın Ars. Gör. Emre GÜR'e, Sayın Öğr. Gör. H. Ferit BAYATA'ya, Fizik Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Yusuf SAHİN'e, Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Erdogan BÜYÜKKASAP'a ayrıca Erzincan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Müdürü Sayın Prof. Dr. Sakir BAYINDIR'a tesekkür ederim.

SEM ölçümleri için Kirikkale Üniversitesi Fizik Bölümüne, XRD ölçümleri için K.T.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden Sayın Öğr. Gör. Tayfur KÜÇÜKÖMEROGLU'na tesekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana göstermiş oldukları destekten dolayı çok değerli ailem ve esime tesekkür ederim.

Yunus AKALTUN

Aralık 2006

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-----|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TESEKKÜR..... | iii |
| SIMGELER DIZINI..... | vi |
| SEKİLLER DIZINI..... | vii |
| ÇİZELGELER DIZINI..... | xi |
| 1.GİRİS | 1 |
| 1.1. II-VI Bileşik Yarıiletkenler | 1 |
| 1.2. CdSe, ZnSe ve Cd _x Zn _{1-x} Se | 3 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER | 10 |
| 2.1. Katkili ve Katkisiz Yarıiletkenler | 10 |
| 2.2. Yarıiletken İnce Filmler..... | 13 |
| 2.2.1 İnce film büyütme işlemi | 14 |
| 2.3. Yarıiletkenlerin Yasak Enerji Aralığının Değişmesi..... | 18 |
| 2.3.1. Sıcaklığın yarıiletkenin yasak enerji aralığına etkisi | 18 |
| 2.3.2. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığına basıncın etkisi..... | 19 |
| 2.3.3. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığına manyetik alanın etkisi..... | 19 |
| 2.3.4. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığına elektrik alanın etkisi | 21 |
| 2.4. Yarıiletkenlerde Sogurma (Absorpsiyon) Olayları..... | 21 |
| 2.4.1. Temel sogurma olayı..... | 22 |
| 2.4.2. Serbest yük taşıyıcılarının sogurması | 23 |
| 2.4.3. Katkı atomlarının sogurması..... | 24 |
| 2.5. Yarıiletkenlerde Özdirençin Sıcaklıkla Değişimi | 24 |
| 2.6. Fotoluminesans İsiması..... | 26 |
| 2.6.1. Lüminesans verimi | 29 |
| 2.7. X-İşini | 33 |
| 2.6.1. X-ışını kırınımı..... | 35 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 37 |
| 3.1. SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) Tekniği..... | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2. SILAR'ın Teorik Altyapısı | 39 |
| 3.3. SILAR Tekniginin Asamaları..... | 40 |
| 3.4. Çözeltilerin Hazırlanması | 43 |
| 3.4.a. CdCl ₂ çözeltisinin hazırlanması | 43 |
| 3.4.b. ZnCl ₂ çözeltisinin hazırlanması | 43 |
| 3.4.c. Na ₂ SeSO ₃ çözeltisinin hazırlanması..... | 44 |
| 3.5. Altıkların Hazırlanması..... | 44 |
| 3.6. CdSe İnce Filmlerin Üretimi..... | 44 |
| 3.7. ZnSe İnce Filmlerin Üretimi..... | 46 |
| 3.8. Cd _x Zn _{1-x} İnce Filmlerin Üretimi | 47 |
| 3.9. Film Kalınlıklarının Ölçümü..... | 49 |
| 3.10. Sogurma Yöntemi ile Yarıiletkenin Yasak Enerji Aralıklarının Belirlenmesi | 52 |
| 3.11. Elektron Mikroskobu | 53 |
| 3.12. Yarıiletkenlerin Özdirencinin Prob Yöntemiyle Ölçülmesi | 54 |
| 3.13. Yarıiletkenin İletkenlik Tipinin Ölçülmesi | 58 |
| 4. ARASTIRMA BULGULARI..... | 61 |
| 4.1. Deney Sistemleri ve Ölçülerin Alınması | 61 |
| 4.2. CdSe, ZnSe ve Cd _x Zn _{1-x} Se İnce Filmlerin Yüzey Görüntüleri..... | 61 |
| 4.3. CdSe, ZnSe ve Cd _x Zn _{1-x} Se İnce Filmlerin Sogurma Ölçüleri | 68 |
| 4.4. CdSe, ZnSe ve Cd _x Zn _{1-x} Se İnce Filmlerin Fotoluminesans Ölçüleri | 77 |
| 4.5. CdSe, ZnSe ve Cd _x Zn _{1-x} Se İnce Filmlerin Elektriksel Ölçüleri | 82 |
| 4.4. CdSe, ZnSe ve Cd _x Zn _{1-x} Se İnce Filmlerin X-Isını Kirinimi | 86 |
| 5. TARTISMA ve SONUÇ | 89 |
| KAYNAKLAR | 98 |
| ÖZGEÇMİŞ | 102 |

SIMGELER DIZINI

| | |
|-------------|--|
| e | Elektronun yükü |
| E | Enerji |
| E_c | İletkenlik bandinin enerjisi |
| E_v | Valans bandinin enerjisi |
| E_g | Yasak enerji aralığı |
| h | Plank sabiti |
| I | Akim |
| J | Akim yoğunluğu |
| k | Boltzmann sabiti |
| K | Kelvin |
| n_i | Elektron-bosluk çifti yoğunluğu |
| n_0 | Termal dengede elektronların yoğunluğu |
| p_0 | Termal dengede boslukların yoğunluğu |
| R | Direnç |
| T | Sıcaklık |
| V | Hacim |
| $\mu_{n,p}$ | Elektron ve boslugun mobilitesi |
| m^* | Etkin kütle |
| α | Sogurma katsayısı |
| λ | Dalga boyu |
| ρ | Özdirenç |
| σ | İletkenlik |
| ν | Frekans |

SEKILLER DIZINI

| | |
|---|----|
| Sekil 2.1.a) Asal bir yariiletkende serbest iletkenlik bandi elektronlari ve serbest valans bandi bosluklarin esit yogunluklari. $n_0=p_0=n_i$ sartinin saglanması için fermi seviyesi genellikle yasak enerji araligi ortasındadır b) Ayni yariiletkende $n_0 > n_i > p_0$ sartini saglamak için karmasik kusur seviyeleri ilave edilmiş n-tipi bir yariiletken c) p-tipi iletkenlik $p_0 > n_i > n_0$ sartinin saglanması için fermi seviyesi valans bandina yakin islemi..... | 11 |
| Sekil 2.2.a) Yasak enerji araliginda donor kusur enerjisine bagli bir elektronun gösterimi b) Fosfor katkılanmış Silikon kristalinin iki boyutlu gösterimi..... | 12 |
| Sekil 2.3.a) Yasak enerji araliginda tek bir nötral akseptör kusurunun gösterimi b) Boron katkılanmış Silikon kristalinin iki boyutlu gösterimi | 13 |
| Sekil 2.4.Temel büyütme islemleri (a) adacik tipi (b) tabaka tipi (c) karisik tipi | 16 |
| Sekil 2.5.Yariiletkenlerde temel sogurma spektrumu..... | 23 |
| | |
| Sekil 2.6. Serbest yük tasiyicilarinin sogurması | 24 |
| | |
| Sekil 2.7. Bir metalin (a) ve bir yariiletkenin (b) öz direncinin sicaklikla degisimi..... | 25 |
| Sekil 2.8. Optik geçislerde rekombinasyon islemi..... | 29 |
| Sekil 2.9. Düşük sicaklik fotoluminesansinin olusumu. | 31 |
| Sekil 2.10.Lüminesans olusum mekanizması(Stradling)..... | 32 |
| Sekil 2.11.Bragg yansimasinin gösterimi | 35 |
| Sekil 3.1. SILAR büyütme tekniginin sematik gösterimi. i) taban malzemenin yüzeyi katyonik çözelti olan KL_p çözeltisine batirılması ve elektriksel çift tabaka olusumu, ii) çalkalama adimi 1, difüzyon tabakasından zayıf bagli K^+ ve L^- iyonlari atılması, iii) KL_p ile AL'_q reaksiyonu, iv) çalkalama adimi 2, zayıf bagli ve reaksiyona girmeyen A^- , $L'^?$, L^- iyonlari difüzyon tabakasından atılması. Bu döngü sonunda taban malzeme yüzeyinde K_mA_n bileşiginin kati tabakasi olusur..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Sekil 3.2. CdSe ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesinin sematik gösterimi | 45 |
| Sekil 3.3. ZnSe ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesinin sematik gösterimi | 46 |
| Sekil 3.4. Cd _x Zn _{1-x} Se ince filmlerinin SII AR tekniği ile büyütülmesinin sematik gösterimi..... | 48 |
| Sekil 3.5. Hava ortamında bulunan ince bir filmde girişim olayı | 50 |
| Sekil 3.6. Hava kaması..... | 51 |
| Sekil 3.7. CdSe filmde kalınlığın tur sayısı ile değişimi | 52 |
| Sekil 3.8. $\frac{d}{\lambda} \sin \theta$ 'nin $h\lambda$ ' ye göre değişimi..... | 53 |
| Sekil 3.9. İki problu yöntemle öz direnç ölçme devresi. | 55 |
| Sekil 3.10. Dört prob yöntemiyle öz direnç ölçme devresi (GK güç kaynağıdır) | 56 |
| Sekil 3.11. Wan der Pauw yöntemiyle öz direnç ölçümünde kontakların yerleştirilmesi . | 57 |
| Sekil 3.12. Yarıiletkenlerde (a) sıcaklığın ve (b) elektron konsantrasyonunun dağılımı . | 59 |
| Sekil 3.13. Termal EMK yöntemiyle (a) n-tipi ve (b) p-tipi yarıiletkenin iletkenlik tipini ölçme devresi. | 60 |
| Sekil 4.1. 812nm kalınlığındaki CdSe ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü | 63 |
| Sekil 4.2. 812nm kalınlığındaki CdSe ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 63 |
| Sekil 4.3. 750nm kalınlığındaki Cd _{0.7} Zn _{0.3} Se ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 64 |
| Sekil 4.4. 750nm kalınlığındaki Cd _{0.7} Zn _{0.3} Se ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 64 |
| Sekil 4.5. 650nm kalınlığındaki Cd _{0.5} Zn _{0.5} Se ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 65 |
| Sekil 4.6. 650nm kalınlığındaki Cd _{0.5} Zn _{0.5} Se ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 65 |

| | |
|--|---------|
| Sekil 4.7. 700nm kalınlıgındaki Cd ₀₃ Zn ₀₇ Se ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 66 |
| Sekil 4.8. 700nm kalınlıgındaki Cd ₀₃ Zn ₀₇ Se ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 66 |
| Sekil 4.9. 1,3µm kalınlıgındaki ZnSe ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | viii 67 |
| Sekil 4.10. 1,3µm kalınlıgındaki ZnSe ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü..... | 67 |
| Sekil 4.11. Sogurma lmlerinin yapıldıgı sistemin blok diyagramı..... | 68 |
| Sekil 4.12. CdSe ince filminin oda sıcaklıgındaki sogurma spektrumu ve a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 69 |
| Sekil 4.13. ZnSe ince filminin oda sıcaklıgındaki sogurma spektrumu ve a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 69 |
| Sekil 4.14. CdSe ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 70 |
| Sekil 4.15. ZnSe ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 70 |
| Sekil 4.16. Cd ₀₉ Zn ₀₁ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 71 |
| Sekil 4.17. Cd ₀₈ Zn ₀₂ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 71 |
| Sekil 4.18. Cd ₀₇ Zn ₀₃ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 72 |
| Sekil 4.19. Cd ₀₆ Zn ₀₄ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 72 |
| Sekil 4.20. Cd ₀₅ Zn ₀₅ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 73 |
| Sekil 4.21. Cd ₀₄ Zn ₀₆ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 73 |
| Sekil 4.22. Cd ₀₃ Zn ₀₇ Se ince filminde farklı sıcaklıklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bağlı değisimi | 74 |

| | |
|--|----|
| Sekil 4.23. Cd ₀₂ Zn ₀₈ Se ince filminde farkli sicakliklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bagli degisimi | 74 |
| Sekil 4.24. Cd ₀₁ Zn ₀₉ Se ince filminde farkli sicakliklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bagli degisimi | 75 |
| Sekil 4.25. CdSe, ZnSe ve farkli katkı oranlarında Cd _x Zn _{1-x} Se ince filmlerinde farkli sicakliklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bagli degisimi | 75 |
| Sekil 4.26. CdSe ince filminde farkli tavlama sicakliklarda a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bagli degisim | 76 |
| Sekil 4.27. Farkli kalınlıktaki CdSe ince filminde a ² (cm ⁻²)'nin enerjiye bagli degisimi | 76 |
| Sekil 4.28. Oda sicakliginda CdSe ince filmlerin yasak enerji araliginin kalınlıkla degisimi | 77 |
| Sekil 4.29. Fotolüminesans deneyinde kullanılan deney düzenegi..... | 78 |
| Sekil 4.30. CdSe filminin fotolüminesans spektrumu | 79 |
| Sekil 4.31. ZnSe filminin fotolüminesans spektrumu..... | 79 |
| Sekil 4.32. Cd ₀₈ Zn ₀₂ Se filminin fotolüminesans spektrumu..... | 80 |
| Sekil 4.33. Cd ₀₅ Zn ₀₅ Se filminin fotolüminesans spektrumu..... | 80 |
| Sekil 4.34. Cd ₀₄ Zn ₀₆ Se filminin fotolüminesans spektrumu..... | 81 |
| Sekil 4.35. Cd ₀₁ Zn ₀₉ Se filminin fotolüminesans spektrumu..... | 81 |
| Sekil 4.36. İki problu yöntemle özdirenç ölçümü için kurulan düzenek | 82 |
| Sekil 4.37. CdSe ince filminin sicakliga bagli olarak özdirenç degisimleri | 83 |
| Sekil 4.38. ZnSe ince filminin sicakliga bagli olarak özdirenç degisimleri | 83 |
| Sekil 4.39. Cd ₀₃ Zn ₀₇ Se ince filminin sicakliga bagli olarak özdirenç degisimleri | 84 |
| Sekil 4.40. Cd ₀₅ Zn ₀₅ Se ince filminin sicakliga bagli olarak özdirenç degisimleri | 84 |
| Sekil 4.41. Cd ₀₇ Zn ₀₃ Se ince filminin sicakliga bagli olarak özdirenç degisimleri | 85 |
| Sekil 4.42. CdSe ince filminin sicakliga bagli akim degisimleri..... | 85 |
| Sekil 4.43. ZnSe ince filminin sicakliga bagli akim degisimleri | 86 |
| Sekil 4.44. Farkli turlarda büyütülen CdSe ince filmlerinin x-isini kirinim verileri | 87 |
| Sekil 4.45. Cd _x Zn _{1-x} Se ince filmlerinin x-isini kirinim verileri..... | 87 |
| Sekil 4.46. ZnSe ince filminin x-isini kirinim verileri..... | 88 |

ÇİZELGELER DIZINI

| | |
|---|----|
| Çizelge 1.1. II-VI bileşik yarıiletkeci x bileşimleri | 3 |
| Çizelge 3.1. CdSe ince filmlerinin büyütülmesi için kullanılan parametreler | 44 |
| Çizelge 3.2. ZnSe ince filmlerinin büyütülmesi için kullanılan parametreler | 46 |
| Çizelge 3.3. $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin büyütülmesi için kullanılan parametreler | 47 |
| Çizelge 3.4. CdSe ince filmlerinin kalınlık değerleri | 52 |
| Çizelge 5.1. CdSe ince filmlerinin kalınlık değerleri | 89 |
| Çizelge 5.2. CdSe ve ZnSe ince filmlerinin sıcaklık ile yasak enerji aralığının değişimi | 91 |
| Çizelge 5.3. CdSe ince filmlerinin yasak enerji aralığının oda sıcaklığında kalınlıkla değişimi | 92 |
| Çizelge 5.4. $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin oda sıcaklığındaki yasak enerji aralıkları | 92 |
| Çizelge 5.5. ZnSe ve bunların karışımları olan $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin yüksek ve düşük sıcaklık bölgelerindeki aktivasyon enerjileri | 94 |
| Çizelge 5.6. CdSe polikristal filmleri için elde edilen piklerin 2θ açısı değerleri ve başlık pik için yarı yükseklik pik genişliği | 96 |

1. GIRIS

xi

1.1. II-VI Bilesik Yariiletkenler

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

IV. grup elementlerinden olan Si ve Ge diğer gruptaki yariiletken malzemelere göre üzerinde en fazla araştırma yapılmış ve dolayısıyla özellikleri en iyi bilinen yariiletken malzemelerdir. Periyodik tablonun II. VI. grup elementlerinden oluşan II-VI bilesikleri ise IV. grup elementlerine göre daha yeni yariiletken malzemelerdir. Mevcut ve ucuz hammaddelerden yüksek saflıkla elde edilebilmesi, uygun metotlarla kaliteli polikristal tabakalar halinde üretilebilir olması, diğer gruptaki yariiletkenlere göre üstünlük sağlamaktadır (Erel 1996).

Son yıllarda periyodik cetvelin II-VI grubu bilesiklerinden olan tek kristallerin optik lüminesans ve iletkenlik özellikleri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu bilesikler geniş bir bant aralığına sahip olup, mor üstünden kırmızı altı spektrumuna kadar olan görünür bölgede isima yaparak çok iyi bir lüminesans özelliği göstermektedir. Bu nedenle foto ve katodolüminesans ölçümleri için çok elverişli malzemelerdir. Ayrıca, II-VI grubuna dahil bilesiklerin çoğu elektrik enerjisini oldukça iyi iletmeğe olup, enerji bant aralığında çok miktarda taşıyıcı iyon sürüklenmesine sahip bulunmaktadır. Bu nedenle Çinko ve Kadmiyum bilesiklerin teknolojide elektrolüminesans diyot, lüminesans ekran ve güneş pili yapımında kullanılabilmesi için geniş araştırma ve incelemeler yapılmaktadır (Erdogan 1991).

Yarıiletken teknolojisinde, klasik Si, GaAs, InP gibi külçe yarıiletkenler disinda, gerek optoelektronik, gerekse yarıiletken aygit üretiminde ihtiyaca uygun yeni yarıiletken ince filmlerin üretilmesi ve bu filmlerin üretim teknikleri konusundaki çalismalar önem kazanmistir. Yarıiletken ince film büyütme metotlari basitçe gaz fazinda ve sivi fazda büyütme metotlari olarak gösterilebilir. Gaz fazindaki büyütme metotlari olarak Moleküler Beam Epitaksi (MBE), Metalorganik Kimyasal Buhar Depozisyonu (MOCVD), Reaktif Püskürtme (RF) gibi büyütme metotlari gösterilebilir. Bunun yaninda sivi fazindaki büyütme metotlari olarak Kimyasal Banyo Depozisyonu (CBD), Sivi Faz Epitaksisi (LPE), Kimyasal Püskürtme (SP), SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) gibi büyütme teknikleri gösterilebilir. Gaz fazindaki büyütme tekniklerinin digerlerine göre oldukça pahali sistemler içermesi, daha ucuz ince film üretilmesi amacindan uzak olmasi nedeniyle tercih edilmemektedir. Sivi fazda büyütme teknikleri ise genis alanli ince film üretilmesi, üretilen ince filmlerin maliyetlerinin düşük olmasi gibi önemli avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

Bu büyütme metotlari arasinda SILAR daha ucuz, daha basit ve az zaman harcanmasi gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda oldukça tercih edilmektedir. SILAR metodu ilk olarak 1980'li yıllarin ortalarında Y.F. Nicolau tarafından polikristal ve epitaksiyel ince filmlerin büyütülmesinde kullanilmistir(Nicolau 1985). Bu metot bir kimyasal çözültiden katkilama teknigidir. Bilesik yarıiletken ince filmlerin, her bir türünün iyonlarını içeren sulu çözültüler içeresine taban malzemenin belli bir sıra ile daldirılarak, taban malzeme üzerine çökmesi ile olusmasını saglayan basit bir tekniktir. Ayrıca bu teknigin en önemli avantajı, büyüme boyunca bazı parametrelerin örneğin zaman, kalınlık, tur sayısı, çözültü konsantrasyonu, sıcaklık ve çözültü pH'nin kolay kontrol edilebilir olmasıdır. Bununla birlikte, ince filmler taban malzeme yüzeyinde iyonların reaksiyonu ve katkilanması ile elde edilirken, atomik seviyede film kalınlığının kontrolü CBD ve elektrodepozisyon teknigi ile zorken SILAR teknigi ile daha kolay saglanmaktadır. Bu metotla bazı II-VI grubu bilesik yarıiletkenlerden özellikle CdS, CdSe, ZnO, ZnSe ve bunların üçlü bilesikleri $Cd_xZn_{1-x}S$, $Cd_xZn_{1-x}Se$ büyütülmektedir.

Son yıllarda II-VI bileşik yarıiletkenlerin üretilmesi sahip oldukları önemli avantajlardan dolayı yarıiletken teknolojisinde önem kazanmıştır. Özellikle optoelektronik uygulamalar da; direk geçişli bant yapısına sahip olmalarından dolayı elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde ışık yayan ve dedekte eden uygulamalarda yasak enerji aralıklarının büyüklükleri tüm görünür bölgede kullanılabilmesine müsaade eder. II-VI bileşik yarıiletkenler olarak ZnO, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdO, CdS, CdSe, CdTe gösterilebilir. Bu yarıiletkenlerin bazı özellikleri Çizelge 1.1’de gösterilmektedir (Singh 1993).

Çizelge 1.1. II-VI bileşik yarıiletkenlerin genel özellikleri

| II-VI Bileşik Yarıiletkenler | Bant Aralığı (eV) (oda sıcaklığında) | Kristal Yapısı |
|------------------------------|---|----------------|
| ZnO | 3,4 | W (D) |
| ZnS | 3,7 | ZB (D) |
| | 3,9 | W (D) |
| ZnSe | 2,7 | ZB (D) |
| ZnTe | 2,3 | ZB (D) |
| CdO | 2,28 | |
| CdS | 2,5 | W (D) |
| CdSe | 1,8 | W (D), C (D) |
| CdTe | 1,5 | ZB (D) |

W= Wurtzite, ZB=Çinkoblende, C=Kübik, (D) Direk geçişli

1.2. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$

Çizelge 1.1’de bazı özellikleri verilen CdSe yarıiletkeni ince film transistörlerde, güneş pillerinde, optoelektronik aygıt üretiminde, alan etkili transistörlerde, kızıl ötesi optikte, ışığa bağımlı direnç uygulamalarında ve gama ışığı dedektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Antohe *et al.* 2001; Padiyan *et al.* 2002; Mane *et al.* 1999). Bu uygulama alanlarından dolayı son yıllarda oldukça fazla çalışılan bir malzeme olmuştur.

CdSe II-VI bileşik yarıiletken olup yasak enerji aralığı 1,8 eV olan direk geçişli dogal olarak n-tipi iletkenliğe sahiptir. Bant aralığı ve elektriksel iletkenliğinden dolayı güneş pilleri uygulamalarında en uygun malzeme olarak gösterilmektedir (Ramaiah *et al.* 2001). Kristal yapısı açısından Wurtzite ve/veya kübik yapıya sahip olabilmektedir. Bununla beraber yoğunluğu $5,674 \text{ g/cm}^3$ olup, elektriksel direnci 10^4 Ocm civarında olan dogal olarak n-tipi iletkenlik gösteren bir yarıiletkendir (Pathan and Lokhande 2004).

SILAR metodu ile CdSe ince filmlerin büyütülmesi işlemine son bir kaç yılda başlanmış olup, literatürde bu metotla büyütülen filmler üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca bu metotla son yıllarda nanokristal CdSe elde etmek için uygun bir büyütme metodu olarak öngörülmektedir (Li *et al.* 2003). Pathan and Lokhande (2004) bildirdiğine göre, Sankapal *et al.* (1999) tarafından, 0,2 M CdSO_4 ve 0,1 M Na_2SeSO_3 (pH~12) çözeltileri kullanılarak 27°C 'de cam üzerine SILAR yöntemiyle, hegzagonal kristal yapıda CdSe filmi oluşturulmuştur. Sogurma ölçümleri ile yasak enerji aralığını 1,8 eV olarak belirlemişlerdir. Pathan *et al.* (2002) tarafından yapılan çalışmada, Cd iyon kaynağı olarak 0,2 M ve pH~3 olan kadmiyum sülfat ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ile tartarik asit $[(\text{CHOHCOOH})_2]$ çözeltilerinin karışımı kullanılmış, Se iyon kaynağı olarak da pH~10,5 olan 0,1 M sodyum selenosülfat (Na_2SeSO_3) çözeltisi kullanılmıştır. Adsorpsiyon ve reaksiyon zamanları sırasıyla 20 ve 30 s olarak ayarlanmış ve oda sıcaklığında 45 tur sonrasında $0,36 \mu\text{m}$ kalınlığında ince film elde edilmiştir. Sogurma ölçümleri sonucunda bu filmlerin yasak enerji aralıklarını 1,8 eV olarak bulmuşlardır. Bununla birlikte iki nokta uç yöntemiyle oda sıcaklığında CdSe filmin öz direncini 10^4 Ocm olarak belirlemişler ve 300-550 K arasında ölçülen öz direnç ölçümleri ile filmin öz direncinin sıcaklık arttıkça azalmasından dolayı yarıiletken özellik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Kale *et al.* (2004) tarafından yapılan çalışmada ise, tartarik asit ve triethanolamine karıştırılıp 0,2 M kadmiyum asetat çözeltisi katyon kaynağı olarak kullanılmış ve 0,13 M sodyum selenosülfat çözeltisi de anyon kaynağı olarak kullanılarak CdSe ince filmi elde edilmiştir. Adsorpsiyon ve reaksiyon zamanları sırasıyla 50 ve 25 s olarak tutulmuş

ve oda sıcaklığında 150 tur sonucunda 0,18 µm kalınlığında film elde etmişlerdir. X isini kırınımı sonucunda filmin (111) tercihli yönelimli büyüdüğünü ve AFM görüntüleri ile filmlerin 5,66 nm yüzey pürüzlüğüne sahip olduğunu ve parçacık büyüklüklerini 6-8 nm olarak gözlemişlerdir. Sogurma ölçümleriyle yasak enerji aralığını 2,1 eV olarak hesaplamışlardır. Oda sıcaklığında filmin özdirencini iki nokta uç yöntemiyle 10^6 Ohm olarak bulmuşlardır.

ZnSe ve karışımlarından elektromanyetik spektrumun mavi ve yeşil bölgesinde çalışan laser elde edilmesi sonucunda, bu malzeme yarıiletken teknolojisinde geniş yasak enerji aralıklı yarıiletkenlerin önemini artırması sağlanmıştır. Ayrıca örgü parametresi GaAs yarıiletkeni ile hemen hemen aynı olmasından dolayı GaAs tabanlı teknolojilerde taban malzemesi olarak kullanılabilir. ZnSe yarıiletkeni oda sıcaklığında 2,67 eV direk geçişli yasak enerji aralığına sahip olup, örgü sabiti 5,67 nm ve termal iletkenliği 0,19 W/cmK'dir (Morkoç *et al.* 1994). Ayrıca 1830°C erime sıcaklığına ve 4,1g/cm³ yoğunluğa sahip olup, yaklaşık 200 cm²V⁻¹s⁻¹ mobiliteye sahip bir yarıiletkendir (Erel 1996). Optik ve elektriksel özellikleri açısından endüstriyel alanlarda önemli uygulama alanı bulunmaktadır. Örnek olarak, kırmızı, mavi ve yeşil ışık yayan diyotlar (Akira *et al.* 1988), fotovoltaikler (Chaparro *et al.* 2001), laser perde (Ennaoui *et al.* 2001), ince film transistörler (Alfano *et al.* 1987), fotoelektrokimyasal hücreler (Chaparro *et al.* 2000) için uygun bir malzeme olarak öngörülmektedir. Bu uygulamaların dışında ZnSe ince filmleri, ince film heteroeklem güneş hücreleri için n-tipi pencere tabakası olarak kullanılmaktadır.

Kale and Lokhande (2004), SILAR yöntemiyle ZnSe ince film yapmak için Zn iyon kaynağı olarak, pH'i ~5 olan 0,25 M çinko asetat [Zn(CH₃COO)₂] ile tartarik asit [(CHOHCOOH)₂] kompleksi; Se kaynağı olarak da pH'i ~12 olan 0,13 M sodyum selenosülfat (Na₂SeSO₃) çözeltisi kullanmışlardır. Araştırmacılar taban malzemesi olarak kullanılan cam, çok iyi temizlendikten sonra adsorpsiyon ve reaksiyon zamanlarını sırasıyla 50 ve 25 s olarak ayarlayarak, cam yüzeyine 150 tur sonunda 0,16 µm kalınlığında ZnSe film elde etmişlerdir. Sogurma ölçümleri sonucunda, yasak enerji aralığını 2,8 eV olarak bulmuşlardır. Bu değer literatürdeki değerden (2,7 eV) daha da

büyüktür. İki nokta uç metodu ile ZnSe filminin, oda sıcaklığındaki öz direnci ise 10^7 Ohm olarak bulunmuştur.

Benzer olarak 0,2 M $\text{CH}_3(\text{COO})_2\text{Zn}$, 0,1 M Na_2SeSO_3 (pH~12) çözeltileri kullanılarak 27°C 'de cam üzerine SILAR yöntemiyle ZnSe film büyütülmüş ve filmin 200°C 'de tavlama ile kristal yapısında düzelme olduğu gözlemlenmiştir. Sığurma ölçümleri sonucunda yasak enerji aralığı 2,6 eV olarak elde edilmiştir. Ayrıca filmin elektriksel öz direnci 10^4 Ohm olarak ölçülmüştür (Pahtan and Lokhande 2004).

Karışım teknolojisi sayesinde çeşitli yarıiletkenlerin (GaAs, GaN vb.) yasak enerji aralıkları değiştirilerek elektromanyetik spektrumun geniş bir aralığında optoelektronik uygulamalarda kullanılmaları sağlanmaktadır. Geniş yasak enerji aralıklı ZnSe ve aynı özellikleri gösteren karışımları $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}$, $\text{ZnSe}_{1-y}\text{S}_y$ görünür spektrumun mavi bölgesinde optoelektronik cihaz teknolojilerinde kullanılmaktadır. $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Se}/\text{CdSe}$ ya da $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Se}/\text{ZnSe}$ kuantum kuyuları ve kuantum noktaları elektromanyetik spektrumun mavi-yeşil bölgesinde ışık saçan uygulamaları için son yıllarda oldukça fazla ilgi çekmektedir (Schreder *et al.* 2000; Venger *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005). Yine de bu malzemelerden elde edilen lazer yapılarının ömürleri oldukça kısadır (Borkovska *et al.* 2005). CdSe ve ZnSe yarıiletkenlerinin karıştırılmasıyla oluşan $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}$ üçlü bileşiği, kuantum kuyusu uygulamalarının temelini bu işlemle yasak enerji aralığının değiştirilmesine bağlıdır. Böyle bir üçlü bileşiğin yasak enerji aralığı ZnSe'nin ve CdSe yarıiletkenlerinin yasak enerji aralığında olur. Yani yaklaşık olarak 2,7 eV ile 1,8 eV aralığında olması beklenir. Bununla birlikte üçlü bileşikte Cd miktarı ne kadar fazla olursa yasak enerji aralığının da o oranda azalması beklenir (Chao *et al.* 1999).

Kale and Lokhande (2005a) tarafından yapılan çalışmada, CBD yöntemiyle cam taban malzemesi üzerine $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ve Na_2SeSO_3 çözeltilerini kullanarak CdSe filmi büyütülmüştür. Büyütülen filmin XRD analizleri sonucunda filmlerin düşük şiddette piklerden oluştuğunu ve düşük kristal kalitesinde olduğunu bildirdiler. Kristal büyüklüklerini alan SEM ölçümleri ile 4 nm olarak bulmuşlardır.

Semenova *et al.* (2002), yaptıkları çalışmada MBE metodu ile GaAs üzerine ZnSe büyüttükleridir. Büyüttükleri filmde alınan PL ölçümleri ile 2,7 eV'ta ve 2 eV'ta iki tane emisyon gözlemişlerdir.

Kale and Lokhande(2005b), yaptıkları çalışmada kimyasal banyo depozisyonu (CBD) yöntemiyle, cam taban üzerine ZnSe filmini büyüttükleridir. Büyütülen ZnSe filminin yasak enerji aralığını soğurma ölçümleri sonucunda 2,85 eV, öz direncini ise iki nokta uç yöntemiyle 10^6-10^7 Ω cm bulmuşlardır. Filmlerin 670 K de tavlama sonucunda yasak enerji aralığının 2,85 eV'tan 2,7 eV'a, öz direncinin ise $2,585 \times 10^6$ Ω cm den $1,59 \times 10^4$ Ω cm ye düştüğünü tespit etmişlerdir.

Perna *et al.* (2004), yaptıkları çalışmada Si taban üzerine laser depozisyon tekniğiyle CdSe ve Zn katkılı CdSe büyüttükleridir. Büyütülen ince filmlerin sıcaklığa bağlı PL ölçümlerini almışlar, bunun sonucunda katkısız CdSe filminin PL veriminin, sıcaklığın artmasıyla azaldığını ve düşük sıcaklıktaki (10K) spektrumundan, banttan banda geçişinin 1,82 eV'da olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında CdSe filminin bir çok isimali rekombinasyon bantları içerdiğini ve bunların kirliliklerden veya yapısal kusurlardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. CdSe:Zn filminin ise banttan banda geçişin CdSe filmi ile yaklaşık olarak aynı enerjide emisyon verdiği, bunun yanında 1,65 ve 1,42 eV'ta yerleşmiş olan geniş bant geçişleri olduğunu gözlemişlerdir. Bu geniş pik yapısındaki geçişlerin kusurlar ve kirlilikler arasında gerçekleştiğini ifade etmektedirler.

Kale and Lokhande (2004), yaptıkları çalışmada, SILAR metodu ile büyütülen ZnSe ince filmlerinin polikristal yapıda ve (111) baskın yöneline sahip olduklarını, aldıkları x-ışını kırınım ölçümleriyle göstermişlerdir. Scherrer formülü ile kristal büyüklüklerini 6 nm olarak bulmuşlar, tavlama filmlerde ise 13 nm olduğunu tespit etmişlerdir. Aldıkları SEM ölçümleri ile filmin tüm taban malzeme yüzeyine homojen olarak dağıldığını, boşluk ve çatlakların oluşmadığını gözlemişlerdir. Kristal büyüklüklerini 26 nm olarak ve tavlama işlemi sonucunda ise 42 nm olarak bulmuşlardır.

Pathan *et al.* (2003), yaptıkları çalışmada, SILAR yöntemiyle CdSe filmi oluşturmak için çözelti olarak, kadmiyum sülfat ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ile tartarik asit $[(\text{CHOHCOOH})_2]$ ve sodyum selenosülfat (Na_2SeSO_3) çözeltileri kullanmışlardır. Cam taban malzemesi üzerine büyütülen filmlerin x-isini kirinim dataları sonucunda, (101) ve (301) yönelimlerine sahip olduğunu göstermişlerdir.

Kale *et al.* (2006) çalışmalarında, $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Se}$ filmini, CBD yöntemiyle cam taban malzemesini 343 K sıcaklıkta tutarak, büyütme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan XRD ölçümleriyle CdSe'in kübik ve hekzagonal, ZnSe'in ise kübik fazda olduğunu göstermişlerdir. SEM ölçümleri yardımıyla $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Se}$ ince filminin yüzeyinde çatlaklar gözlemişlerdir

Farklı metotlarla büyütülen CdSe ve ZnSe filmleri ile, SILAR yöntemiyle büyüttüğümüz filmlerin, kristal yönelimi, soğurma spektroskopisi ve elektriksel özellikleri benzerlikler göstermektedir. Örneğin CdSe filmlerinin, vakum depozisyon tekniğiyle Padiyan *et al.* (2002), hot wall depozisyon tekniğiyle Velumani *et al.* (2003), kimyasal depozisyon tekniğiyle Kale and Lokhande (2000), vakumda buharlaştırma tekniğiyle Antohe *et al.* (2001) tarafından büyüttükleri filmlerin XRD ölçümleri sonucunda (002) tercihli yönelime sahip olduklarını bulmuşlardır. ZnSe filmleri için ise, elektro depozisyon tekniğiyle Bouroushian *et al.* (2005), vakum buharlaştırma tekniğiyle Venkatachalam *et al.* (2005), spray pyrolysis tekniğiyle Bedir *et al.* (2005), vakum altında fiziksel buhar depozisyon tekniğiyle Rusu *et al.* (2003), tarafından büyüttükleri filmlerin XRD ölçümleri sonucunda (111) tercihli yönelime sahip olduklarını bulmuşlardır.

CdSe filmlerinin yasak enerji aralığı soğurma ölçümleri sonucunda 1,88 eV olarak bulunmuş olup, farklı büyütme teknikleriyle büyütülen filmlerin yasak enerji aralıkları ile benzerlik göstermektedir. Vakum depozisyon tekniğiyle Padiyan *et al.* (2002) 1,62-1,99 eV, hot wall depozisyon tekniğiyle Velumani *et al.* (2003) 1,64-1,83 eV, kimyasal depozisyon tekniğiyle Kale and Lokhande (2000) 1,8-2,2 eV, elektro depozisyon tekniğiyle Pawar *et al.* (2006) 1,72 eV olarak bulmuşlardır. ZnSe filmlerinin yasak

enerji araligi ise sogurma ölçümleri sonucunda 2,68 eV olarak bulunmus olup, farkli farkli büyütme teknikleriyle büyütülen filmlerin yasak enerji araliklari ile benzerlik göstermektedir. Vakum altında fiziksel buhar depozisyon tekniğiyle Rusu *et. al.* (2003) 2,6-2,7 eV, spray pyrolysis tekniğiyle Bedir *et. al.* (2005) 2,65-2,70 eV, vakum buharlastirma tekniğiyle Venkatachalam *et. el.* (2005) 2,60-2,72 eV, elektro depozisyon tekniğiyle Murali *et. el.* (2005) 2,7 eV olarak bulmuslardir.

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde yapilmis olup, SILAR büyütme metodu ile elde edilmiş olan CdSe, ZnSe ve bunların karıştırılmasıyla oluşan $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletkenlerinin yapısal, elektriksel ve optik karakterizasyonuna dayanmaktadır. Bu çalışmanın birinci bölümünde CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletkenlerinin genel özellikleri ve SILAR metodu ile büyütülmeleri sonucunda sahip oldukları yapısal, optik ve elektriksel özellikleri hakkında literatür taraması içeren bir giriş bölümünü içermektedir. İkinci bölümde, katkili ve katkisiz yariiletkenler, ince film büyütme işlemi, yariiletkenlerin yasak enerji araligini degistiren etkenler, sogurma, fotoluminesans, x-ışinlari hakkında kuramsal bilgiler bulunmaktadır. Üçüncü bölümde ise yariiletken filmlerin büyütülmesinde kullanılan SILAR metodu hakkında ayrıntili bilgiler dışında kalınlık ölçümlerinde kullanılan hava kamasi metodu, filmlerin yasak enerji araliginin belirlenmesinde kullanılan sogurma ölçüm sistemi, x-ışinlari difraksiyonu, taramalı elektron mikroskopu ve elektriksel ölçümlerde kullanılan prob metodu hakkında ayrıntili bilgiler bulunmaktadır. Elde edilen sonuçların tartışılması ise besinci bölümde verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

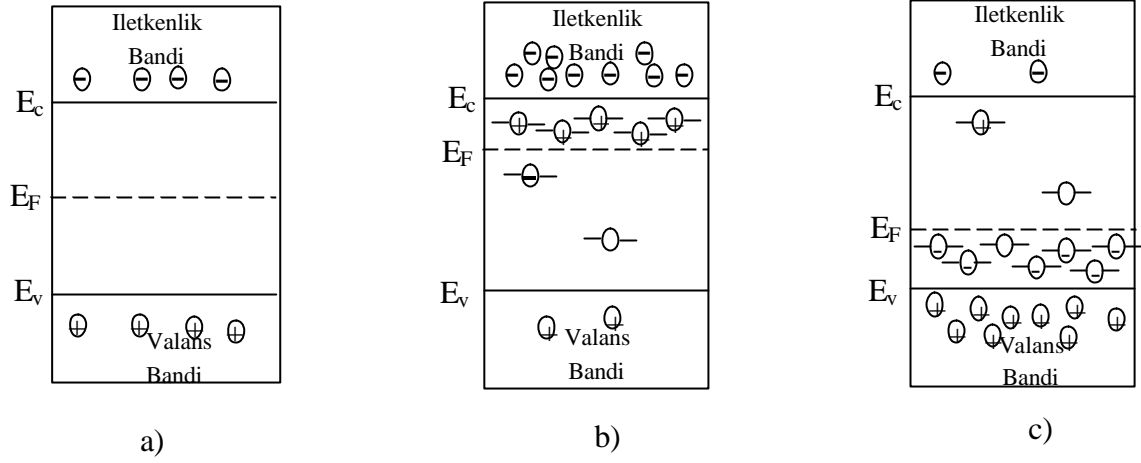
2.1. Katkili ve Katkisiz Yariiletkenler

Asal (intrinsic) yariiletken ilginç bir malzemedir. Fakat yariiletkenlerin gerçek gücü, az ve kontrol edilebilir miktarda özel katkı atomları eklenmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu katkılama işlemi yariiletkenin elektriksel ve optik karakterizasyonunu büyük ölçüde değiştirir. Katkılanmış bir yariiletken katkıli (extrinsic) bir malzemedir ve bir çok farklı yariiletken aygıtın oluşturulabilmesinin en önemli kaynağıdır.

Asal yariiletken davranışı yalıtkan katılarda yasak enerji aralığının yeterince büyüklükte olması ile elektronların termal olarak dolu bandın üst kısmından diğer boş bandın alt kısmına uyarılması ile elde edilir. Dolu bant valans (değerlik) bandı olarak bir sonraki boş bant ise iletkenlik bandı olarak tanımlanır.

Eğer yariiletken tamamen saf ve kristal yapısı açısından mükemmel ise n_0 ve p_0 yoğunluğu eşit olmalıdır. Burada n_0 ve p_0 sırasıyla termodinamik denge durumu için iletkenlik bandı elektronlarının ve valans bandı boşluklarının yoğunluğunu verir. İletkenlik bandı elektronları sadece valans bandı elektronlarının uyarılması ile üretilir. Fermi seviyesi serbest boşlukların ve elektronların her ikisinin de enerji dağılımını karakterize eder ve asal yariiletkenlerde taşıyıcı kütlelerinin de eşit olması durumunda bant aralığının tam ortasındadır (Şekil 2.1a). Taşıyıcı kütlelerinin ve mobilitelerinin farklı olmasından dolayı Fermi seviyesi az da olsa iletkenlik veya valans bandına doğru yaklaşabilir.

Özellikle düşük sıcaklıklarda asal elektron-boşluk çifti yoğunluğu n_i , kusur seviyelerinin termal uyarılması ile üretilen serbest taşıyıcıların bir türünün yoğunluğu ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek kadar küçüktür. Sonuç olarak yariiletken soğutulduğu zaman asal iletkenliğin n-tipine veya p-tipine dönüşümü kaçınılmazdır.



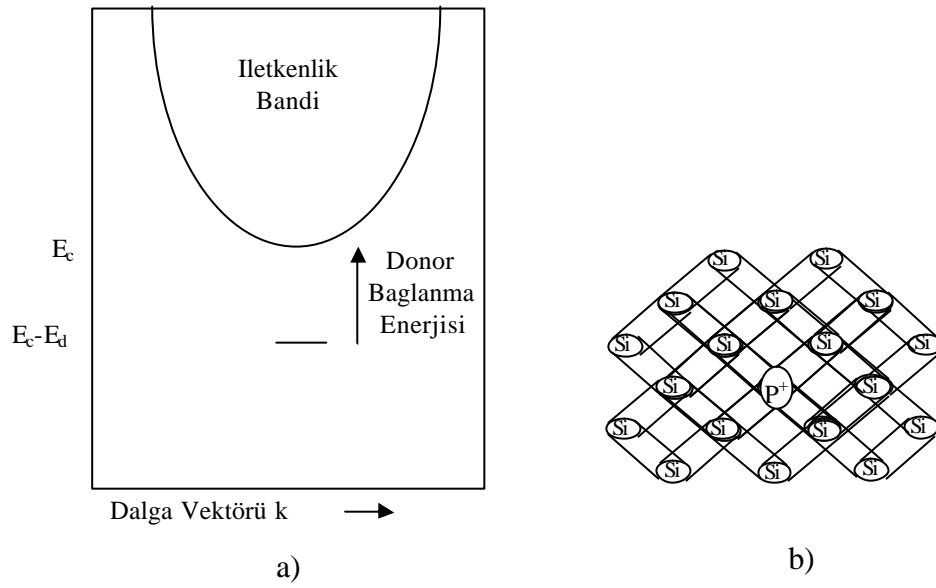
Sekil 2.1. a) Asal bir yariiletkende serbest iletkenlik bandi elektronlari ve serbest valans bandi bosluklarin esit yogunluklari. $n_0=p_0=n_i$ sartinin saglanmasi için Fermi seviyesi genellikle yasak enerji araligi ortasindadir b) Ayni yariiletkende $n_0 > n_i > p_0$ sartini saglamak için karmasik kusur seviyeleri ilave edilmiş n-tipi bir yariiletken c) p-tipi iletkenlik $p_0 > n_i > n_0$ sartinin saglanmasi için Fermi seviyesi valans bandina yakin

n-tipi olan katkili yariiletkenlerde serbest elektronlar bosluklardan daha fazladir. “n-tipi” ifadesi bize bir yariiletkendeki iletkenlik isleminin negatif yüklü hareketli parçaciklar tarafından saglandigini ve Hall etkisi ile termo elektrik etkinin negatif oldugunu bildirir. Ayni sekilde “p-tipi” yariiletkende bu etkiler pozitifdir ve pozitif yüklü serbest bosluklar baskin olan serbest tasiyicilardir.

Bir donör katkisi pozitif olarak yüklenmiş bir kusur seviyesidir ve bunun için sisteme bir veya daha fazla elektron serbest birakir. Serbest birakilan elektron iletkenlik bandinda hareketli hale geçebilir. Benzer olarak akseptör katkisi bir veya daha fazla negatif yükü kabul edebilen bir kusurdur. n-tipi yariiletkende donörler akseptörlerden fazladir ve p-tipi davranis gösteren yariiletkende ise tersidir.

Katkili yariiletkenlerde n_0 ve p_0 degerleri sicaklik ve konumlanmış kusur seviyelerinin her ikisine birden baglidir. Donör seviyesinin iyonize olması serbest elektron yogunlugunun artisi ile sonuçlanir. Bununla birlikte serbest bosluk yogunlugunun azalmasini saglar. Sekil 2.1 b ve c’de görüldüğü gibi $n_0 p_0$ çarpiminin degeri asal yariiletken durumundan uzaklastigimizda n_i^2 ’ye esittir.

Bir yarıiletkende bir donör kusurunun basit bir örneği için silikon kristalinin bir atomik yerinin fosfor atomuyla isgal edildiğini düşünelim. Kristaldeki her bir atomun etrafındaki dört komşu atomuyla dört kovalent bağını kurduğu Şekil 2.2b'de görülmektedir. Fakat fosfor atomu ekstra bir elektrona sahiptir ve bu elektronun bağ yapmaya ihtiyacı yoktur. Bu ekstra elektron tamamen serbest değildir. Fosfor çekirdeği

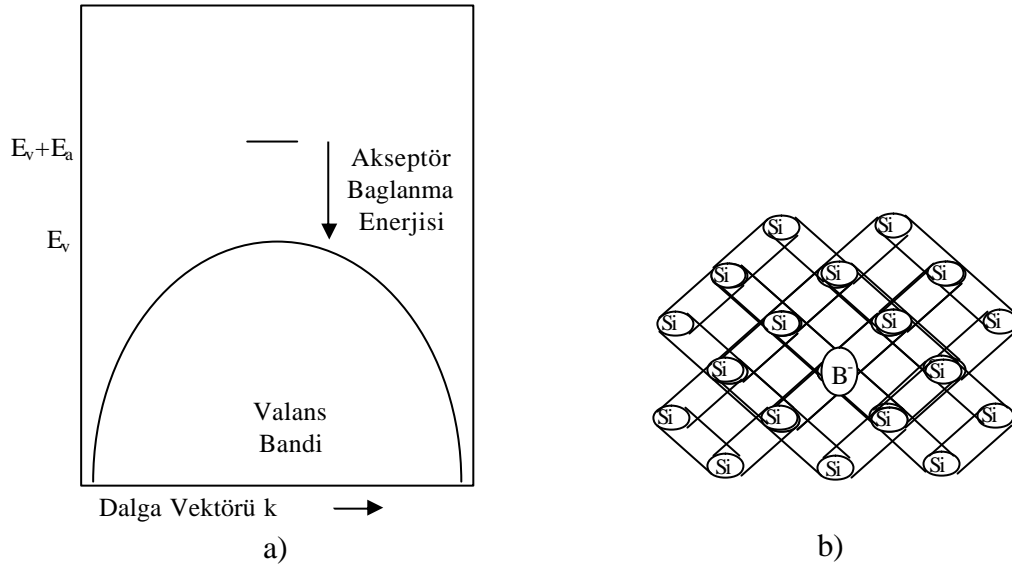


Şekil 2.2. a) Yasak enerji aralığında donör kusur enerjisine bağlı bir elektronun gösterimi b) Fosfor katkılanmış silisyum kristalinin iki boyutlu gösterimi

silisyum çekirdeğinden bir tane fazla pozitif yüke sahiptir. Bu fazla elektron kusura hafifçe bağlıdır. Böylece kusurun nötral durumu (elektron bulunması) iletkenlik bandının altında konumlanmış elektron durumu ile tanımlanmıştır. Şekil 2.2a iletkenlik bandının altındaki E_d enerjisi kadar bir ilave enerji ile yükseltilebileceğini ifade ederek gösterir. Bu durum gerçekleştiğinde donör iyonize olur ve bir net pozitif yük oluşur.

Şekil 2.3b silisyumda en basit akseptör katkısının oluşumunu gösterir yani boron atomunun silisyum atomu yerine yerleşmesidir. Boron atomunun bağlı dört kovalent bağdan birisinin bağ yapamayacağı açıktır. Ama gerçekte bu bağ yapmamış kısmın konumu bir atomik pozisyondan diğerine hareket edebilir. Bu boşluk eğer E_a enerjisi

saglanmamissa tamamen konumlanmamistir ve akseptörün nötral durumunu valans bandinin üzerindeki E_a enerjisi ve isgal edilmemis elektron durumu ile tanimlanir. Bu durum Sekil 2.3b'de gösterilmektedir.



Sekil 2.3. a) Yasak enerji araliginda tek bir nötral akseptör kusurunun gösterimi b) Boron katilanmis silisyum kristalinin iki boyutlu gösterimi

2.2. Yariiletken Ince Filmler

Alt tabaka olarak kati bir malzeme üzerine malzemenin temel özelliklerinin ölçülmesinde hem dogrudan bir fiziksel islemlerle hem de bir kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlarla ince film seklinde kati bir malzeme olusturulur. Yalniz basina atomik, moleküler ya da iyonik durumlar hem buharlastirma hem de sivi formunda olusturulabilir. Ince film depolama teknikleri iki ana kategoriye ayrilabilir:

1. Gaz halde katilama
2. Sivi/çözelti halde katilama

Burada üzerinde durulması gereken, filmin önemli bir özelliği ve filmin özelliklerini sınırlayan parametre olan, küçük film kalınlığının ölçülmesinin basit olmadığıdır. Bir alt tabaka üzerine doğrudan dağıtılarak yada yapıştırılarak oluşturulan filmler kalınlıklarından dolayı kalın filmler olarak adlandırılır ve bunların özellikleri önemli ölçüde ince filmlerden farklıdır.

İnce filmler küçük kalınlıkları, geniş yüzeye karşı hacim oranı ve büyütme tekniklerinin direkt sonucu olarak iyi bir fiziksel yapı oluştururlar. İnce filmler oluşurken bunu oluşturan maddenin toz halindeki özellikleri ile ince film oluştuktan sonraki özellikleri arasında sapmalar başlar. Değişik ortam koşullarında; ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri üzerinde durulmaya başlanmıştır. İnce filmlerin büyük yüzeye sahip olmalarına karşı hacim oranı onları küçük kalınlık ve mikroyapıların oluşturulmasına sebep olduğundan bu filmler gaz soğurması, difüzyon olaylarına maruz bırakılabilir (Chopra 1983).

2.2.1 İnce film büyütme işlemi

Herhangi bir ince film katkılama işlemi üç ana basamak içerir:

1. Uygun atomik, moleküler yada iyonik türlerin üretimi
2. Bunların alt tabakaya geçişini sağlayacak bir ortam
3. Alt tabaka üzerine yoğunlaştırma hem doğrudan hem de kimyasal, elektrokimyasal reaksiyonlarla bir kati katkılama yapılır.

İnce filmin oluşumu çekirdek ile ve büyütme tekniklerinin yer almasıyla olur. Genel olarak basamak basamak çeşitli deneylerle ve teorik çalışmalarla büyütme işlemlerinin ortaya çıkması aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Alt tabaka ile etkileşecek olan bir çeşit madde his bileşenlerini alt tabakada normale düşürürler (çarpışma enerjisinin çok yüksek olmaması sağlanır) ve bu maddeler fiziksel olarak alt tabaka yüzeyinde soğurulurlar.

2. Sogurulmus malzemeler baslangıçta alt tabaka ile isisal dengede degildirler ve alt tabakanin yüzeyine dogru hareket ederler. Bu islem sirasinda birçoğu birbirleriyle etkilesime girer. Böylece düzenlenim daha büyük kümeleri olusturur.

3. Kümeler yada çekirdek olarak isimlendirilen düzenlenim termodinamik olarak kararli degildir ve katkilama parametrelerine bagli olarak bir zaman sonra yüzeyden ayrilma egilimindedir. Sayet katkilama parametrelerine bagli olarak böyle bir küme ile yüzeyden ayrilmaya baslamamis sogurulmus türler çarpisma yapıyorsa, kümenin büyüklüğü artmaya baslar. Belli bir kritik büyüklüğe ulastiktan sonra küme termodinamik olarak kararli olmaya baslar ve çekirdek sinirlarina ulasildigi söylenir. Kararli, kimyasal olarak sogurulmus, kritik-büyüküklü çekirdek olusumunu içeren bu basamak çekirdek evresi olarak adlandirilir.

4. Kritik çekirdek, bir çekirdek doyurma yogunluguna ulasincaya kadar sayisi kadar büyüklüğü bakımından da büyür. Çekirdek yogunlugu ve ortalama çekirdek büyüklüğü; türlere etki eden enerji, etkinin orani, sogurma aktivasyon enerjisi, ayrilma, isisal difüzyon, sicaklik ve alt yapinin kimyasal dogasi gibi parametrelere baglidir. Bir çekirdek hem alt tabaka yüzeyine paralel olarak sogurulmus türlerin difüzyonuyla büyütüldüğü gibi alt tabakaya dik olarak direk çarpisan türlerin etkilesmesi ile de büyür. Buna ragmen, genellikle bu evredeki yanal (paralel) büyüme orani dik olarak büyümeden daha yüksektir. Bu büyütülmüs çekirdekler adalar olarak adlandirilir.

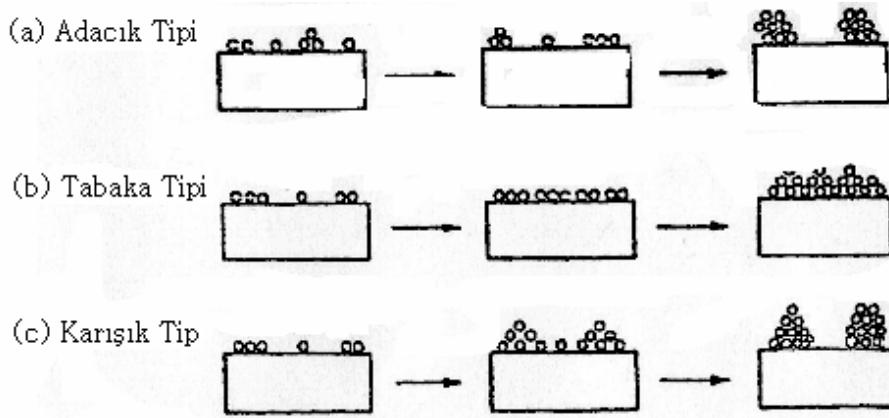
5. Film olusumu için bundan sonraki evre birlesme evresidir. Bu evre, küçük adalarin birbirleriyle yüzey alanini küçültmek üzere birlesmeye çalistikleri evredir. Büyük adalari olusturma egilimi “topluluk” olarak adlandirilir ve topluluk sogurulmus türlerin yüzeydeki mobilitesini iyilestirir. Örnek olarak alt tabaka sicakligini artirarak bu iyilestirme saglanabilir. Bazi durumlarda yeni çekirdegin olusumu bir birlesme sonucu temiz bir alanda meydana gelebilir.

6. Daha büyük adalar kaplanmamış alt tabakaların delikleriyle ve kanalların ayrılmasıyla birlikte büyür. Bu evredeki filmlerin yapısı tümüyle sürekli film deliklerinin ve kanalların doldurulması şartıyla sürekli olmayan ada tiplerinden gözenekli ağ tiplerine kadar değişir. Büyütme işlemi çekirdeğin bir istatistiksel üretimine dayandırılarak yüzey difüzyonunun üç boyutta taneciklerin büyütülmesinin kontrol edilmesi, bir ağ yapısının oluşturulması ve sürekli bir film vermesi için bunun en sonunda doldurulması olarak özetlenebilir.

Katkılanmanın ve alt tabakanın yüzeyinin termodinamik parametrelerine, başlangıçtaki çekirdeğe ve büyütme evrelerine bağlı olarak

- adacık (island) tipi
- tabaka (layer) tipi
- karışık (Stranski-Krastanov) tip

üç grupta toplanabilir. Bu evreler Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Hemen hemen bütün pratik durumlarda, büyütme ada oluşumunu meydana getirerek oluşur.



Şekil 2.4. Temel büyütme işlemleri (a) adacık (island) tipi , (b) tabaka (layer) tipi ve (c) karışık (Stranski –Kraştanov) tip (Chopra 1983)

Özel durumların dışında kristalografik düzenlenim ve farklı adaların topografiksel ayrıntıları rasgele dağıtılmıştır. Böylece büyütme esnasında adaların birbirine temas etmesi, geometriksel şekillenimlerin ve kristalografik düzenlenimlerin yanlış eslenmesinden dolayı tane sınırları, çeşitli nokta ve çizgi bozuklukları oluşur. Eğer taneler rasgele düzenlenirse, bir halka tipi kirinim örneği gösterir ve buna polikristal denir. Ancak, eğer tane genişliği (20\AA)'dan küçükse, bu filmlerin kirinim desenleri halo tipi (ışık halkası) olan çok fazla düzensiz yani amorf (kristal olmayan) yapıya benzer. Eğer farklı adaların düzenlenimleri uygun tek kristalli alt tabaka üzerinde özel katkılama içererek aynı devam ediyorsa, bu filmin bir tek kristalli içermeyeceğine dikkat edilmelidir. Bunun yanında tek kristal filmini oluşturan taneler birbirlerine paralel olarak yerleşirler ve birbirlerine düşük açılı tane sınırlarıyla bağlanırlar. Bu filmlerin kirinim desenleri tek kristalin kirinim deseniyle benzerdir ve epitaxial / tek-kristal film olarak adlandırılır.

Tane sınırları yanında, epitaxial filmlerde ayrılma hattı, istifleme hatası, mikroçiftler ve çift sınırları, çoklu yer alan sınırlar (multiple-positioning boundaries) ve nokta hatalarının toplamından oluşmuş önemsiz hatalar (örneğin ayrılma hataları, istifleme hatası, tetrahedra ve küçük nokta hataları) gibi diğer yapısal bozuklukları içerir. İstifleme hatası ve çift sınırlar gibi bozukluklar aşağı yukarı polikristallerde de oluşmaktadır. 10^{10} ve 10^{11} çizgiler. cm^{-2} olan boşlukları yoğunluğu en çok polikristallerde karşılaşılabılır ve boşlukların yoğunluğu çoğunlukla farklı adalar arasındaki uygun olmayan düzenlenişlerden (yerinden çıkmadan) dolayı boşluk ve ağlar boyunca bulunur.

İnce film boşluklarının artmasına neden olabilecek diğer mekanizmalar;

1. Alt tabaka-film yapısının uygun olmaması
2. İnce film doğasında olan büyük gerilmeler
3. Filmin alt tabaka yüzeyine kadar boşlukların devam etmesi

2.3. Yariiletkenlerin Yasak Enerji Araliginin Degismesi

Yariiletkenlerin yasak enerji araliginin dis etkenlerle degistirilmesi mümkündür. Bu dis etkenler;

1. Sicaklik, 2. Basinç, 3. Manyetik alan, 4. Elektrik alan, 5. Kusurlarin konsantrasyonlarinin degismesi olarak siralanabilir.

2.3.1. Sicakligin yariiletkenin yasak enerji araligina etkisi

Sicaklik arttikça kristal örgünün titresimi artar ve kristal örgüsü genisler. Çogu yariiletkenlerde sicaklikla yasak enerji araligi küçülür. Bu ise temel sogurmanın uzun dalga boylu bölgeye kaymasına sebep olur. Sicaklik arttikça elektron– fonon etkilesmesi artar. Bu dikkate alinirsa yasak enerji bandinin termal degisim degeri asagidaki gibi ifade edilir.

$$\frac{dE_g}{dT} = \frac{dE_g}{dT} + \frac{dE_g}{dT} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'in sabit basınçli birinci terimde, kristalin örgüsü degistiginden kristalde bozulma meydana gelir ve kristalin yasak enerji araligi degisebilir. Denklem (2.1)'in ikinci terimi ise, elektron–fonon etkilesmesi sonucu enerjinin sicaklik degisimidir ve,

$$\frac{dE_g}{dT} = \frac{4k_B}{9\pi^2 m_j^2} \left(\frac{4}{3} \right)^{1/3} \left(m_n C_n^2 + m_p C_p^2 \right) \quad (2.3)$$

ile verilmektedir. Burada k_B , Boltzman sabiti, V ise hacimdir. Diger sabitler ise,

$$C_{n,p}^2 \approx 7.2 \cdot 10^{25} \frac{C}{\mu_{n,p}} \frac{m^*}{m_{n,p}} T^{5/2} \quad (2.4)$$

$\mu_{n,p}$ elektron ve boşluğun mobilitesi $C = \rho^2$, ρ mg/V kristalin özgül ağırlığı, m^* etkin kütle, v sesin kristalde yayılma hızıdır.

Denklem (2.2) bandların yapısına bağlı olarak negatif veya pozitif değerler alabilir. (2.3) ise bütün kristaller için sürekli olarak negatiftir ve kristalin kendi yapısının bir sonucudur.

2.3.2. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığına basıncın etkisi

Hidrostatik basınç, atomlar arasındaki mesafeyi küçülttüğünden yasak enerji aralığının daralmasına sebep olabilir (Allahverdiev *et. al.* 1985). Direk band geçişli yarıiletkenlerin bir çoğunda (GaN, InN, AlN) hidrostatik basınç arttıkça, yasak enerji aralığının arttığı gözlemlenmiştir (Dridi *et. al.* 2002). İndirek band geçişli yarıiletkenlerde, yasak enerji aralığının hidrostatik basınca bağlılığı karmaşık karakter taşımaktadır. Spektrumun analizinden yararlanarak soğurma spektrumunun küçük değerlerinde indirek bant geçişleri incelenebilir. Yasak enerji aralığının basınçla değişiminin negatif değer alması, valans bandının tabakalı yapıya sahip olması ve iletkenlik bandının düzensizliği ile izah edilebilir. Basınç yarıiletkenin yasak enerji bandının enerji değerinin küçülmesine sebep olmaktadır ve ani değişimler faz geçişleri ile izah edilmektedir (Ves 1989).

2.3.3. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığına manyetik alanın etkisi

Manyetik alanın etkisi altında olan yarıiletkenin soğurma eğrisi, alanın olmadığı hale göre değişiklik gösterir. Elektromagnetik teoriden bilindiği üzere B vektörü $A(x,y,z)$ vektör potansiyeli ile,

$$B = \text{rot}A \quad (2.5)$$

ilgilidir. Bu durumda $-e$ yüküne ve P momentumuna sahip olan elektron $A(x,y,z)$ vektör potansiyeli ile belirlenen magnetik alanda,

$$P = p + eA \quad (2.6)$$

olacaktır. Burada P magnetik alan varken, p ise magnetik alanin 0 oldugu haldeki momentumlardir. Kinetik enerji $T=p^2/2m_0$ olduguna göre elektron için Hamiltonyen fonksiyonu,

$$H = T + U(x, y, z) = \frac{1}{2m_0}(p + eA)^2 + U(x, y, z) \quad (2.7)$$

ile ifade edilir. Burada $U(x,y,z)$ potansiyel enerjidir. Magnetik alana yerlestirilen kristallerin içindeki elektronun enerji seviyelerine Landau seviyeleri denir. Magnetik alan elektronun enerjisini kuantlastirdigi gibi, hem iletkenlik ve hem de valans bandinin da yerini degistirir, yani bantlari kaydirir.

Magnetik alanin tesiri altında yariiletkenin yasak bandinin enerjisi E_g kadar artacaktır.

$$E_g = \frac{e\hbar B}{2} \left(\frac{1}{m_n^*} + \frac{1}{m_p^*} \right) = \frac{e\hbar B}{2m^*} \quad (2.8)$$

Burada $1/m^* = 1/m_n^* + 1/m_p^*$ ile verilir. Bu denklemde görüldüğü gibi yasak enerji araliginin magnetik alan etkisiyle kaymasi m_n^* ve m_p^* ile ters orantilidir. Magnetik

alanin etkisi altında yasak enerji bandinin büyümesi, sogurma spektrumunun temel sogurma kenarının kısa dalga boylu bölgesine kaymasını gerektirir. Sogurmaya bağlı olarak enerjinin magnetik alan altında değerlendirme yapılarak m^* veya m_h^* ve m_p^* hesaplanabilir. Sogurma spektrumunun magnetik alan etkisi altında pikleri gözlenir. Bu piklerin maksimum veya minimumları arasındaki enerjistik mesafe hw_0 kadar olmaktadır.

2.3.4. Yarıiletkenlerin yasak enerji araligina elektrik alanin etkisi

Dis elektrik alana yerlestirilen yarıiletkenlerde enerji bandlarının bükülmesi gözlenebilir. Bu durumda elektronlar valans banddan iletkenlik bandina tünel yoluyla geçebilirler. Tünel engelinin yüksekligi,

$$d = E_g / e \quad (2.9)$$

ile verilir. Burada tünelleme engelinin yükseklik enerjisi E_g , tünel engel yüksekligi d ve dis elektrik alanin potansiyeli ϕ 'dir. ϕ arttikça engel yüksekligi azalir ve elektronların tünelleme yolu ile geçisi kolaylasir. Dis elektrik alan altında kalan yarıiletkene isik demeti düşürüldüğünde elektron geçisi dis elektrik alan olmadığı hale göre hw enerjisinden daha küçük enerjiyle mümkün olmaktadır. $\phi \neq 0$ olduğunda elektron geçisine uygun hw 'nin degeri yasak enerji araliginin küçük degerinde de mümkündür. Bu durum engelin yüksekligini daha da azaltir ve

$$d = (E_g - hw) / e \quad (2.10)$$

sekinde ifade edilir. Isik enerjisinin etkisi altında, dis elektrik alanina konulmus yarıiletkenlerde elektronların fotonları sogurarak tünel yoluyla valans banddan iletkenlik bandina geçme hadisesine Franz-Keldysh etkisi denir.

2.4. Yariiletkenlerde Sogurma (Absorpsiyon) Olaylari

Genel olarak sogurma, bir malzemenin içerisinde elektriksel yüklerin üzerine gelen elektromanyetik dalgalarla etkilesmesi sonucunda ortaya çıkan enerji kaybi olarak tanımlanmaktadır. Yariiletken malzemelerde fotonların sogurulması temel sogurma, serbest yük taşıyıcılarının sogurması ve katkı atomlarının sogurması şeklinde sıralanabilir.

2.4.1. Temel sogurma olayi

Temel sogurma olayında, yariiletken malzeme üzerine gelen bir fotonun enerjisi yariiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan büyük olduğunda, bu foton yariiletkenin değerlik bandındaki bir elektron tarafından sogularak bir elektron boşluk çifti oluşturulur. Böylece değerlik bandındaki bir elektron iletkenlik bandına geçer. Temel sogurma olayı Şekil 2.5’de görülmektedir. Temel sogurma olayında frekansı ω olan bir fotonun enerjisi $h\omega$ olmak üzere,

$$h\omega \geq E_g \quad (2.11)$$

veya,

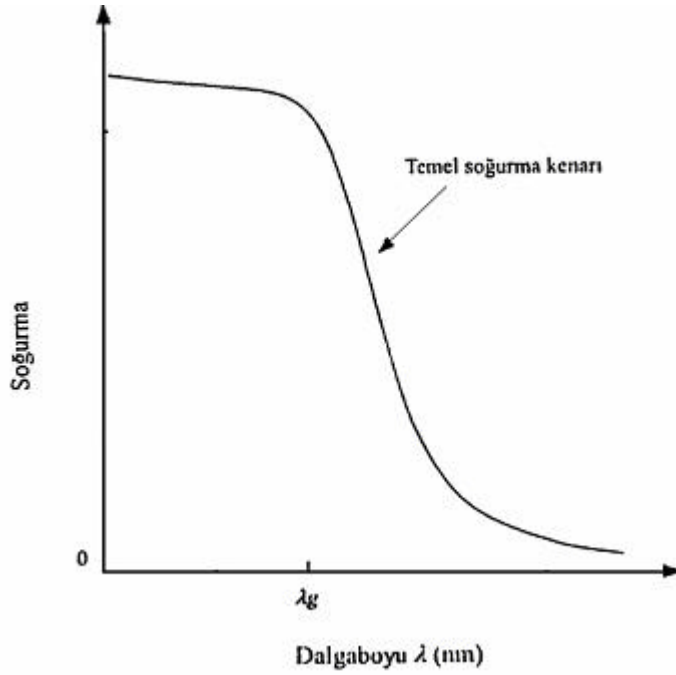
$$\omega \geq \frac{hc}{E_g} \quad (2.12)$$

olmalıdır. Buradaki ω_g yariiletkenin yasak enerji aralığının enerji değerine karşılık gelen fotonun dalga boyunu ve c ışığın boşluktaki hızını göstermektedir. Sogurma katsayısı α , doğrudan ve dolaylı band yapılı yariiletkenlerde fotonun enerjisine sırasıyla denklem (2.13) ve (2.14) ifadelerinde verildiği gibi bağlıdır:

$$\alpha \propto A(h\omega - E_g)^{1/2} / h\omega \quad (2.13)$$

$$B(h\nu - E_{gi} - E_p)^2 \exp(E_p/kT) \quad (2.14)$$

Bu ifadelerdeki A ve B fotonun enerjisinden bagimsiz sabitlerdir, E_p fononun enerjisi ve E_{gi} dolayli band genisligidir.

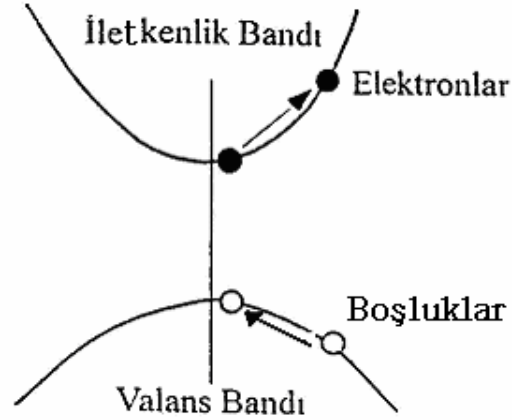


Sekil 2.5. Yariiletkenlerde temel sogurma spektrumu.

2.4.2. Serbest yük taşıyıcılarının soğurması

Yariiletkenlerde serbest yük taşıyıcıları olan elektronlar ve boşluklar bir banttaki diğer bantta uyarılmadan da fotonu soğurabilirler. Bu durum, gelen foton enerjisi $h\nu = E_g$ olduğunda görülür ve bu enerji iletim bandındaki elektronun veya valans bandındaki boşluğun aynı bant içerisinde bulunan daha yüksek enerji düzeylerine uyarılmasını sağlar (Sekil 2.6).

Serbest yük taşıyıcı soğurmasında bir fotonun enerjisi yasak enerji aralığı değerinden büyük olduğunda, aynı anda hem temel soğurma, hem de serbest yük taşıyıcı soğurması olayı meydana gelebilir (Seeger 1982).



Sekil 2.6. Serbest yük taşıyıcılarının soğurması

2.4.3. Katki atomlarının soğurması

Katki atomlarının soğurması, katılama türüne ve katkı konsantrasyonuna bağlıdır. Katkili yarıiletkenlere gelen foton enerjisi, E_g 'den küçük ise valans bandındaki bir elektron iletkenlik bandına uyarılamayacak ve bu fotonun alıcı ve verici atomlar tarafından soğurulması ihtimali artacaktır. Böylece katkı atomlarının iyonlaşması, soğurma tayflarında keskin pikler şeklinde görülür.

2.5. Yarıiletkenlerde Özdirençin Sıcaklıkla Değişimi

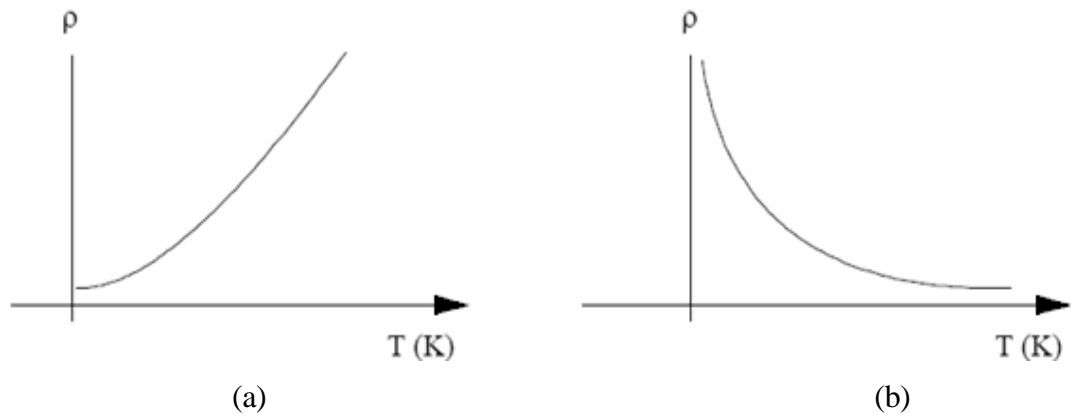
Kati cisimler, elektriksel özdirençlerine göre üç gruba ayrılırlar: metaller (iletkenler), yalıtkanlar ve yarı iletkenler. Süper iletkenler oda sıcaklığında metal özelliği göstermektedirler ve düşük sıcaklıklarda süper iletkenliğe sahiptirler. Kati cisimlerin özdirençlerine göre sınıflandırılması şu şekildedir.

1. Metaller: $\rho = 10^{-6} - 10^{-4}$ ohm cm
2. Yarıiletkenler: $\rho = 10^{-4} - 10^{10}$ ohm cm
3. Yalıtkanlar: $\rho = 10^{10}$ ohm cm

Özdirenç kriterleri açık değildir. Çünkü bir cisimden diğerine geçildiğinde özdirenç değerleri üst üste gelmektedir. Metaller ve yarıiletkenler arasındaki fark, özdirenç sıcaklıkla değişiminden daha açık bir şekilde görülebilir. Kimyasal olarak temiz metallerde özdirenç sıcaklıkla lineer olarak artmaktadır.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2.15)$$

Burada ρ_0 metalin 0°C 'de ki özdirenç, $\alpha = 1/273$ direncin termal genleşme katsayısı, T mutlak sıcaklıktır. Şekil 2.7 sırasıyla bir metalin (a) ve bir yarıiletkenin (b) özdirençinin sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi metallerde sıcaklık arttıkça özdirenç de artar.



Şekil 2.7. Bir metalin (a) ve bir yarıiletkenin (b) özdirençinin sıcaklıkla değişimi.

Temiz (katkisiz) yarıiletkenlerin özdirenç, metallerin aksine sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak azalır.

$$\rho = A \exp\left(\frac{E_g}{kT}\right) \quad (2.16)$$

Burada E_g yariiletkenin yasak enerji araligi, k Boltzmann sabiti ve A da bir sabittir. Metallerin ve yariiletkenlerin özdirencinin veya iletkenliginin (ρ) su sekilde verildigi bilinmektedir.

$$\rho = \frac{1}{ne\mu} \quad (2.17)$$

Burada n elektron konsantrasyonu, e elektronun yükü ($e=1,6 \times 10^{-19} \text{C}$) ve μ elektronların mobilitesidir. Metallerde atomlar tam iyonlaşmış durumdadırlar. Bu nedenle elektron konsantrasyonu çok yüksektir ve sıcaklığa bağlı değildir. Metallerde sıcaklık arttıkça elektron konsantrasyonu değişmemekte, fakat mobilite bir miktar küçülmektedir. Sonuçta (2.17) eşitliğine uygun olarak metallerin özdirenci sıcaklıkla artmakta veya iletkenliği azalmaktadır. Katkisiz yariiletkenlerde, metallerin aksine elektron konsantrasyonu sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak artmakta ve elektron mobilitesi az miktarda küçülmektedir. Bu iki mekanizmanın sonucunda yariiletkenlerin özdirenci sıcaklık arttıkça (2.17) eşitliğine uygun olarak eksponansiyel bir şekilde azalmaktadır.

Metallerin yariiletkenlerin ve yalıtkanların özdirenç kriterlerine göre ayırt edilmesi her zaman mümkün değildir. Zira yariiletkenlerin özdirenci, bazı sıcaklık aralıklarında metallere, bazı sıcaklık aralıklarında ise (mutlak sifira yaklaşıldığında) yalıtkanlar benzer davranışlar sergileyebilir.

2.6. Fotolüminesans Isimasi

Enerjinin madde tarafından söğurulüp görünür dalga boyunda yayınlanması olayı lüminesans olayı olarak bilinir ve lüminesans olayı uyarıcı kaynaga göre adlandırılır. Eger radyoaktif isinlarla uyarılırsa radyolüminesans, elektrik enerjisi ile uyarılırsa elektrolüminesans, katod isinlarıyla uyarılırsa katodalüminesans, kristallerin kırılması veya parçalanmasıyla oluşuyorsa tribolüminesans, bir fosfor veya organik molekülün kimyasal reaksiyon esnasında serbest kalan enerjinin isimasına kemilüminesans,

biyolojik maddelerin yaydığı ışığa biyoluminesans, bir cismin ısıtılmasıyla oluşan ışığa termoluminesans ve fotonlarla uyarılıyorsa buna da fotoluminesans olayı denir (Gezci 1992).

Fotoluminesans yayını bir isinimli geçiş olayı olup, radyasyon yayınıyla uyarılmış durumdaki malzemenin denge durumuna gelmesi şeklinde ele alınabilir ve oluşum açısından soğurma olayının tersidir. Böyle bir sistemde elektron-hol çiftlerinin optik üreme hızı isinimli rekombinasyon hızına eşittir. ν frekans aralığındaki ν' frekansında oluşan yayınım hızı;

$$R(\nu) d\nu = P(\nu') (\nu') d\nu' \quad (2.18)$$

bağıntısıyla elde edilip, burada $P(\nu')$; $h\nu'$ enerjili bir fotonun birim zamandaki soğurulma olasılığı, $P(\nu) d\nu$ ise; $d\nu$ frekans aralığındaki ν frekanslı fotonların yoğunluğunu gösterir. Soğurma olasılığı yarıiletkendeki fotonların $t(\nu)$ ortalama ömrüyle bağıntılı olup,

$$P(\nu) = \frac{1}{t(\nu)} \quad (2.19)$$

esitliğiyle verilir. n kırınma indisi olmak üzere, ortalama ömür $t = c/n$ hızında hareket eden bir fotonun $1/a(\nu)$ ortalama serbest yolu cinsinden,

$$t(\nu) = \frac{1}{\nu a(\nu)} \quad (2.20)$$

esitliğiyle elde edilip, soğurma olasılığı;

$$P(\nu) = \nu a(\nu) = \nu c/n \quad (2.21)$$

şeklinde ve yayınım hızı;

$$R(\nu)d\nu = \frac{8\pi^2 \nu^2 n^2}{c^2 \exp(h\nu/kT)} \quad (2.22)$$

bağıntısıyla elde edilir. Burada (2.22) denklemi yayınım spektrumuyla soğurma spektrumu arasındaki temel bağıntıyı sağlar ve $k(\nu)$ sönüm katsayısı cinsinden soğurma katsayısı;

$$k(\nu) = \frac{4\pi k(\nu)}{c} \quad (2.23)$$

esitliğini sağlar ve $k(\nu)$ sönüm katsayısı cinsinden yayınım hızı;

$$R(\nu)d\nu = \frac{32\pi^2 k(\nu)n^2\nu^3}{c^3 \exp(h\nu/kT)} \quad (2.24)$$

şeklinde elde edilir. Saniyede birim hacim başına R rekombinasyon toplam sayısı, tüm foton frekanslarının integrasyonu ile elde edilir. $u=h\nu/kT$ dönüşümü kullanılarak (2.23) bağıntısından;

$$u = \nu \frac{c}{4\pi h(\nu)} \frac{h}{kT} \quad (2.25)$$

esitliği elde edilip, toplam rekombinasyon hızı;

$$R = \frac{8\pi^2 n^2 (kT)^3}{c^2 h^3} \int \frac{k(\nu) u^2}{e^{u+1}} du \quad (2.26)$$

şeklinde, (2.22) denklemi ise;

$$R(\nu)d\nu = \frac{8\pi^2 \nu^2 kT^3}{c^2 h^3} n^2 k(\nu) \frac{u^2}{e^{u+1}} \quad (2.27)$$

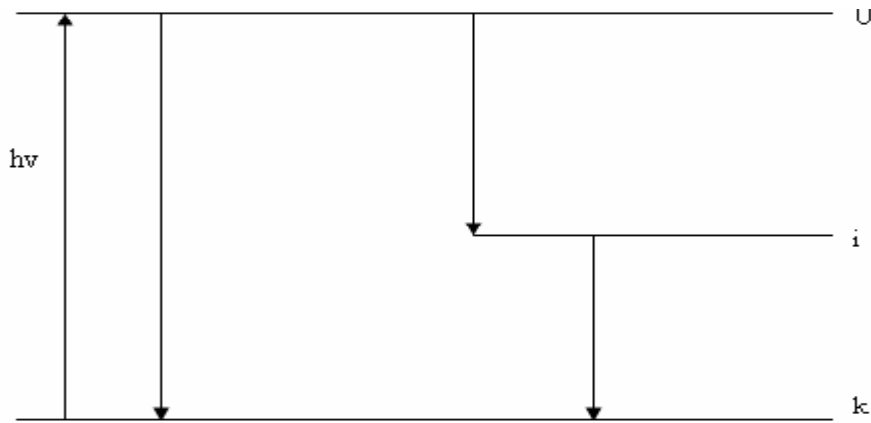
bağıntısıyla elde edilip, (2.27) eşitliği yarıiletkenleri karakterize eden n^2 ve ν değerlerini ve malzemenin bağımsız,

$$U = \frac{8\pi^2 kT^3}{c^2 h^3} \frac{u^2}{e^{u^2}} \quad (2.28)$$

fonksiyonunu içermektedir. Bu denklem takımları yarıiletken bir malzemenin soğurma ve fotoluminesans yayılım durumu için temel bağıntıları sağlamaktadır.

2.6.1. Lüminesans verimi

Elektronik geçişler, üst seviyeden temel seviyeye veya birden fazla ara seviyede oluşabilir. Ancak ara geçişler isinimli veya isinimsiz olabilirler. Şekil-2.8'de görüldüğü gibi bir "i" ara geçiş bölgesi ele alınırsa,



Şekil 2.8. Optik geçişlerde rekombinasyon işlemi

$u = k$ isinimli geçiş olasılığı, $h\nu$ foton enerjisine sahip $k = u$ işlemindeki soğurma katsayısına dayanır. Şekil-2.8'de görüldüğü gibi ara geçiş durumu $h\nu$ enerjili soğurma

işlemine dahil olmaz, fakat rekombinasyon işlemi sonucunda $u \rightarrow i \rightarrow k$ şeklinde veya $u \rightarrow k$ şeklindeki geçişler meydana gelir. Eğer isinim $h\nu$ enerjisinden düşükse $u \rightarrow i \rightarrow k$ şeklinde, büyükse $u \rightarrow k$ şeklinde geçişler oluşur. $u \rightarrow k$ geçiş şekli tüm durumlar için (2.22) bağıntısına uyar. Burada τ' rekombinasyon süresi olmak üzere, isinimli geçiş durumlarında etkin rekombinasyon süresi;

$$\frac{1}{\tau'_{etkin}} = \frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau'} \quad (2.29)$$

şeklinde verilir. τ' rekombinasyon süresi olmak üzere, toplam rekombinasyon hızı,

$$R_T = \frac{1}{\tau'_{etkin}} \frac{np}{2n_i} \quad (2.30)$$

bağıntisiyle verilirken, isinimli rekombinasyon hızı,

$$R = \frac{1}{\tau} \frac{np}{2n_i} \quad (2.31)$$

şeklinde olup burada, n ve p elektron ve hol konsantrasyonlarına, n_i ise safsızlık konsantrasyonuna karşılık gelmektedir. Isinim verimi ise,

$$\eta = \frac{R}{R_T} = \frac{1}{1 + \tau/\tau'} \quad (2.32)$$

bağıntisiyle belirlenir, τ burada çoğunluk taşıyıcıların isinimli geçiş süresini göstermektedir.

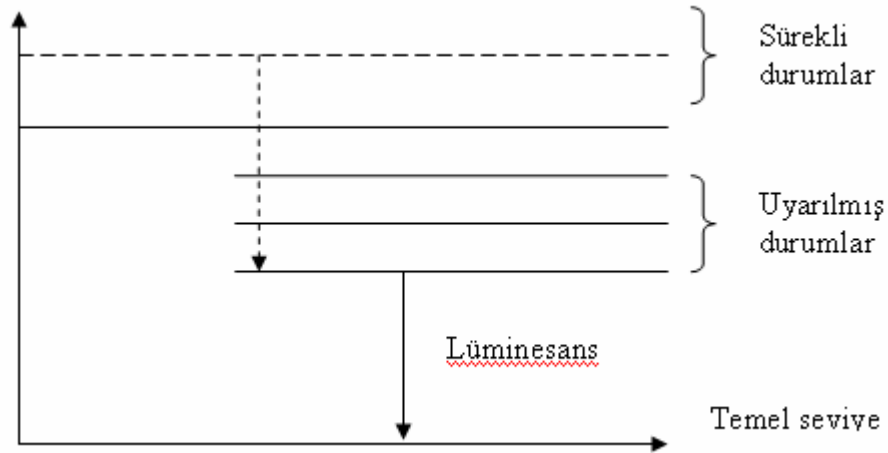
Lüminesans isinimi uyardıktan sonra, 10^{-8} sn'den daha kısa sürede oluşursa floresans, 10^{-8} sn'den daha uzun sürede oluşursa buna da fosforesans olayı denir. Isinim zamanı lüminesans malzemesine göre değişip mikrosaniye ile saatler mertebesinde olabilir.

Bir maddenin yüksek verimlilikteki lüminesans yeteneği, içinde bulunan canlandırıcılarla ilgilidir. Bunlar özel kirlilik atomları olup kristal içine isteyerek asılan ve istemeyerek oluşma anında kristal içinde az miktarda bulunan yabancı atomlar olup yarıiletkenlerde akseptörlere karşılık gelirler. Kristallerdeki lüminesans oluşumu iki sınıfa ayrılır;

a) Elektron veya hollerin kristal örgüsü içinde yer değiştirmeleri lüminesans olayını oluşturur. Bu nedenle bu tip lüminesans yayınlayan maddeler aynı zamanda fotoiletkenlerdir.

b) Yüklerin hareket göstermeden kristal örgüsü içinde enerji değişimine dayanan lüminesans olaylarıdır. Burada uyarıcı enerji, kristal örgüsü veya bir merkez tarafından sömürülür. Lüminesans söndüren elementlere söndürücüler veya öldürücüler denir.

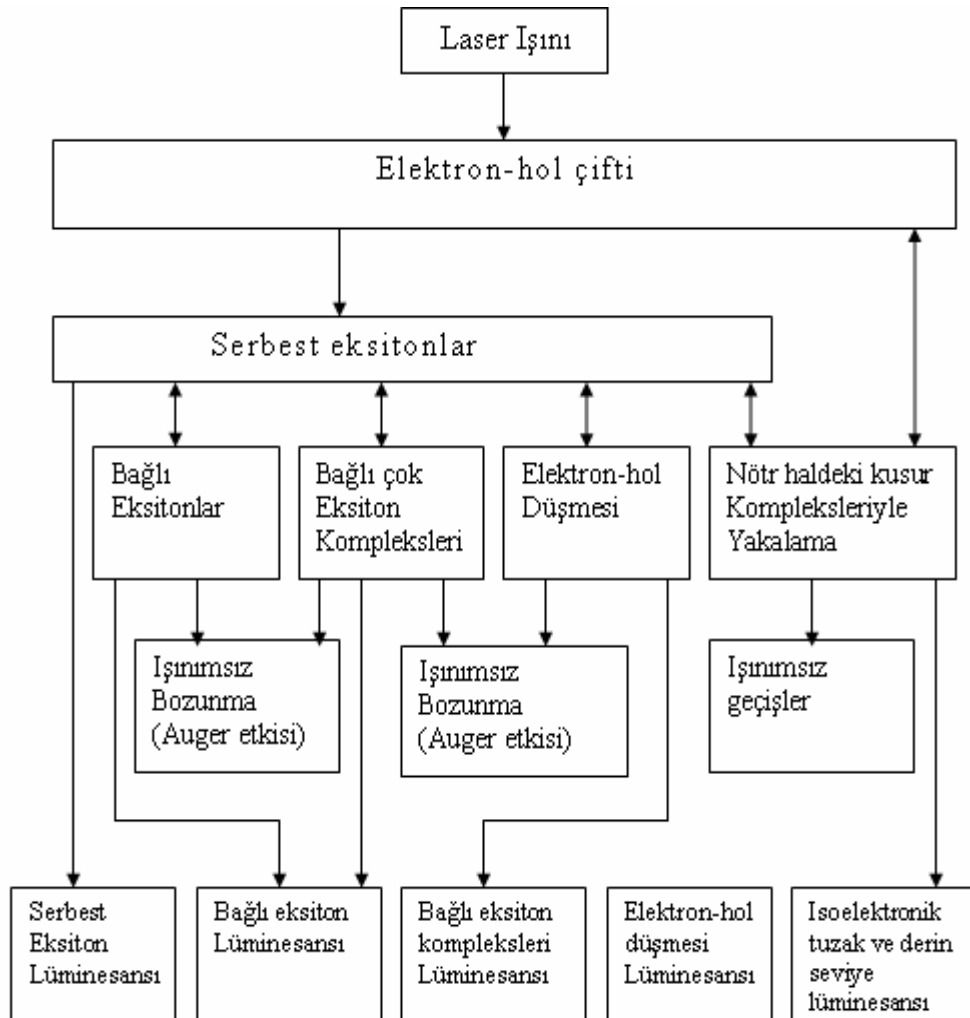
Fotolüminesansta fotonun sömürülmesiyle oluşan enerji kristale aktarılır. Karakteristik lüminesans malzemelerinde canlandırıcı iyonun kendisi doğrudan fotonun enerjisini sömürür. Maddenin sömürme ve yayınım spektrumunun tepe değeriyle karşılaştırıldığında yayınım spektrumundaki yerlerinde kayma olduğu görülür, bu olay ise Stokes kayması olarak bilinir.



Sekil 2.9. Düşük sıcaklık fotolüminesansının oluşumu.

Fotoluminesans, uyarılmış seviyeden düşük elektronik seviyeye, genellikle temel enerji seviyesine optik geçişleri algılar. Eger uyarılmış farklı enerji seviyesi varsa, en düşük uyarılmış seviyeden geçişler Şekil-2.9’da görüldüğü gibi hızlı termalizasyondan dolayı düşük sıcaklıklarda gözlemlenebilir.

Malzemede yapı bozukluğu konsantrasyonunun oldukça düşük veya yarıiletken film kalınlığının çok ince olduğu durumlarda, soğurma tekniğinin kullanımı oldukça zordur, böyle durumlarda fotoluminesans tekniği daha başarılı bir şekilde kullanılır.



Şekil 2.10. Lüminesans oluşum mekanizması(Stradling)

Fotoluminesans yayiniminda kristaldeki tuzaklarin ve istenmeyen bölgelerdeki isima merkezlerinin varligi yayinim verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Yariiletken bir malzemenin bir laser kaynagi ile uyarilmasi sonucunda olusan fotoluminesansin olusum mekanizmasi sekil-2.10'da görülmektedir.

2.7. X-Isini

Bazi kristal katilarin yapilari hakkindaki yararli bilgiler bir malzemenin makroskopik ve mikroskopik gözlemleri sonucunda elde edilir. Örneğin görünür isigin yüzey kusurlarindan yansimasiyla kristal yapisi bilinen tek kristalli yapinin kristalografik yönelimi hakkında degerli bilgiler elde edilir. Yinede görünür isik veya morötesi isiklar atomlar arasi mesafenin ve konumlarinin belirlenmesinde gerekli olan çözünürlüğe sahip degildirler. Atomlar arasi mesafe yaklasik olarak 1 \AA civarindadir. Dolayisi ile kristal yapı hakkında bilgi edinebilmek için kullanılacak olan enerji bu dalgaboyu civarinda olmalıdır. Kristal yapıların belirlenmesinde kirinim teknikleriyle ilgilenilir. Kirinim bize düzlemlerin arasindaki ortalama mesafeyi, bu düzlemler arasindaki açilari, nokta grubu simetriteri ve atomların konumları hakkında bilgiler verir.

Laue tarafından bir kristalin dalgaboyu, atomik mesafe ile karsilastirilabilir olan, belli bir enerjiye sahip elektromanyetik dalgalar için üç boyutlu bir kirinim ağı olarak davranabileceği öngörülmüştür. Elde edilen kirinim deseni atomların düzgün olan dizilimleri hakkında bilgiler saglar. Bir kristal yapinin belirlenmesinde üç tip dalga veya parçacik radyasyonu kullanilir. Bunlar x-isinlari, elektron ve nötron radyasyonudur. Bu üç tip radyasyonun sahip olduklari enerjiler birbirlerinden çok farklıdır. X-isini fotonlari için;

$$\lambda = \frac{hc}{E}, \quad \lambda = 1 \text{ \AA} \text{ için } E = 12000 \text{ eV' dur.}$$

Elektron radyasyonu için daha düşük olan;

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}, \quad \lambda = 1 \text{ \AA} \text{ için } E = 150 \text{ eV} \text{ enerjiye ve } v = 7 \times 10^6 \text{ m/s} \text{ hız}$$

gereklidir. Nötron radyasyonu için;

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2M_n E}}, \quad \lambda = 1 \text{ \AA} \text{ için } E = 0,08 \text{ eV} \text{ enerjiye ve } v = 4000 \text{ m/s} \text{ gibi çok}$$

daha düşük enerjili ve hızı sahip olan parçacıklar gereklidir.

Bu üç tip dalga-parçacık radyasyonu periyodik örgü ile aynı genel geometrik kanunlara göre etkileşirler. Foton enerjileri 10-100 keV arasında olan x-ışınları kristalin yüzeyinden aşağı tabakalara doğru hareket edebilir ve kristal yapısı bilinmeyen malzemeler için en uygun tekniğin temelini oluşturur. X-ışınları Hidrojen gibi çok hafif atomların yerlerini belirlemede başarılı değildirler fakat daha ağır elementler için çok iyi sonuçlar verir.

Elektronun bir tek kristalden veya bir kristal filmdeki kırınımı katıların periyodik yapısını ve elektronun dalga-parçacık ikilemini göstermesinden dolayı çok etkileyicidir. Elektronlar yüklü parçacıklar olduklarından dolayı madde ile çok güçlü bir etkileşime sahiptirler. Bunun sonucu olarak kristal içerisinde birkaç yüz Angström kadar ilerleyebilirler. Bu durum elektron kırınımını bulk malzemelerde kullanılmasını kısıtlar. Fakat iki durum için çok uygundur;

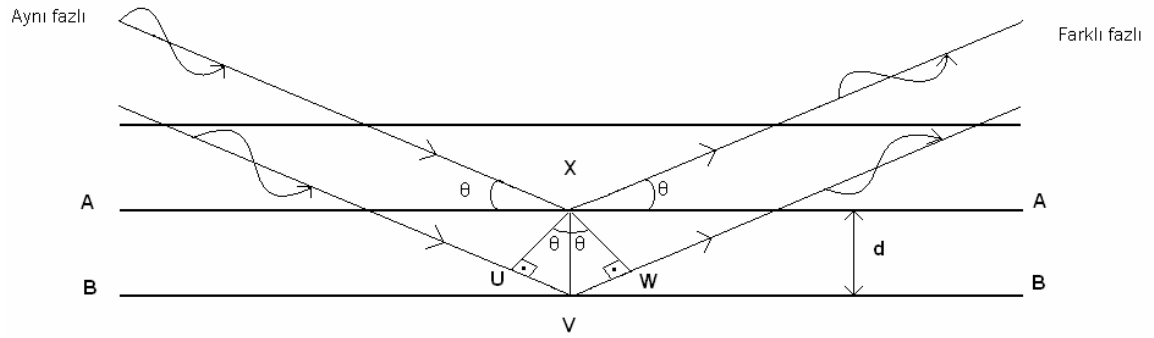
- 1) Kristalin yüzey tabakalarının ve yüzey durumlarının incelenmesinde
- 2) İnce filmlerin incelenmesinde

de-Broglie dalga boyları atomik mesafe ile kıyaslanabilir olan ağır nötronlar katıyla bir çok şekilde etkileşime girebilirler. Manyetik olmayan katılarda sadece çekirdek ile etkileşime girerler. Çünkü nötronlar yüksüzdür ve elektronlara göre kütlesi çok

büyükür. Bu yüzden hafif atomların incelenmesinde daha uygundur (Blakemore 1989).

2.7.1. X-ışını kırınımı

Bragg, dalgaların paralel düzlemler takimi tarafından kırınım ugramaları sonucunda basit bir formülasyon ve geometrik bir şart öne sürmüştür. Işın bir yarıktan kırınımı ile x -ışınlarının bir kristalde kırınımı arasında fark vardır. Işın kırınımında geliş açısı ve kırınım sonucu oluşan suanın açısı birbirlerine eşit değildir ve bu iki açı arasında, dalga boyu ile yarığın genişliği arasında bir ilişki söz konusudur. Bragg kırınım şartı geliş açısının ve yansıma açısının eşit olduğunu belirtir. Bununla birlikte, yansıma sadece geliş açısının dalga boyuna uygun olduğu durumda ve ardışık iki düzlem arasındaki mesafenin uygun olduğu durumda gözlenebilir. Bragg kanunu tek bir düzlemdeki atomların dizilişi ile ilgili değildir.



Sekil 2.11. Bragg yansımasının gösterimi

X-ışınlarının paralel olarak tek kristale doğru yönlendirildiklerini düşünelim. Bu x -ışınları kristalde ilerleyebildikleri bölgelerdeki tüm atomlar ile etkileşime girerler. Burada x -ışınlarının θ açısı yapan atomların bir seri paralel düzlemleri ile etkileşime girdiğini düşünüyoruz. Bu düzlemlerden ilki ile olan etkileşim sonucu yansıma açısı θ olan bir yansıma bileşeni oluşacaktır ve bu bileşen eğer x -ışınları kristalde derinlere

dogru ilerliyorsa oldukça zayıftır. Bu ilk düzlem periyodik bir düzene sahip olduğu için, bu düzlem x -ışınları için iki boyutlu bir kırınım ağı olarak davranır ve zayıf bileşenler farklı θ_m açılarında farklı kırınım derecelerine yansıtılacaktır. İkinci ve bunu takip eden bütün düzlemlerde, yansıtılan enerjinin bileşenleri benzer olarak özel yansımaya açılarında oluşacaktır. X -ışınları kristalde derinlere doğru binlerce ardışık düzlemden farklı zayıf bileşenleri ortaya çıkarmak için ilerleyebildiği için, x -ışını suası ve düzlem takımlarının arasındaki geliş açılarının çoğunda yıkıcı girişimin iyi tanımlanmış düzlemlerin görünürlüğünü engelliyeceği açıktır. İkinci düzlemden yansımaya maruz kalan x -ışını suasının birinci düzlemden yansıyan ışına göre $2d\sin\theta$ 'lik fazla bir yol alacağı Şekil 2.11'de görülmektedir. Her bir yansıyan bileşen eğer düzlemler arası mesafe dalga boyunun tam katları ise yapıcı bir girişimle birleşecektir. Sonuç olarak yansımaya için verimli olan şart yani Bragg kanunu;

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

olur burada n bir tamsayıdır. Genel olarak tek dalga boyulu x -ışınları kristale doğru rastgele bir açıyla geldiklerinde yapıcı bir girişim oluşturmayacakları açıktır. Bragg kanununun gerçekleştirebileceği bir durumu kadar hem dalga boyu hem de açı değiştirilmelidir. Bragg yasası verimli bir yansımaya elde etmek için gerekli olmasına rağmen, yansımaya etkileyen faktörlerden dolayı yeterli değildir. (hkl) gibi özel bir düzlemden elde edilecek olan verimli yansımaya yapı faktörü ve atomik saçılma faktörü gibi parametrelerin bu yansımaya izin verip vermemesi ile alakalıdır (Blakemore 1989).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Ince film büyütmek için kullanılan çeşitli teknikler vardır. Bu teknikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- 1) Chemical Bath Deposition (Kimyasal Banyo Biriktirme) (CBD)
- 2) Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (Sıralı İyonik Tabaka Çökmesi ve Reaksiyonu) (SILAR)
- 3) Vacuum Evaporation (Vakum Buharlaştırma ile Büyütme)
- 4) Sputtering (Püskürtme)
- 5) Spray Pyrolysis (Eriterek Püskürtme ile Büyütme) (SP)
- 6) Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Yoluyla Büyütme) (CVD)
- 7) Molecular Beam Epitaxy (Moleküler Demet Tabaka Yoluyla Büyütme) (MBE)
- 8) Dip (Daldırma Tekniğiyle Büyütme)
- 9) Physical Vapor Transport (Fiziksel Buhar Transferi ile Büyütme) (PVT)
- 10) Hot Wall Deposition (Sıcak Duvar Biriktirme ile Büyütme)

CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ yarıiletken ince filmlerin büyütülmesinde, bölümümüzdeki imkanlar çerçevesinde, amacımıza uygun, büyüme yönteminin pratik olması, fazla zaman kaybına sebep olmaması, ucuz olması, büyüme boyunca zaman, kalınlık, batırma sayısı, çözelti konsantrasyonu, sıcaklık ve çözelti pH'si gibi parametrelerin kolaylıkla kontrol edilebilmesine imkan veren bir teknik olması sebebiyle SILAR tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.1. SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) Tekniği

Geçtiğimiz son yirmi, otuz yıl süresinde sıralı iyonik tabaka adsorption ve reaksiyonu (SILAR) yöntemi çeşitli bileşik malzemelerin ince film formunda çökeltilmesi için bir çözüm yolu olarak ortaya çıkmıştır. SILAR metodu ucuz, basit ve büyük yüzey

olusturmak için uygundur. Yalıtkanlar, yarıiletkenler, metaller oda sıcaklığına yakın veya esit sıcaklıklarda yapılan katkılamlarda altlık malzeme olarak kullanılabilirler. Yüksek kalitede ince film elde etmek için, başlangıç çözelti konsantrasyonuna, pH değerine, reaksiyon ve çalkalama süreleri gibi önemli parametrelere dikkat etmek gerekir.

Ince filmlerin özellikleri, bu filmlerin bütün davranışlarını üstün kılabilen yüzey ve arayüzey etkileri yüzünden bulk halinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ince filmler güneş pilleri, fotoiletkenler, sensörler, dar bant filtreleri, IR dedektörler, uyduların sıcaklık kontrolü, fototermal güneş tabakaları vb. için özel bir ilgi çekmektedir. Ince filmler, çeşitli tekniklerle üretilir. Bu teknikler, fiziksel ve kimyasal teknikler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Fiziksel metodlarda, film materyal altına bir hedef kaynaktan değişik enerjiler ile hareket ettirilir. Bu metod metal filmler gibi bir bileşik filmlerde geniş bir şekilde kullanılır.

Fiziksel metotlara vakumda buharlaştırma ve püskürtme örnek verilebilir. Bu metotlarda ince film katkılama, ya buharlaştırma ile ya da çarpışma yöntemi ile altına gaz halinde transfer edilir. Kimyasal reaksiyon ve başlangıç çözeltileri içeren kimyasal film üretim metodunda ise altlık yüzeyinde veya altlığın etrafında kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Kimyasal metotlara, kimyasal buhar katkılama(CVD), lazer CVD, metal organik kimyasal katkılama(MOCVD) gibi gaz fazlı kimyasal yöntemler örnek verilebilir. Sıvı fazlı kimyasal tekniklere, elektrodpozisyon, kimyasal banyolama(CBD), spray pyrolysis vb. örnek verilebilir.

Ince film katkılama için en yeni çözelti metodlarından biri olan SILAR metodu, CBD'nin modifiye edilmiş versiyonu olarak bilinmektedir. Basit olmasına rağmen, basitlik SILAR'in bir avantajıdır. SILAR'in diğer avantajları:

i. Belli oranlarda hazırlanmış katyodik çözelti kullanılarak film oluşturmak kolaydır.

- ii. Kapali buhar katkilama metodunda oldugu gibi SILAR, hem yüksek kalitede altlik hem de her asamada vakum gerektirmez.
- iii. Katkilama orani ve film kalinligi, döngü sayisi degistirilerek kolayca kontrol edilebilir.
- iv. Oda sicakliginda yapilan islemlerde, daha az dayanikli materyaller üzerinde filmler üretilebilir.
- v. Altlik materyalin boyutlarinda veya yüzey profilinde herhangi bir kisiltlama yoktur.

Ayrıca SILAR, diğer metotlara göre ucuz, basit ve büyük alan katkilamak için uygun bir metottur. Katkilama oda sicakligina yakin ve esit sicakliklarda uygulanmaktadır. Böylece metalik altliklarin oksidasyonu ve asinmasi önlenir. Temel yapı bloklari, atomlar yerine iyonlar oldugu için hazirlayici parametreler kolayca kontrol edilebilir ve daha iyi yönlendirme ve gelismis zincir yapı elde edilebilir.

SILAR metodu, diğer metotlara göre yeni ve daha az incelenmiş bir metottur. İlk olarak 1985 yılında Ristov ve arkadaşlari rapor etmişlerdir. SILAR ismi, 1985'te Nicolau tarafından bu metoda atfedildi. Bu metotla ZnS, CdZnS ve CdS ince filmleri büyüttüler. SILAR metodu, I-VI, II-VII, III-VI, V-VI, VIII-VI ikili kalkojen gruplarinin ince filmlerini ve III-VI, II-II-VI, II-III-VI, II-VI-VI ve II-V-VI üçlü kalkojenitleri ve bileşik filmleri katkilamak için kullanislidir.

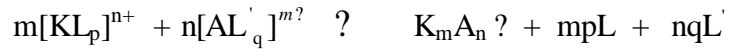
3.2. SILAR'in Teorik Altyapisi

Çözeltideki homojen çökeltmeden kaçınmak için deiyonize su ile her daldırma arasında çalkalama ve çözeltilerdeki iyonların reaksiyonu ve adsorpsiyonu SILAR metodunun temelini oluşturur. Baska bir maddenin yüzeyinde bir maddenin toplanması, adsorpsiyon olarak bilinir ki bu SILAR metodunun temel yapı bloğudur. Adsorption terimi, bir sistemin iki faz arasındaki arayüzey tabakası olarak tanımlanabilir. Adsorption, iki homojen faz birbiri ile temas başladığında düşünülebilir. Bundan

dolayî gaz-kati, sivi-kati ve gaz-sivi gibi üç mümkün adsorpsiyon sistemidir. SILAR metodunda, yalnızca sivi-kati sistemdeki adsorpsiyon ile ilgileniriz.

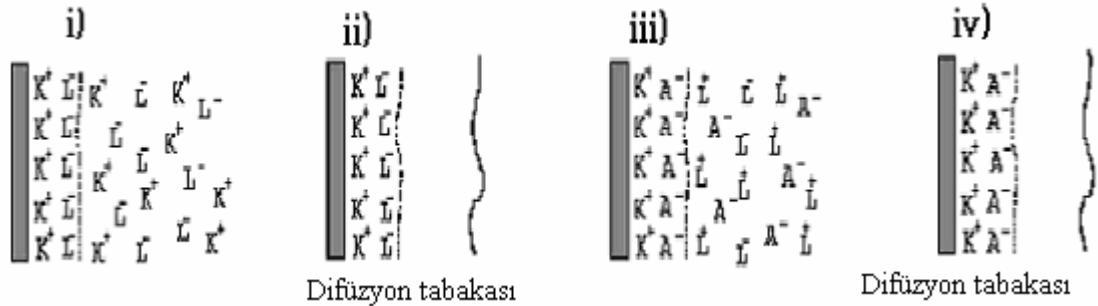
3.3. SILAR Tekniginin Asamaları

SILAR tekniği ile bir ince film tabakası oluşumu aşamaları şu şekildedir: Örneğin $K_m A_n$ bileşiği için gerekli olan katyon ve anyon çözeltileri sırasıyla $[KL_p]^{n+}$ ve $[AL'_q]^{m-}$ şeklinde olsun. $[KL_p]^{n+}$ katyonu ve $[AL'_q]^{m-}$ anyonu reaksiyona girerek $K_m A_n$ bileşimini oluşturur. Toplam reaksiyon



şeklinde verilir. SILAR ile büyütme Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi dört adımdan oluşur.

- i) Sogurma(adsorption) ii) Çalkalama1(rinsing1) iii) Reaksiyon(reaction)
iv) Çalkalama2(rinsing2)



Şekil 3.1. SILAR büyütme tekniğinin sematik gösterimi. i) taban malzemenin yüzeyi katyonik çözelti olan KL_p çözeltisine batırılması ve elektriksel çift tabaka oluşumu, ii) çalkalama adımı 1, difüzyon tabakasından zayıf bağlı K^+ ve L^- iyonları atılması, iii) KL_p ile AL'_q reaksiyonu, iv) çalkalama adımı 2, zayıf bağlı ve reaksiyona girmeyen A^- , L^+ , L^- iyonları difüzyon tabakasından atılması. Bu döngü sonunda taban malzeme yüzeyinde $K_m A_n$ bileşiminin kati tabakası oluşur.

Bir SILAR döngüsünün ilk adımı, taban malzemenin başlangıç katyonik çözeltisine $[KL_p]^{n+}$ batırılması ve belli bir süre bekletildikten sonra taban malzeme yüzeyinde bir

elektriksel çift tabaka oluşması ile sonuçlanır. Bu tabaka, daha iç (pozitif yüklü) ve daha dış (negatif yüklü) iki tabakadan oluşur. Pozitif tabaka katyonları (K^+), negatif tabaka ise katyonların karşı iyonlarını (L^-) içerir. Taban malzemenin, saf su veya deiyonize su içerisinde geçirilmesi sonucunda zayıf bağlı ve reaksiyona girmemiş K^+ ve L^- iyonları difüzyon tabakasından uzaklaştırılır. Bu işlem çalkalama 1 adiminde gerçekleştirilir. Böylece doygun bir elektriksel çift tabaka oluşur. Bu da SILAR döngüsünün ikinci adimidir. Doymuş bir elektriksel çift tabaka oluştuktan sonra taban malzeme başlangıç anyonik çözeltisine $[AL'_q]^{m-}$ batırılır. Bu adım da kimyasal reaksiyonlar gerçekleşmesinden dolayı reaksiyon fazı olarak adlandırılır. $K_m A_n$ kati malzemenin düşük çözünürlüğünden dolayı ($K^+ A^-$) tabakası arayüzeyde oluşur. Reaksiyon fazı, SILAR döngüsünün üçüncü adimidir. Son adım ise taban malzemenin tekrar ayrı saf su veya deiyonize su içerisinde geçirilerek her iki başlangıç çözeltisindeki karşı iyonları (L^- , $L'^?$) ve zayıf bağlı A^- iyonları difüzyon tabakasından uzaklaştırılır. Bu adım çalkalama 2 adımı olarak adlandırılır. Bu dört adıma bir SILAR döngüsü adı verilir. Bu döngünün tekrarlanması sonucunda istenilen kalınlıkta $K_m A_n$ ince filmi elde edilmiş olur. Dikkat edilmesi gereken önemli husus, her bir farklı malzeme için batırma süreleri farklıdır.

Yukarıda bahsedildiği gibi her bir SILAR döngüsünde film kalınlığındaki maksimum artış teorik olarak bir tek tabakadır. Ölçülen toplam film kalınlığı SILAR döngü sayısına bölünürse, döngü başına büyüme oranı belirlenir (Nicolau and Menard 1988). Bu, verilen şartlar altında büyüme oranı için sayısal bir değer verir. Eğer ölçülen büyüme oranı, malzemenin örgü sabitini asarsa çözeltide homojen bir çökeltme vuku bulur. Pratikte, yine de kalınlık artışı tipik olarak bir tabakadan daha azdır.

SILAR bir çok yönden chemical bath deposition (CBD) tekniğine benzemektedir. Her iki teknikte de sulu çözeltiler ve nispeten karmaşık olmayan parçalar kullanılır. Her iki teknikte de temel, yüzey ile iyonlar arasında kimyasal kuvvetlerin kullanılmasıdır. Bir ince film büyütme için, dış bir enerjiye gerek yoktur. CBD' de reaksiyon sıcaklığını, büyüme oranını artırmak için bazen artırılır. Ayrıca bütün başlangıç çözeltileri bir reaksiyon kabında aynı anda bulunur ve reaksiyon oranı güçlü komplekslerden iyonların

yavaşça serbest kalması ile kontrol edilir. İnce filmler, taban malzeme yüzeyinde, iyonların reaksiyonu ve katılanması ile elde edilirken, atomik seviyede film kalınlığının kontrolü chemical bath deposition (CBD) ve electrodeposition teknikleri ile çok zor iken SILAR tekniği ile daha kolay sağlanmaktadır. Böylece elde edilen filmler, yüzey düzgünlüğü, multilayer yapılar ve kalınlık gibi özellikleri bakımından daha yüksek kaliteye sahip olabilmektedirler.

Bunun yanında, SILAR tekniğinin çalışma prensibi, atomic layer deposition (ALD) veya atomic layer chemical vapor deposition (ALCVD) diye adlandırılan gaz fazındaki tekniklere de benzemektedir. Her iki teknikte de büyütme ortamında suya daldırma veya arıtma ile ayırıştırma ve sırasıyla başlangıç çözeltilerine batırma sonucu reaksiyon işlemleri mevcuttur (Kanniainen 2001).

SILAR tekniği, II-VI grubu yarıiletken malzemelerin büyütülmesinde sıkça kullanılmaktadır: CdSe (Lokhande *et al.* 2002), ZnSe (Kale *et al.* 2004), ZnS (Nicolau 1985-87; Kanniainen *et al.* 1995; Lindroos *et al.* 1997; Valkonen *et al.* 1997), CdS (Nicolau 1985; Sankapal *et al.* 2000), $Zn_{1-x}Cd_xS$ (Laukaitis *et al.* 2000), onların kombinasyonları gibi: $Zn_{1-x}Cd_xS:In$ ve $ZnS:Mn$ (Lindroos *et al.* 1995). Bunlardan başka kurşun ve bakır sülfürler, PbS ve CuS (Lindroos *et al.* 2000) SILAR tekniği ile büyütülmüştür. Çeşitli oksit filmlerin büyütülmesinde de kullanılmıştır. Taban malzeme olarak soda lime glass (Nicolau 1985-87); (111)Si, (111)Ge, (100) GaAs, (111)InP, (111)CaF₂, (0112)Al₂O₃, (0110)LiNbO₃ tek kristalleri; Mo, Ti ve Ta polikristal levhaları; ITO (indium tin oxide) kaplı (150 nm) camları, kuartz, amorf Corning (7059) camı; polikarbonat ve polyeşter polimer yüzeyler (Lindroos *et al.* 1997) kullanılmaktadır.

Son yıllarda, birkaç yeni malzeme SILAR tekniği ile büyütülebilen malzemeler listesine girmiştir. SILAR tekniği Ag₂S, Sb₂S₃, Bi₂Se₃, SnS₂, InSe gibi malzemelerin büyütülmesinde kullanılmaktadır.

SILAR tekniği ile ince film çalışmak daha çekici, ucuz, basit ve az zaman harcanması ile diğer tekniklerle mukayese edilmektedir. Bu tekniğin en önemli avantajı büyüme boyunca bazı parametreleri örneğin zaman, kalınlık, batırma sayısı, zlti konsantrasyonu, sıcaklık ve zlti pH'si kolay kontrol edilebilir. Büyüme olayını başlangıç zltilerinin özellikleri, onların pH değerleri, konsantrasyonları, karsit iyonlar, daldırma ve çalkalama zamanları ve çalkalama su türü gibi değisik faktörler etkilemektedir.

3.4. zltilerin Hazırlanması

CdSe, Cd_xZn_{1-x}Se ve ZnSe yarıiletken filmlerinin SILAR metodu ile elde edilebilmesi için Cd, Zn ve Se elementlerini içeren bileşiklerin ayrı ayrı zltileri hazırlanmıştır. Cd kaynağı olarak CdCl₂, Zn kaynağı olarak ZnCl₂ ve Se kaynağı olarak ise Na₂SeSO₃ kullanılmıştır.

3.4.a. CdCl₂ zltisinin hazırlanması

Cd kaynağı olarak kullanılan saf CdCl₂ tuzu suda kolay znebilen ve formül ağırlığı 183,316 g/mol olan bileşiktir. zlti 0,1M konsantrasyonunda ve 100 ml deiyonize su içerisinde 1,83316 g CdCl₂ üzülecek şekilde hazırlanmıştır. zltinin pH değerı ~5.5'tir.

3.4.b. ZnCl₂ zltisinin hazırlanması

Zn kaynağı olarak kullanılan saf ZnCl₂ tuzu suda kolay znebilen ve formül ağırlığı 136,276g/mol olan bileşiktir. zlti 0,1M konsantrasyonunda ve 100 ml deiyonize su içerisinde 1,3627g ZnCl₂ üzülecek şekilde hazırlanmıştır. zltinin pH değerı ~5.5'tir.

3.4.c. Na₂SeSO₃ çözeltisinin hazırlanması

100 g Na₂SO₃ ile 5 g Se parçaları 500 ml deiyonize suda 8 saat süresince karıştırılarak 0,13 M konsantrasyonunda Na₂SeSO₃ çözeltisi elde edilmiştir. Çözeltinin pH değeri ~10,5'tir.

3.5. Altliklerin Hazırlanması

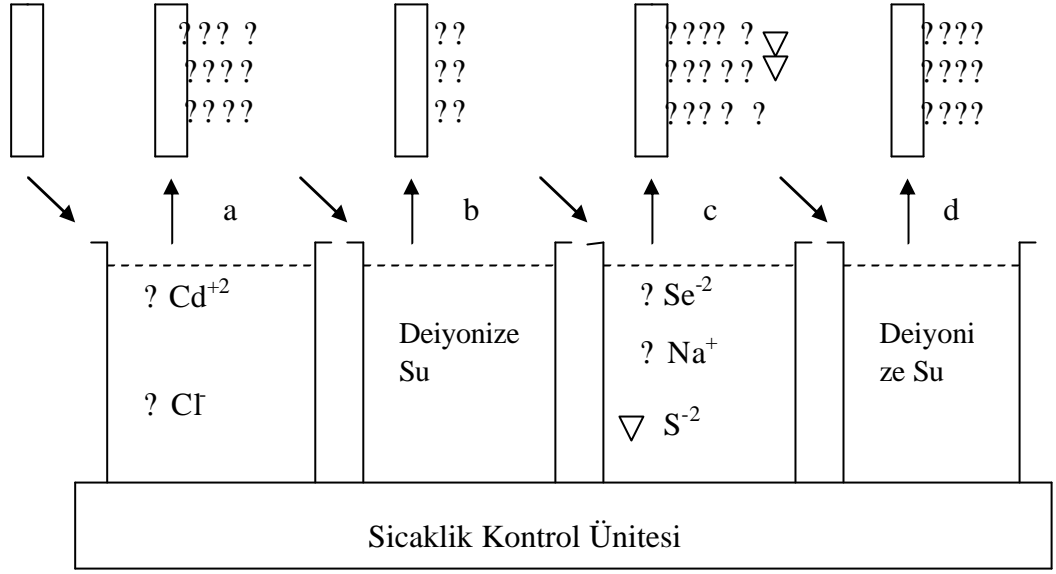
Taban malzemesi (substrate) olarak, kalınlığı 1mm ve kenarları yaklaşık olarak 1cm x1cm olan mikroskop camlar (lam) kullanıldı. Taban malzemeler, öncelikle yağlardan arındırılmak için sabunlu suda iyice yıkandıktan sonra aseton içinde 10 dakika ultrasonik olarak temizlendi. Daha sonra bire bir (1:1) etanol su karışımı içinde 10 dakika ultrasonik olarak temizlendi. Temizlenen camların bir yüzeyine bant yapıştırılarak oluşacak filmlerin bant yüzeyinde oluşması sağlandı.

3.6. CdSe İnce Filmlerin Üretimi

CdSe ince filmlerin üretiminde Cd iyonları için pH değeri 5,5 olan 0,1 M CdCl₂ ve Se iyonları için pH değeri 10,5 olan 0,13 M Na₂SeSO₃ çözeltisi kullanıldı. Film büyütme işlemi 45 °C'de yapıldı.

Çizelge 3.1. CdSe ince filmlerinin büyütülmesi için kullanılan parametreler

| Parametreler | Başlangıç çözeltileri | |
|--------------------------|--------------------------------------|--|
| | Kadmiyum klorür (CdCl ₂) | Sodyum selenosülfat (Na ₂ SeSO ₃) |
| Konsantrasyon (M) | 0,1 | 0,13 |
| pH | ~ 5,5 | ~10,5 |
| Daldırma süresi (saniye) | 25 | 25 |
| SILAR döngü sayısı | 30 | 30 |



Sekil 3.2. CdSe ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesinin sematik gösterimi

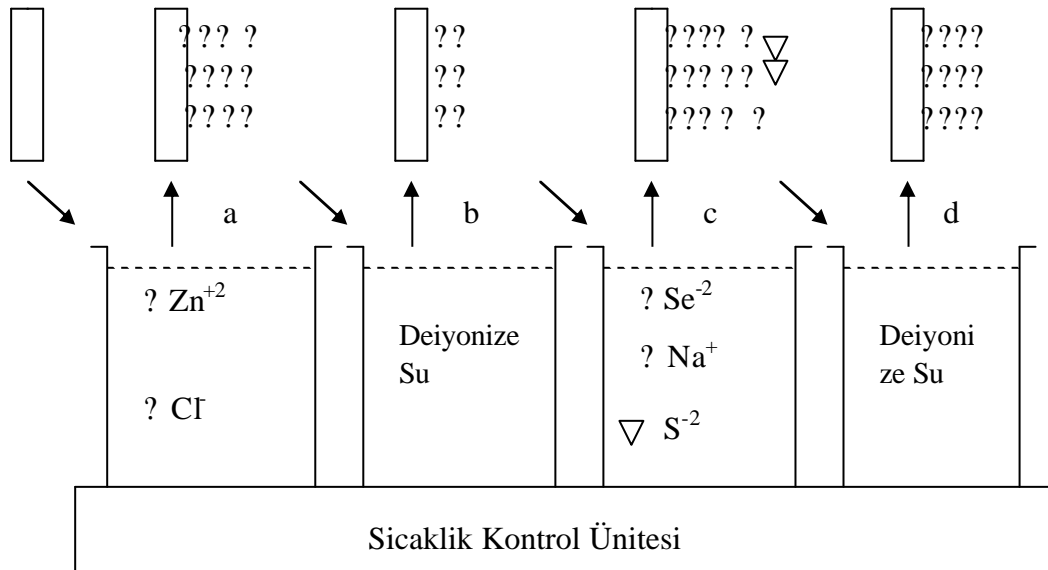
CdSe ince filminin SILAR tekniği ile oluşma mekanizması Sekil 3.2'de gösterilmektedir. Taban malzeme, Sekil 3.2a'daki $CdCl_2$ çözeltisine batırılıp 25 saniye tutulur, kadmiyum (Cd^{2+}) ve az miktarda klorür (Cl^-) iyonları yüzeyde toplanmaya başlar (a). Taban malzeme Sekil 3.2b'deki deiyonize su içerisinde 50 saniye tutularak zayıf bağlı Cd^{2+} ve Cl^- iyonlarının yüzeyden ayrılması sağlanır (b). Sonra taban malzeme, sodyum seleno sülfat (Na_2SeSO_3) içerisinde batırılıp 25 saniye tutulur. Böylece selenyum iyonları (Se^{2-}), yapışmış Cd^{2+} iyonları ile reaksiyona girer (c). Reaksiyona girmeyen zayıf bağlı sodyum (Na^+), sülfür (S^{2-}) ve selenyum (Se^{2-}) iyonlarının Sekil 3.2d'de deiyonize su içerisinde taban malzeme 50 saniye tutularak yüzeyden ayrılmaları sağlanır (d). Böylece bir SILAR döngüsü tamamlanmış olur. Bu şekildeki SILAR döngülerinden sonra taban malzeme üzerinde CdSe ince filmi büyütülmüş olur. Bu SILAR döngüsünü 20, 25, 30, 35 kez ayrı ayrı tekrarlayarak farklı kalınlıkta CdSe ince filmler elde edildi.

3.7. ZnSe Ince Filmlerin Üretimi

ZnSe ince filmlerin üretiminde Zn iyonları için pH değeri 5,5 olan 0,1 M $ZnCl_2$ ve Se iyonları içinde pH değeri 10,5 olan 0,13 M Na_2SeSO_3 çözeltisi kullanıldı. Film büyütme işlemi $35^{\circ}C$ 'de yapıldı.

Çizelge 3.2. ZnSe ince filmlerinin büyütülmesi için kullanılan parametreler

| Parametreler | Başlangıç çözeltileri | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| | Çinko klorür($ZnCl_2$) | Sodyum selenosülfat(Na_2SeSO_3) |
| Konsantrasyon (M) | 0,1 | 0,13 |
| pH | ~ 5,5 | ~10,5 |
| Daldırma süresi (saniye) | 25 | 25 |
| SILAR döngü sayısı | 30 | 30 |



Sekil 3.3. ZnSe ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesinin sematik gösterimi

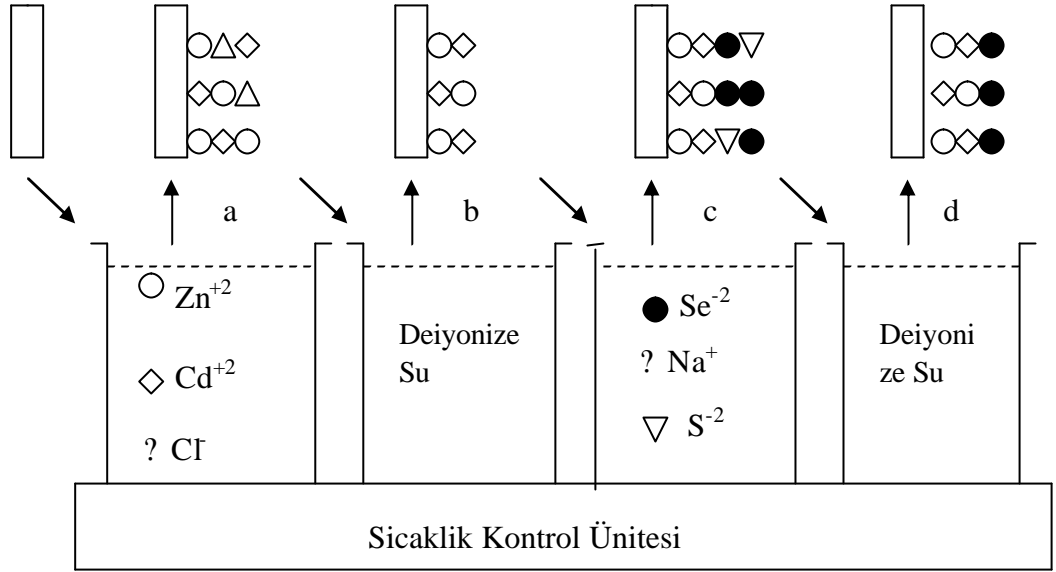
ZnSe ince filminin SILAR tekniği ile oluşma mekanizması Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Taban malzeme, Şekil 3.3a'daki $ZnCl_2$ çözeltisine batırılıp 25 saniye tutulur, çinko (Zn^{2+}) ve az miktarda klorür (Cl) iyonları yüzeyde toplanmaya başlar (a). Taban malzeme Şekil 3.3b'deki deiyonize su içerisinde 50 saniye tutularak zayıf bağlı Zn^{2+} ve Cl iyonlarının yüzeyden ayrılması sağlanır (b). Sonra taban malzeme, sodyum seleno sülfat (Na_2SeSO_3) içerisine batırılıp 25 saniye tutulur. Böylece selenyum iyonları (Se^{2-}), yapışmış Zn^{2+} iyonları ile reaksiyona girer (c). Reaksiyona girmeyen zayıf bağlı sodyum (Na^+), sülfür (S^{2-}) ve selenyum (Se^{2-}) iyonlarının Şekil 3.3d'de deiyonize su içerisinde taban malzeme 50 saniye tutularak yüzeyden ayrılmaları sağlanır (d). Böylece bir SILAR döngüsü tamamlanmış olur. Bu şekildeki 30 SILAR döngüsünden sonra taban malzeme üzerinde ZnSe ince filmi büyütülmüş olur.

3.8. $Cd_xZn_{1-x}Se$ Ince Filmlerin Üretimi

$Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerin üretiminde Cd ve Zn iyonları için pH değeri 5,5 olan 0,1 M $CdCl_2$ ve $ZnCl_2$ çözeltileri 100 ml deiyonize su içerisinde istenilen x oranında karıştırılarak hazırlandı. Se iyonları içinde pH değeri 10,5 olan 0,13 M Na_2SeSO_3 çözeltisi kullanıldı. Film büyütme işlemi $35^{\circ}C$ 'de yapıldı.

Çizelge 3.3. $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin büyütülmesi için kullanılan parametreler

| Parametreler | Başlangıç çözeltileri | |
|--------------------------|---|-------------------------------------|
| | Kadmiyum klorür+Çinko klorür($CdCl_2+ZnCl_2$) | Sodyum selenosülfat(Na_2SeSO_3) |
| Konsantrasyon (M) | 0,1 | 0,13 |
| pH | ~ 5,5 | ~10,5 |
| Daldırma süresi (saniye) | 25 | 25 |
| SILAR döngü sayısı | 30 | 30 |



Sekil 3.4. $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesinin sematik gösterimi

$Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filminin SILAR tekniği ile oluşma mekanizması Sekil 3.4'de gösterilmektedir. Taban malzeme, Sekil 3.4a'daki $ZnCl_2$ ve $CdCl_2$ karışımı çözeltisine batırılıp 25 saniye tutulur, kadmiyum(Cd^{2+}), çinko (Zn^{2+}) ve az miktarda klorür (Cl^-) iyonları yüzeyde toplanmaya başlar (a). Taban malzeme Sekil 3.4b'deki deiyonize su içerisinde 50 saniye tutularak zayıf bağlı Cd^{2+} , Zn^{2+} ve Cl^- iyonlarının yüzeyden ayrılması sağlanır (b). Sonra taban malzeme, sodyum seleno sülfat (Na_2SeSO_3) içerisine batırılıp 25 saniye tutulur. Böylece selenyum iyonları (Se^{2-}), yapışmış Cd^{2+} ve Zn^{2+} iyonları ile reaksiyona girer (c). Reaksiyona girmeyen zayıf bağlı sodyum (Na^+), sülfür (S^{2-}) ve selenyum (Se^{2-}) iyonlarının Sekil 3.4d'de deiyonize su içerisinde taban malzeme 50 saniye tutularak yüzeyden ayrılmaları sağlanır (d). Böylece bir SILAR döngüsü tamamlanmış olur. Bu şekildeki 30 SILAR döngüsünden sonra taban malzeme üzerinde $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmi büyütülmüş olur.

3.9. Film Kalinliklarinin Ölçümü

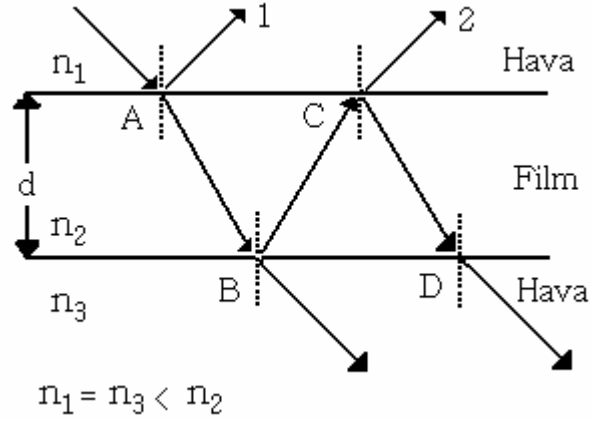
Üretilen CdSe, $Cd_xZn_{1-x}Se$ ve ZnSe ince filmlerinin kalinliklari, hava kamasi yöntemiyle belirlendi. Bu yöntemle kalinlik tayininin temelini girisim olayi olusturmaktadır. Örneğin yağmurlu havadan sonra, yollara birikmis sular üzerinde bazen renklenmeler görürüz. Bunun sebebi, yollara dökülen yağların su birikintisi üzerinde çok ince bir film olusturarak, günesten gelen isinlari yansitmasidir. Bütün bu renklenmelerin sebebi güneş isinlerinin, olusan bu çok ince filmlerin üst ve alt yüzeylerinden yansiyarak girisim olusturmasidir. Eger ince yağ tabakalarini tek renkli bir isikla aydinlatirsak, renklenmeler yerine ardisik aydinlik ve karanlik bölgeler gözleriz. Kullanilan monokromatik isigin rengi degistikçe, aydinlik ve karanlik bölgelerin yerleri de degisir.

Sekil 3.5’de görüldüğü gibi, kalinligi d , kırılma indisi n olan bir film $\{n_{film} \text{ ? } n_{hava}\}$ ele alalım ve hava ortamında ilerleyen isik isinlerinin film yüzeyine dik olarak geldiklerini varsayalım.

? Kırılma indisi n_1 olan bir ortamdan, kırılma indisi n_2 olan bir ortama doğru ilerleyen bir dalga, $n_2 \text{ ? } n_1$ olduğunda yansima sonucu 180° lik faz degisimine ugrar, $n_2 \text{ ? } n_1$ olduğunda ise faz degisikligine ugramaz.

? Kırılma indisi n olan bir ortamdaki isigin dalgaboyu (λ_n), $\lambda_n \text{ ? } \lambda / n$ ile verilir, buradaki λ , isigin serbest uzaydaki dalgaboyudur.

A noktasına varan isinların bir kısmi yansiyarak geldikleri ortama geri dönerken, bir kısmi da kırılarak alt yüzeyde bulunan B noktasına varacaktır. Bu noktaya gelen isinların bir kısmi kırılarak hava ortamına geçerken, bir kısmi yansiyarak filmin üst yüzeyinde bulunan C noktasına varacaktır. Benzer şekilde, C’ye gelen isinların bir kısmi kırılarak hava ortamına çıkarken, bir kısmi da yansiyarak tekrar filmin alt yüzeyindeki D noktasına varacak ve bu işlem devam edip gidecektir.



Sekil 3.5. Hava ortamında bulunan ince bir filmde girişim olayı

Sadece ortam değişikliğinden dolayı, yansıyan iki ışın arasında yarım dalga boyluk bir faz farkı vardır. Işıklar, film yüzeyine dike yakın olarak geldiklerinden birinci yansıyan ışın ile ikinci yansıyan ışın arasında $2d$ kadar da yol farkı vardır. Eğer optik yol farkı, $2nd + \lambda/2$ değeri dalga boyunun tam katlarına eşit olursa, filmin üst kısmından yansıyan ışınlar aydınlık bir bölge (yapıcı girişim) oluştururlar.

$$2nd + \lambda/2 = k\lambda$$

$$2nd = k\lambda - \lambda/2$$

$$2nd = \lambda \left(k - \frac{1}{2} \right)$$

$$d = \lambda \left(k - \frac{1}{2} \right) \frac{1}{4n} \quad (3.1)$$

(3.1) formülünde yer alan k ; 1,2,3,..... Değerlerini alıp ilk karanlık bölgeden sonra oluşan kaçınıcı aydınlık saçak olduğunu gösterir.

Sayet $2nd + \lambda/2$ değeri, dalga boyunun yarım katlarına eşit olursa üstten yansıyan ışınlar birbirini söndürüp karanlık bölgeler (yıkıcı girişim) oluştururlar.

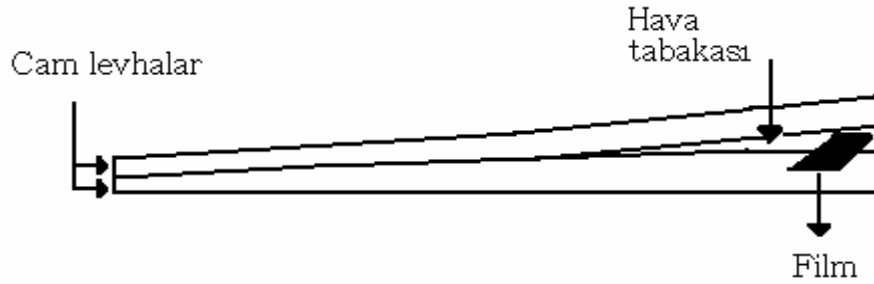
$$2nd = \frac{\lambda}{2} \left(k + \frac{1}{2} \right)$$

$$2nd = k \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$$

$$d = k \frac{\lambda}{4n} \quad (3.2)$$

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$ degerlerini alip sifira karsilik gelen ilk saçak karanliktir.

Yapici ve yıkici girişime ait bahsedilen kosullar, filmin üst yüzeyi üzerindeki ortam ile alt yüzeyi altındaki ortam aynı olduğunda geçerlidir. Film iki farklı ortam arasına yerleştirildiğinde yapıcı ve yıkıcı girişim kosulları yer değiştirir.

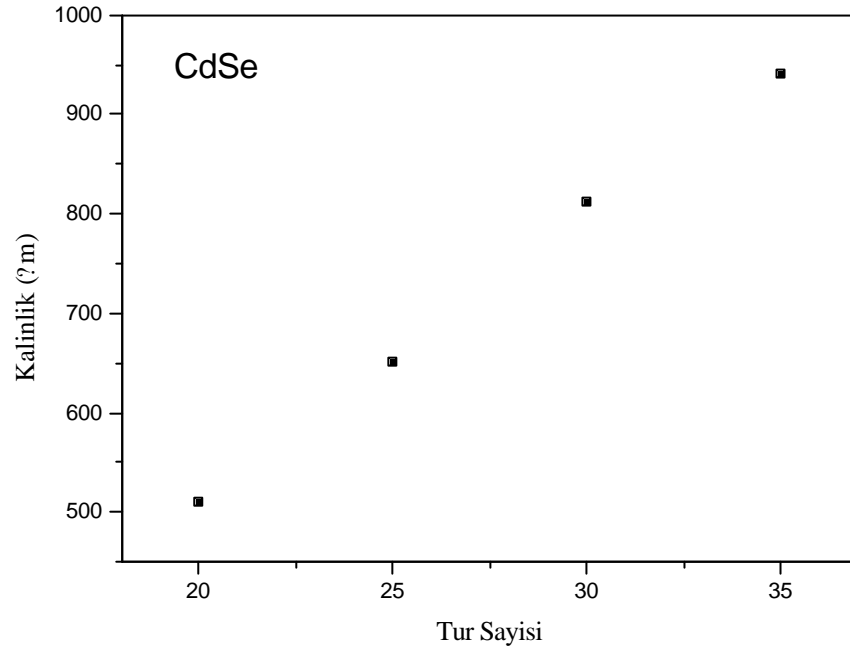


Sekil 3.6. Hava kamasi

Sekil 3.6'da görüldüğü gibi, birer uçları üst üste olan iki cam levhanın diğer uçları arasına bir ince film koyarak, tek renkli bir ışıkla aydınlatılması durumunda, cam üzerinde ard arda aydınlık ve karanlık saçaklardan oluşmuş bir girişim deseni gözlenir. Karanlık bölge yıkıcı girişime karşılık gelmek üzere, hava kamasi kalınlığının sıfır ($d=0$) olduğu noktada görülür. Diğer karanlık saçaklar (3.2) denkleminin sağladığı $\lambda/2n, \lambda/n, 3\lambda/2n, \dots$ konumlarında, aydınlık saçaklar ise (3.1) denkleminin sağladığı $\lambda/4n, 3\lambda/4n, 5\lambda/4n, \dots$ konumlarında görülür.

Çizelge 3.4. CdSe ince filmlerinin kalinlık degerleri

| SILAR Turu | Kalinlik (nm) |
|------------|---------------|
| 20 | 510 |
| 25 | 650 |
| 30 | 812 |
| 35 | 940 |

**Sekil 3.7.** CdSe filminde kalinligin tur sayisi ile degisimi

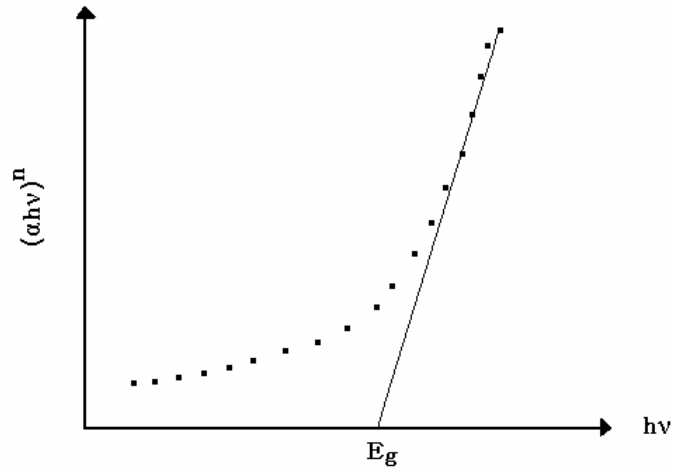
3.10. Sogurma Yöntemi ile Yariiletkenlerin Yasak Enerji Araliginin Belirlenmesi

Yariiletkenlerin yasak enerji araliginin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem absorpsiyon yöntemidir. Bu yöntemle bant araligi belirlemede sogurma katsayisi ile yasak enerji araligi arasindaki

$$\alpha = \frac{h\nu - E_g}{h\nu} \quad (3.3)$$

(3.3)

bagintisinden yararlanilir. Bu denklemde h Planck sabiti, a soğurma katsayısı ve ν frekansıdır. Absorpsiyon yönteminde $(\alpha h\nu)^n$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı grafiği çizilir (Şekil 3.8). Bu değişimin lineer kısmı için çizilen doğrunun $h\nu$ eksenini kestiği noktadaki $(\alpha h\nu)^n = 0$ enerji değeri incelenen malzemenin yasak enerji aralığı değerini verir. Denklem (3.3) de, $n=2$ ise malzeme direkt bant aralığına, $n=1/2$ ise indirekt bant aralığına sahip olacaktır.



Şekil 3.8. $(\alpha h\nu)^n$ 'nin $h\nu$ 'ye göre değişimi

3.11. Elektron Mikroskobu

Katıların atomik yapısını incelemek için X-ışınlarını kullanmak tek yol değildir. Elektronlar ve nötronlar bir kristaldeki atomlar arası mesafeyle kıyaslanabilecek veya daha kısa dalga boyuna sahip dalga tabiatı gösterirler. Nötronların saçılması X-ışınları ile elde edilen desenlere benzer saçılma desenleri üretirler. Fakat nötronlar magnetik momente sahip olduklarından, magnetik malzemelerle çalışırken ilave bilgiler sağlarlar. Bunun tersi elektronlar daha farklı yollarla kullanılırlar. Elektronun yükü olması nedeniyle bir elektrik ve magnetik alan vasıtasıyla odaklanması mümkündür. Dolayısıyla elektronlar kullanılarak optik mikroskoba benzer sistemler yapılabilir ve

bunlar kristalin atomik yapisini dogrudan görmemizi saglar. Kuantum teorisine göre kütlesi m olan parçacigin dalga boyu,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} \quad (3.5)$$

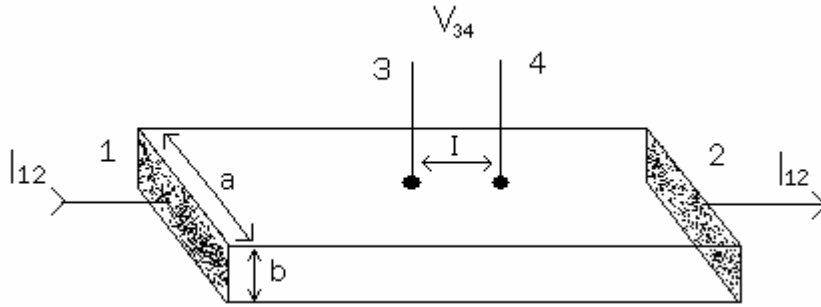
olarak verilir. Burada E parçacigin kinetik enerjisi ve h Planck sabitidir. Bu formüle göre, birkaç elektron volt büyüklüğünde enerjiye sahip elektronlar kullanılarak kristal yapı içindeki atomlar incelenebilir. Fakat bu enerjiye sahip elektron suasi kristal üzerine gönderilirse, elektronların kristal tarafından sogurulmasından dolayı atomların dizilileri hakkında hiçbir bilgi elde edilemeyecektir. Bunu önleyebilmek için birkaç yüz keV gibi çok yüksek enerji degerine sahip elektronlar kullanılmalıdır ve elektronların büyük bir kısmının kristalden geçebilmesi için kristal birkaç yüz nanometre kalınlığında olmalıdır. 100keV enerjiye sahip elektronun dalga boyu 0,004 nm olduğuna göre böyle bir sistemle tek bir atomu görme imkânı mevcuttur. Ancak Heisenberg belirsizlik ilkesi gibi sebeplerden dolayı elektron mikroskobunun çözünürlüğü 0,5nm ile sınırlıdır. Fakat bu bile tek bir atomu görmek için yeterlidir. Sunu da belirtmek gerekir ki elektron mikroskobundan daha hassas mikroskoplar da geliştirilmiştir. Malzemenin yüzeyini tarayarak, çok ince ucuyla tek bir atomu görebilecek taramalı prob mikroskobu bunlardan biridir. Böyle bir sistem ilk defa 1981'de IBM Zürih laboratuvarlarında taramalı tünel mikroskobu adıyla geliştirilmiştir. Taramalı prob mikroskobunun temel prensibi, probun yüzeyden sabit bir mesafede tutulmasına (tipik olarak 1nm) dayanmaktadır. Böylece yüzeyin halkalar şeklinde haritası çıkarılmakta ve böylece tek bir atom tanımlanabilmektedir.

3.12. Yarıiletkenlerin Özdirencinin Prob Yöntemiyle Ölçülmesi

Yarıiletken malzemelerin özdirenc ölçümleri için en çok iki problu, dört problu ve Wan der Pauw yöntemleri kullanılmaktadır. Örnekten akım geçerken belli bir bölgedeki elektriksel potansiyel farkı ölçümleri bu yöntemin temelidir.

İki problu yöntem ölçümleri için örneklerin şekli tam belirli olmalıdır. Dört problu ve Wan der Pauw yöntemlerinde kullanılan örneklerin şekli serbest olabilir.

İki problu yöntemde kullanılan örnekler düzgün dikdörtgen geometrik şeklinde ve sabit kesit alana sahip olmalıdırlar. Örneğin iki karşı kenar yüzeylerinde akım için kullanılan omik kontaklar bulunmalıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. İki problu yöntemle öz direnç ölçme devresi.

Gerilim ölçümleri ($V_{3,4}$) için, akım çizgileri üzerine 3 ve 4 küçük alanlı, birbirinden l uzaklıkta omik kontaklar yapılmaktadır.

Homojen bir örnekte öz direncin değeri şu şekilde verilir.

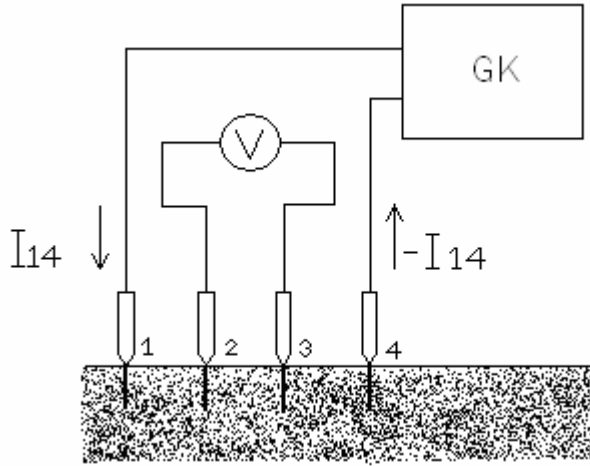
$$\rho = \frac{S V_{34}}{l I_{12}} \quad (3.6)$$

Burada I_{12} 1 ve 2 numaralı kontaklardan geçen sabit akım, V_{34} 3 ve 4 kontakları arasında oluşan gerilim, $S=ab$ akımın yönüne dik olan örneğin kesit alanı l ise, 3 ve 4 gerilim problemleri arasındaki uzaklıktır.

Akımın birimi amper, gerilimin birimi volt, örnek boyutlarının birimi santimetre olduğu zaman (3.6) formülüyle hesaplanan öz direncin birimi ohm x cm olur. Öz direnç

ölçümlerinde kontakların direncinin etkisini ortadan kaldırmak için yüksek iç dirençli voltmetreler kullanılmaktadır.

Dört problu yöntem yarıiletkenlerin öz direnç ölçümlerinde en çok kullanılan yöntemdir. Örnek şeklinin düzgünlüğüne ve kontakların tam omikliğine bu yöntemde gerek duyulmamaktadır. Dört problu yöntemi kullanmak için örneğin en az bir yüzeyi düzlemsel olmalı ve bu yüzeyin geometrik boyutları, kontak sisteminin boyutlarından daha büyük olmalıdır. Bu ölçümlerde küçük alanlı dört kontak, örneğin düzlemsel yüzeyine yerleşmektedir (Sekil 3.10.).



Sekil 3.10. Dört prob yöntemiyle öz direnç ölçme devresi (GK güç kaynağıdır)

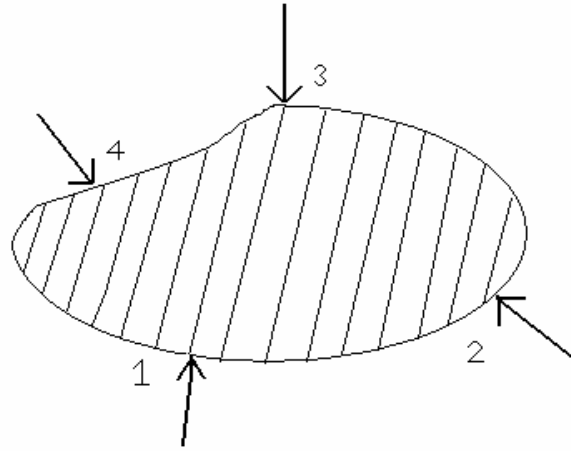
İki dış (1 ve 4) kontakta akım (I_{14}) geçirilir ve iki iç (2 ve 3) kontak arasındaki gerilim (V_{23}) ölçülür. Birbirinden eşit uzaklıkta (l) yerleşen dört kontaklı bir sistem kullanıldığında örneğin öz direnci,

$$\rho = l \frac{V_{23}}{I_{14}} \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanabilir. Akımın birimi amper, gerilimin birimi volt, örnek boyutlarının birimi santimetre olduğu zaman öz direncin birimi ohmcm olur. Dört problu yöntemle öz direnç ölçümü için kullanılan elektrik devre çok basittir (Sekil 3.10.).

Elektrik güç kaynagından akim 1 ve 4 kontaklarından geçirilmektedir. 2 ve 3 kontaktari arasindaki gerilim yüksek iç dirençli voltmetre ile ölçülmektedir. Ölçümler örneğin isinmaması için düşük akim değerlerinde gerçekleştirilmektedir.

Wan der Pauw yöntemi, serbest formlu düzlemsel plaka şeklindeki örneklerin öz direnç ölçümlerinde geniş olarak kullanılmaktadır. Bu ölçümler için örneğin kenarının dört noktasına omik kontaklar yapılır. (Sekil 3.11)



Sekil 3.11. Wan der Pauw yöntemiyle öz direnç ölçümünde kontakların yerleştirilmesi.

Önce 1 ve 4 kontaklarından akim (I_{14}) geçirilir, 2 ve 3 kontaktari arasındaki gerilim farkı (V_{23}) ölçülür ve aşağıdaki formüle göre direnç R_1 hesaplanır.

$$R_1 = \frac{V_{23}}{I_{14}} \quad (3.8)$$

Daha sonra 1 ve 2 kontaklarından akim (I_{12}) geçirilir ve 3 ve 4 kontaktari arasındaki gerilim farkı (V_{34}) ölçülür ve R_2 direnci,

$$R_2 = \frac{V_{34}}{I_{12}} \quad (3.9)$$

esitliğinden bulunur.

Wan der Pauw yönteminin teorisine göre, direncin bu iki degeri ve örneğin öz direnci arasındaki ilişki,

$$\rho = \frac{b}{n^2} \frac{R_1 + R_2}{2} f\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \quad (3.10)$$

ile verilir. Burada b örneğin kalınlığı, $f(R_1/R_2)$ düzeltme fonksiyonudur. R_1/R_2 oranının birden çok az farklı olduğu durumda, bu yöntemle örneklerin öz direnci çok yüksek bir doğrulukla ölçülebilmektedir. Kontakların alanı büyüktür ve örneğin kenar yüzeyinden düzlem yüzeyine yayıldığı durumda öz direnç ölçü hataları artmaktadır. Bu hataların sebeplerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için özel geometrik formlu örnekler kullanılmaktadır.

3.13. Yarıiletkenin İletkenlik Tipinin Tayin Edilmesi

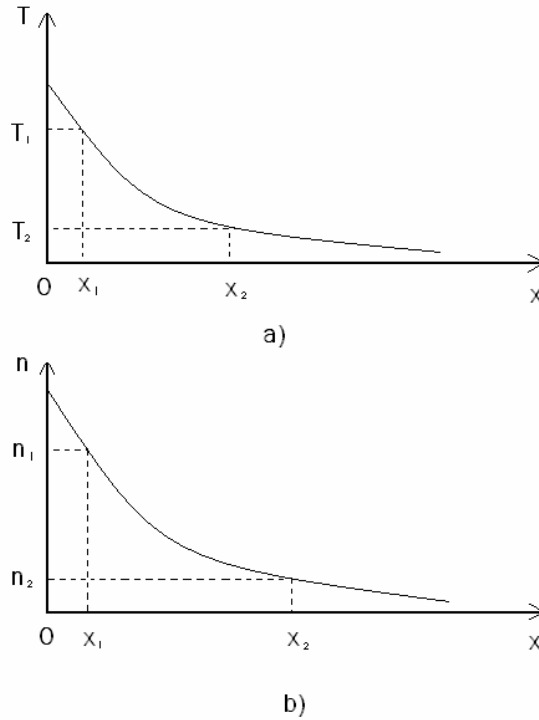
Yarıiletkenlerin iletkenlik tipini (n-tipi veya p-tipi) bulmak için, birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri Hall sabitinin (R_H) işaretine bağlıdır. Donor veya n-tipi yarıiletken için Hall sabitinin işareti negatiftir, akseptör veya p-tipi yarıiletken için Hall sabitinin işareti pozitiftir.

Termoelektrik ölçümlerden daha basit yöntemle yarıiletkenin iletkenlik tipi belirlenebilir.

Önce, yarıiletkenlerde termoelektrik olayı göz önüne alalım. Yarıiletken (örneğin n-tipi yarıiletken) homojen olamayacak şekilde ısıtıldığında $T_1(x_1) > T_2(x_2)$ (Şekil 3.12.a) elektronların konsantrasyonu daha sıcak bölgede artmakta, x-ekseninin pozitif yönünde elektronların konsantrasyon gradyenti oluşmakta ve bu nedenle elektronlar daha sıcak bölgeden daha soğuk bölgeye doğru hareketlenmektedirler (Şekil 3.12.b). n-tipi yarıiletkende elektronların daha sıcak bölgeden soğuk bölgelere difüzyonu neticesinde, daha sıcak bölgede pozitif hacimsel yük (pozitif yüklü donör iyonlarından oluşmuş) ve

daha soguk bölgede elektron konsantrasyonunun fazlaligindan olusmus negatif yük meydana gelmektedir. Böylece, sicaklik gradyenti sartinda isinan yariiletkende, x_1 ve x_2 noktaları arasında termal elektromotor kuvveti (TEMK) olusmaktadır. Eger yariiletkenin bu noktaları kapalı devre haline getirilirse, bu durumda devreden termoelektrik akımı geçecektir.

p-tipi yariiletkende, tersine, pozitif yüklü boslukların daha sicak bölgeden daha soguk bölgeye difüzyonu nedeniyle, daha sicak bölgede hacimsel negatif elektrik yükü olusmaktadır.



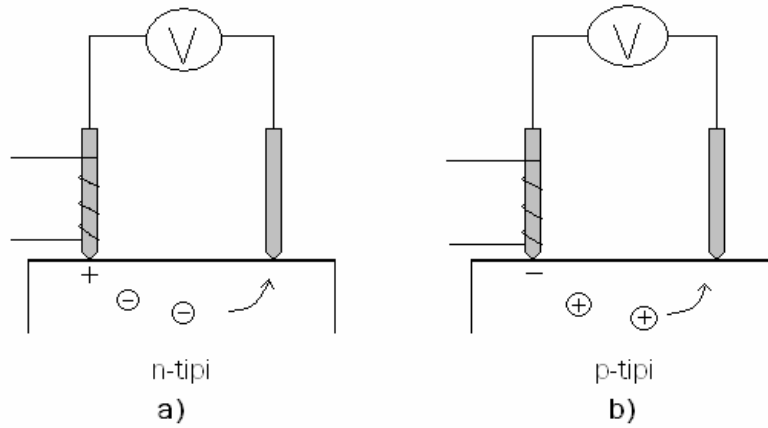
Sekil 3.12. Yariiletkenlerde (a) sicakligin ve (b) elektron konsantrasyonunun dagilimi.

Böylece, sicaklik gradyenti sartinda isinan yariiletkende, kapalı devre termoelektrik akımı olusmaktadır. n-tipi yariiletkende, elektronlardan olusmus akım ve p-tipi yariiletkende, bosluklardan olusmus akım daha sicak bölgelerden daha soguk bölgeler yönünde hareket etmektedir. n-tipi yariiletkende daha sicak bölgenin elektrik kutbu pozitif, p-tipi yariiletkende ise daha sicak bölgenin elektrik kutbu negatiftir.

Sekil 3.13 termal elektromotor kuvveti yöntemiyle yariiletkenin yük taşıyıcılarının tipini bulmak için kullanılan devreleri göstermektedir. Bu yöntemde iki prob kullanılır. Probu birisi (T_1) ısıtılmakta (yaklaşık $200-300^\circ\text{C}$ ye kadar) ikinci probun sıcaklığı (T_2) oda sıcaklığında tutulmaktadır. n-tipi yariiletkende elektronlar daha sıcak (T_1) probu civarından, oda sıcaklığında (T_2) tutulan probun yönünde hareketlenmektedirler. Neticede, daha sıcak probun civarındaki yariiletken bölgesinin elektrik kutbu pozitifdir ve bu işaret devredeki voltmetre ile kaydedilmektedir (Sekil 3.13a). p-tipi yariiletkende ise tersine, daha sıcak probun elektrik kutbu negatif olmaktadır (Sekil 3.13b).

Deneysel ölçümlerde, yariiletken örneklerin iletkenlik tipini bulmak için, öncelikle belirli tipe sahip yariiletkenin TEMK ölçümü ile devredeki voltmetrenin kalibrasyonu yapılır ve daha sonra incelenen örneğin tipi belirlenir.

TEMK yöntemiyle düşük öz dirençli katkıli yariiletkenlerin tipini belirlemek daha uygundur. Asal yariiletkenlerin iletkenlik tipi daha yüksek mobilitesi olan yük taşıyıcılarının (elektronların) mobilitesi ile belirlenmektedir.



Sekil 3.13. Termal EMK yöntemiyle (a) n-tipi ve (b) p-tipi yariiletkenin iletkenlik tipini ölçme devresi.

4. ARASTIRMA BULGULARI

4.1. Deney Sistemleri ve Ölçülerin Alinmasi

Büyütülen CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince film örnekleri üzerinde yapılan SEM(Taramali Elektron Mikroskoku), optik sogurma, elektriksel, fotoluminesans, x-isini kirinimi ölçümleri yapilmis ve elde edilen veriler bu bölümde sunulmustur.

4.2. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ Ince Filmlerin Yüzey Görüntüleri

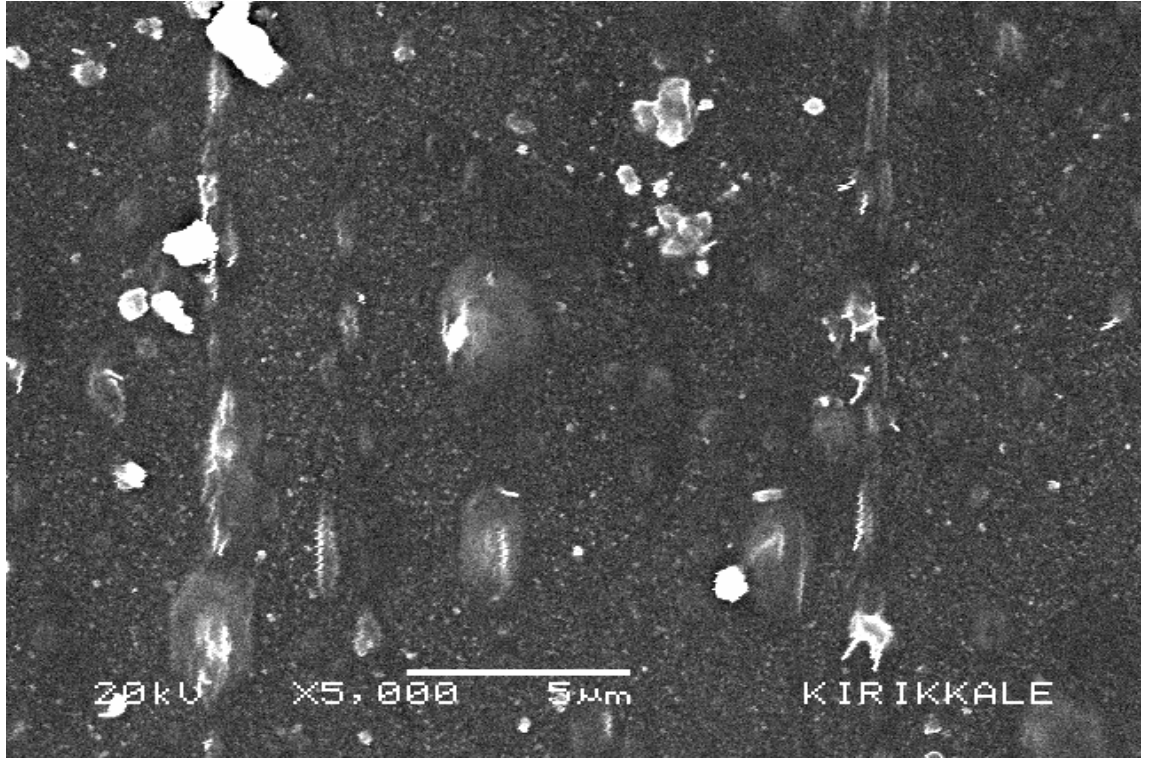
Son yıllarda, malzeme inceleme tekniklerinden en çok kullanılanlardan birisi SEM (taramali elektron mikroskobu) teknigidir. SEM tekniginde, numune kesit yerine bütünü ile incelenir. Böylece özellikle yüzeysel yapıların üç boyutta analiz edilmesi saglanmış olur.

Taramali Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hizlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot isinleri tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

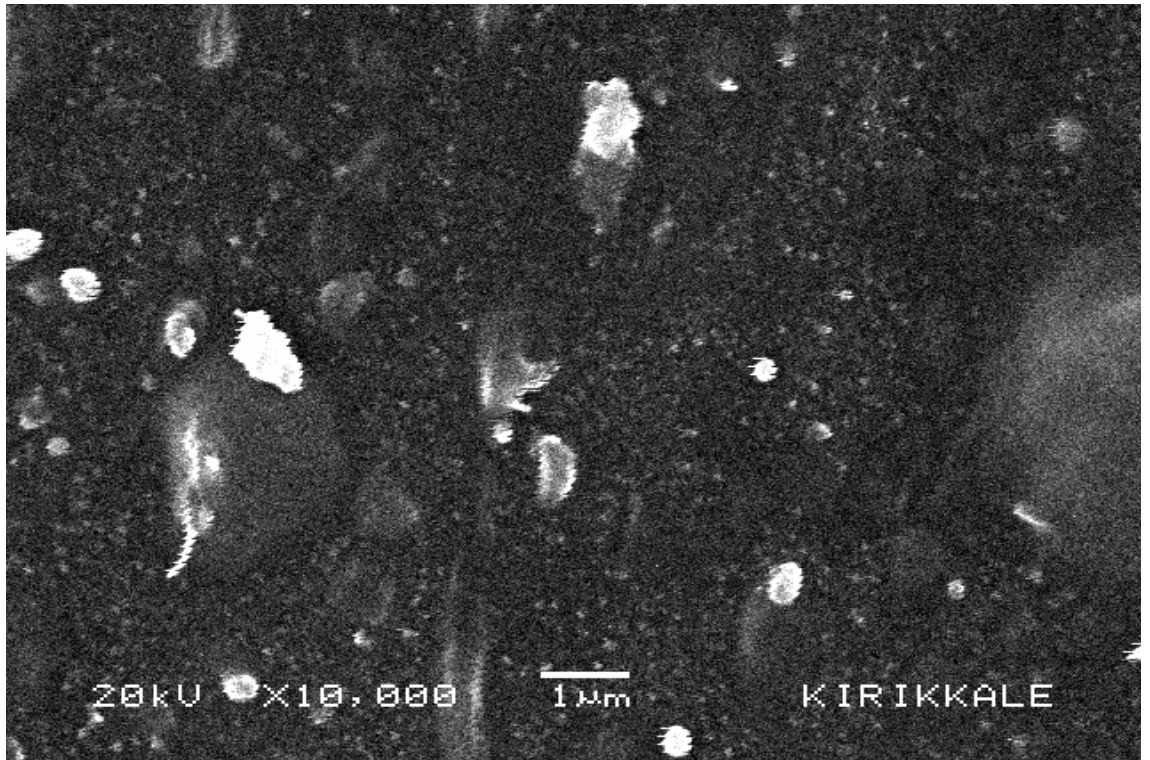
Bu olgu elektron demetinin kristal(veya kristal olmayan) madde ile etkilesiminin fizigini temel almaktadır. Çeşitli analiz yöntemleri de aynı ilkeyi temel almaktadır. Kullanılan enerjinin kaynağı, ampül isigininkinden çok daha fazla miktarda üretilen elektron demetleridir. İnce bir rezistans teli elektrik akımına bağlanmıştır. Bu rezistans madde elektrik enerjisini diğer tür enerjiye (ısı enerjisi) dönüştürmektedir. Sapan elektronlar elektromagnetler ile demetler biçiminde incelenecek materyale doğru yönlendirilirler. Elektron mikroskoplarda ayırım/çözünürlük gücü Taramali Elektron

Mikroskopta (SEM) 25 \AA , Geçirimli Elektron Mikroskopta (TEM) $1-1.9 \text{ \AA}$ iken, optik mikroskoplarda 2000 \AA düzeyindedir. Diğer taraftan SEM yöntemindeki odaklama derinliği optik mikroskoplara göre 300-600, alan derinliği ise 30 kat daha iyidir.

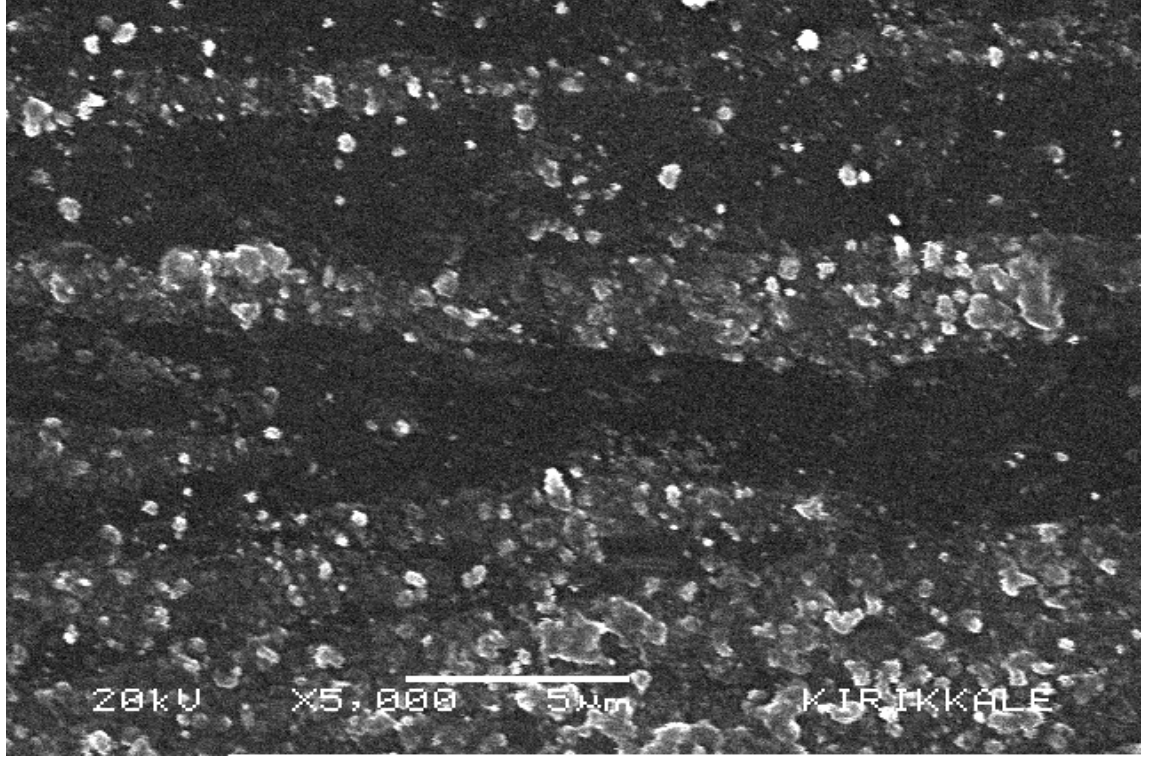
SILAR tekniği kullanılarak oda sıcaklığında büyütülen CdSe, ZnSe ve $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Se}$ ince filmlerinin yüzey görüntüleri SEM tekniği ile elde edilmiştir. Görüntüleme işlemine geçilmeden önce numune yüzeyi, elektron demeti ile numune arasındaki iletimi sağlamak için altın (Au) ve palladyum (Pd) alması ile kaplanmıştır. Şekil 4.1-10'da 20 kVolt'da, 5 000 ve 10 000 büyütme oranında elde edilen SEM görüntüleri yer almaktadır.



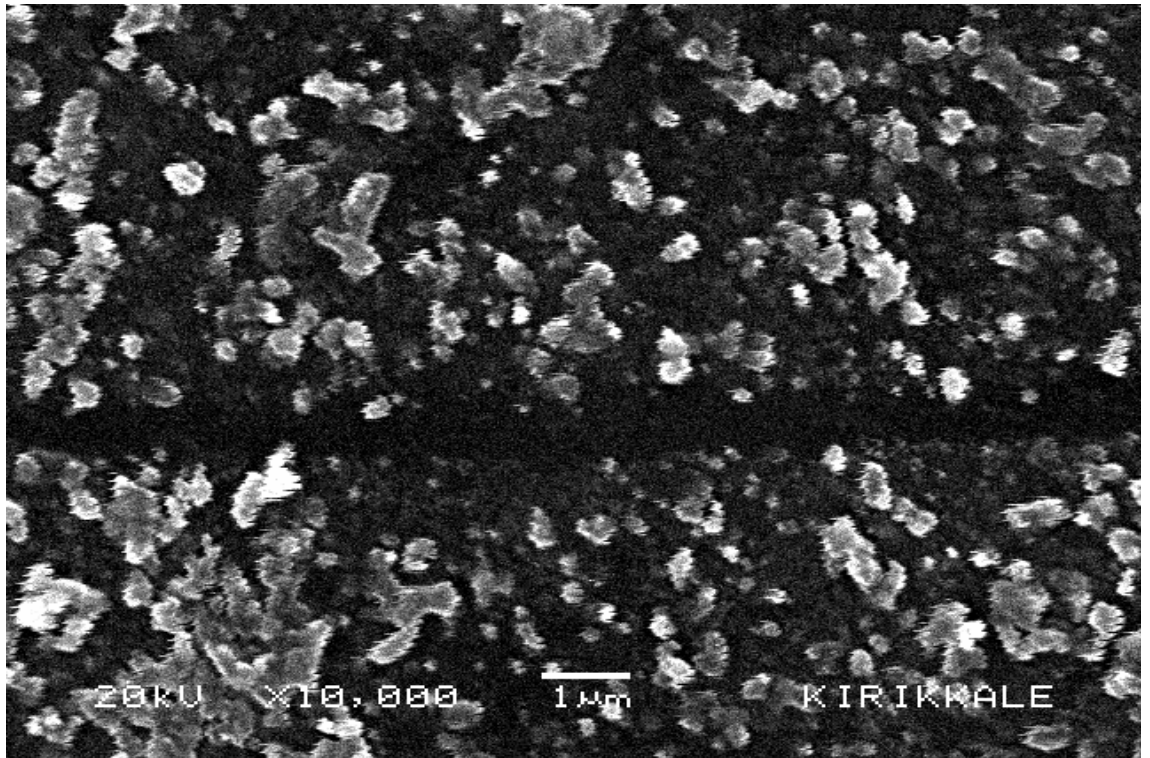
Sekil 4.1 812nm kalınlıgındaki CdSe ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



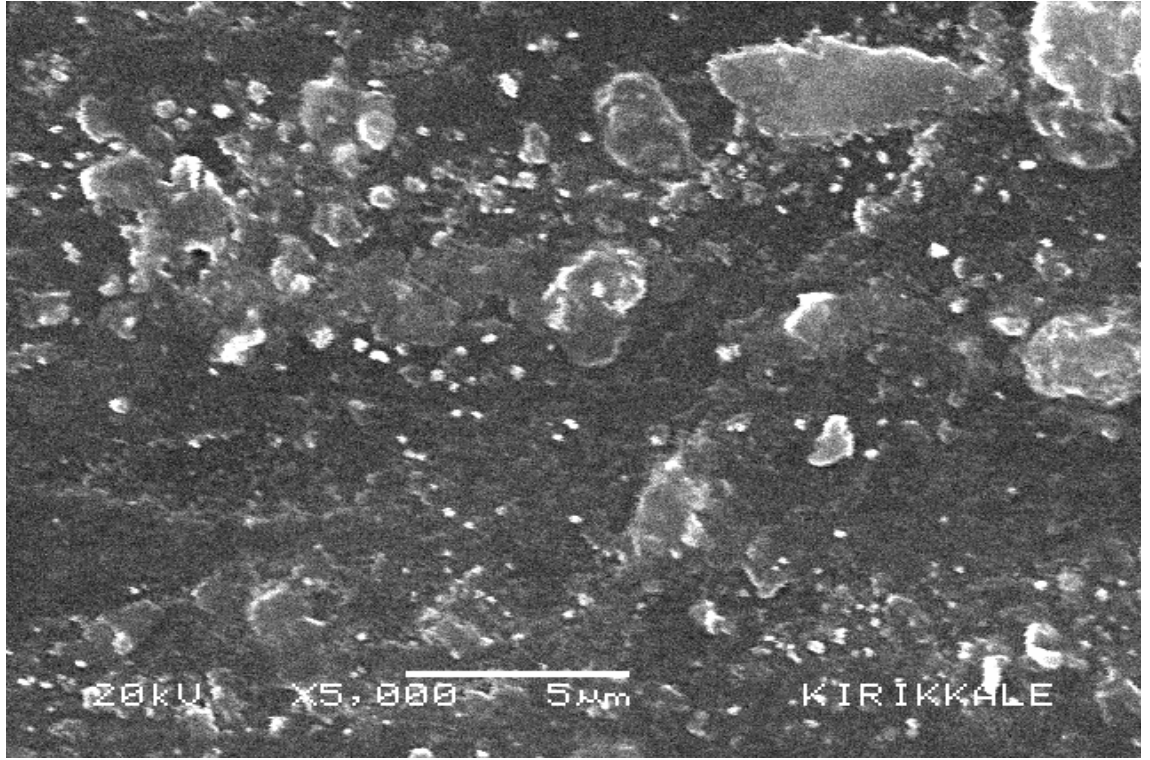
Sekil 4.2. 812nm kalınlıgındaki CdSe ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



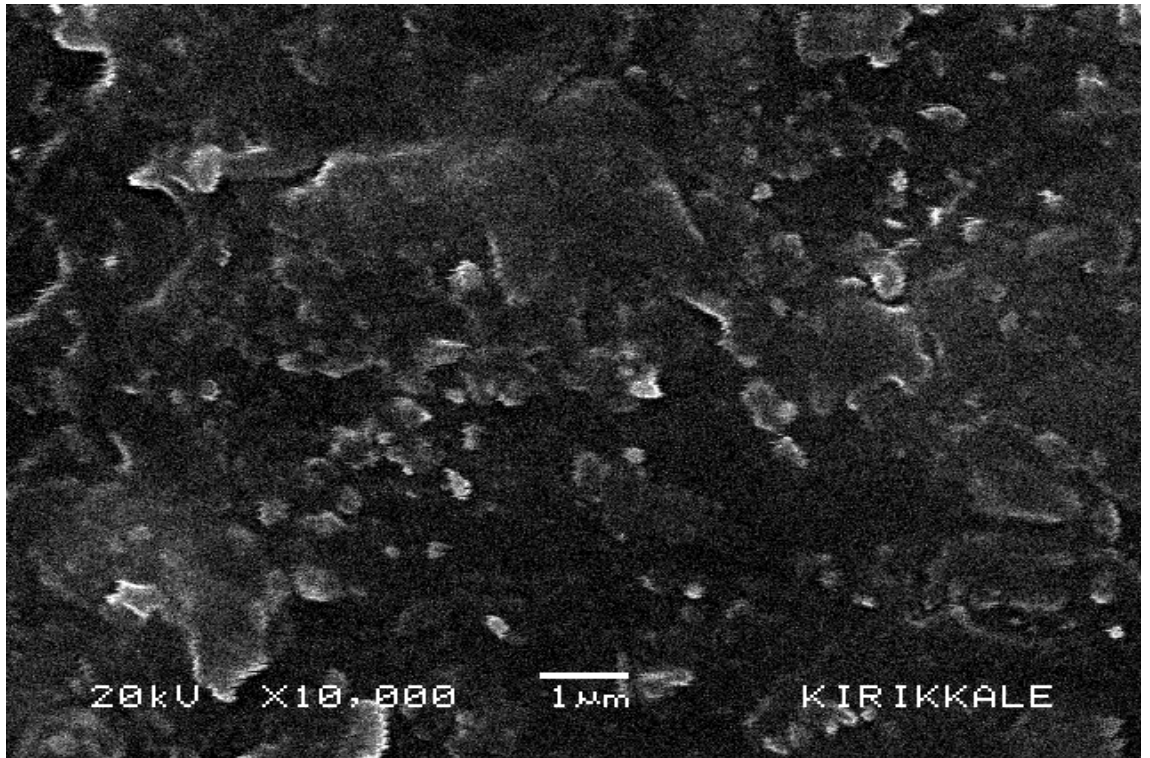
Sekil 4.3. 750nm kalınlıgındaki Cd_{0.7}Zn_{0.3}Se ince filminin 5 000 bütmedeki SEM görüntüsü



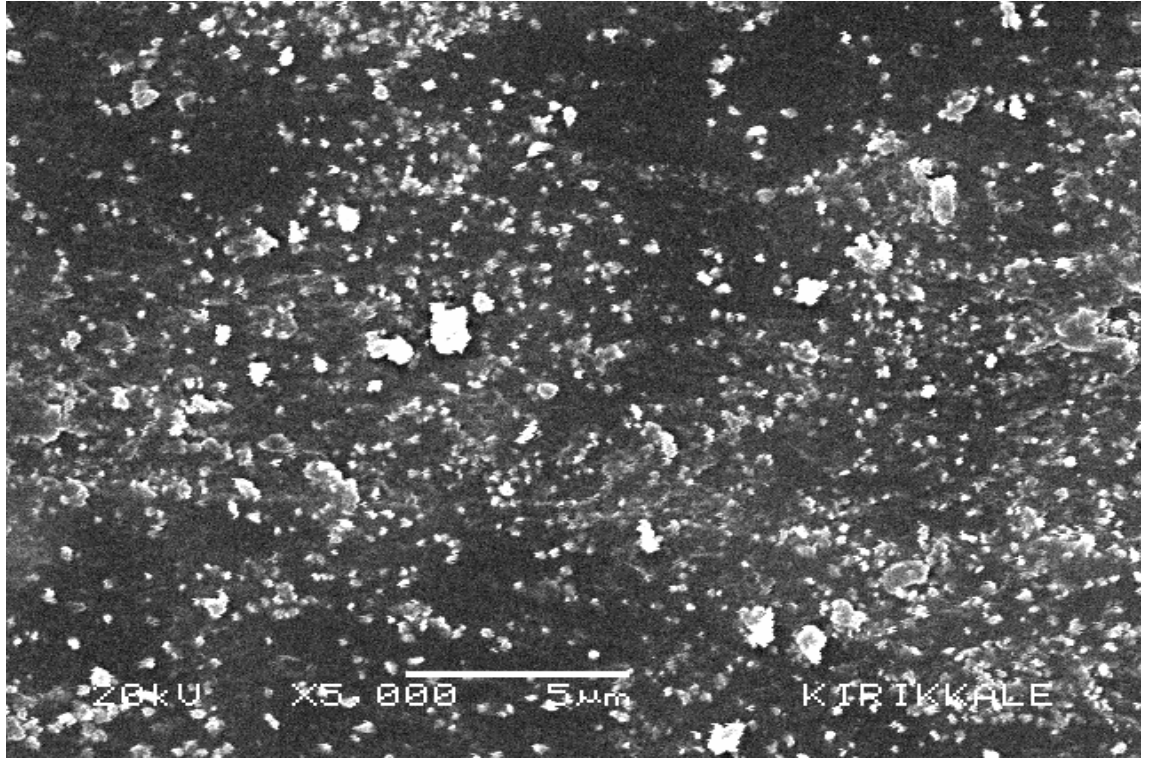
Sekil 4.4. 750nm kalınlıgındaki Cd_{0.7}Zn_{0.3}Se ince filminin 10 000 bütmedeki SEM görüntüsü



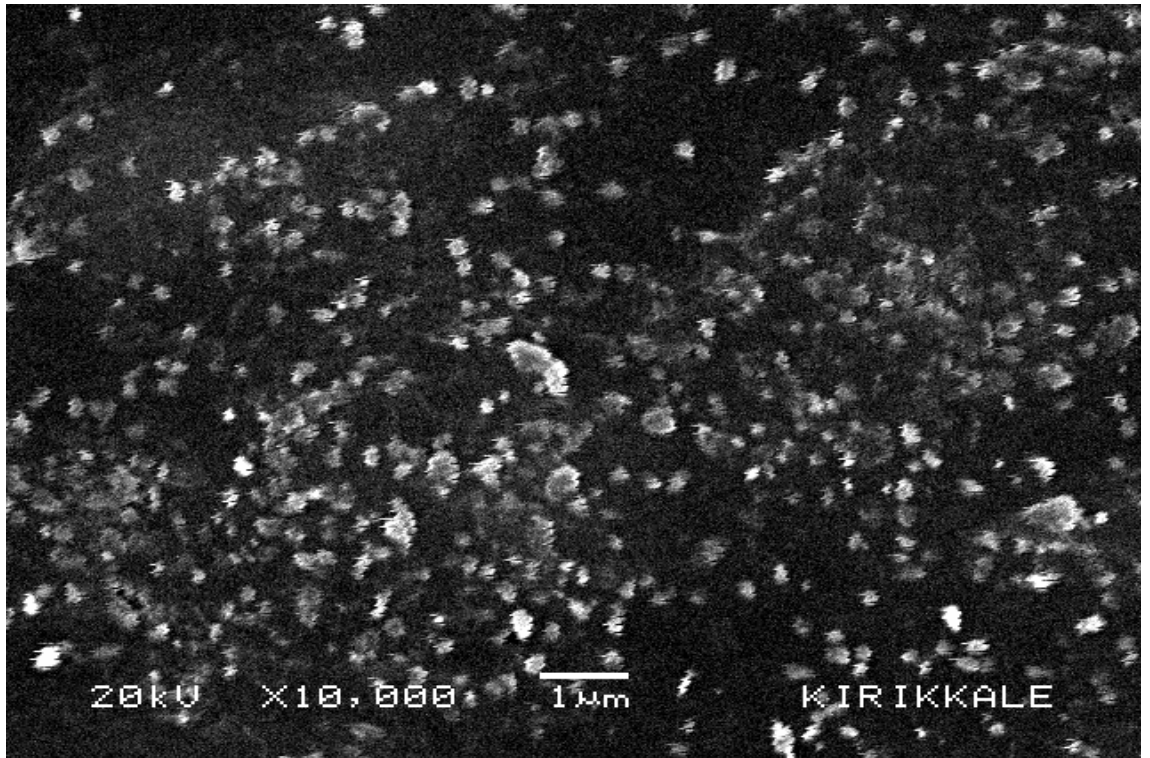
Sekil 4.5. 650nm kalınlıgındaki Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



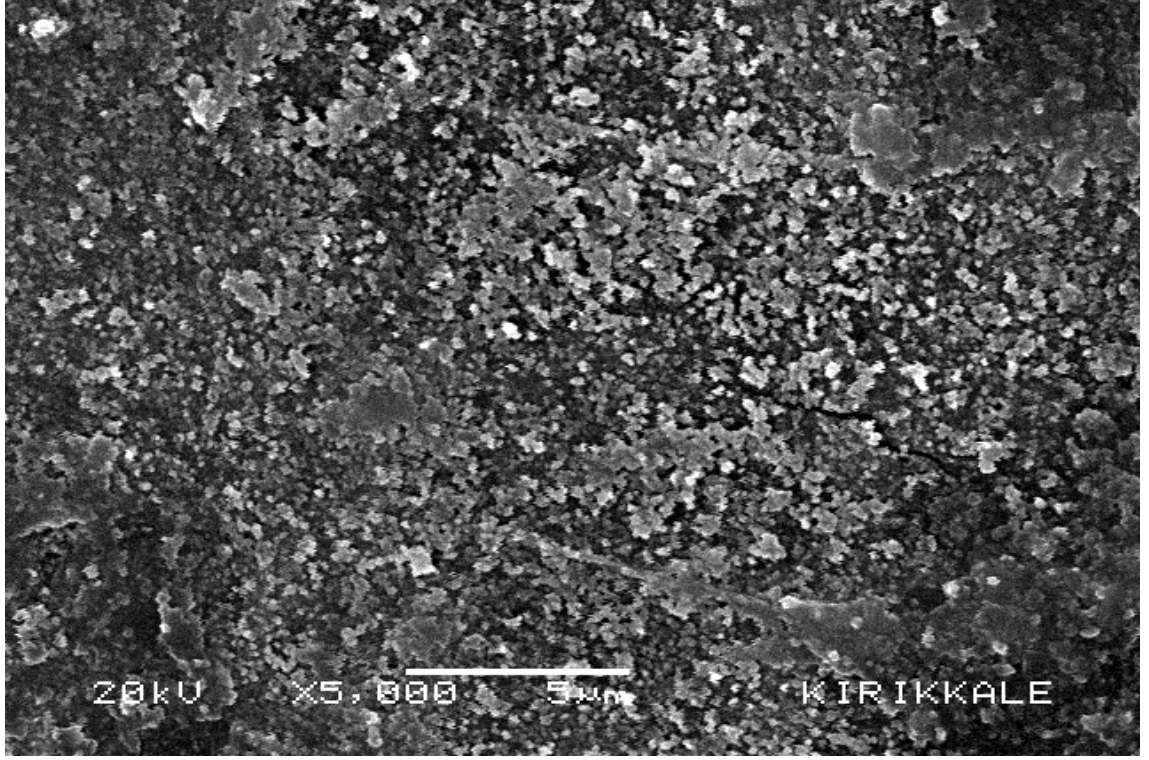
Sekil 4.6. 650nm kalınlıgındaki Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



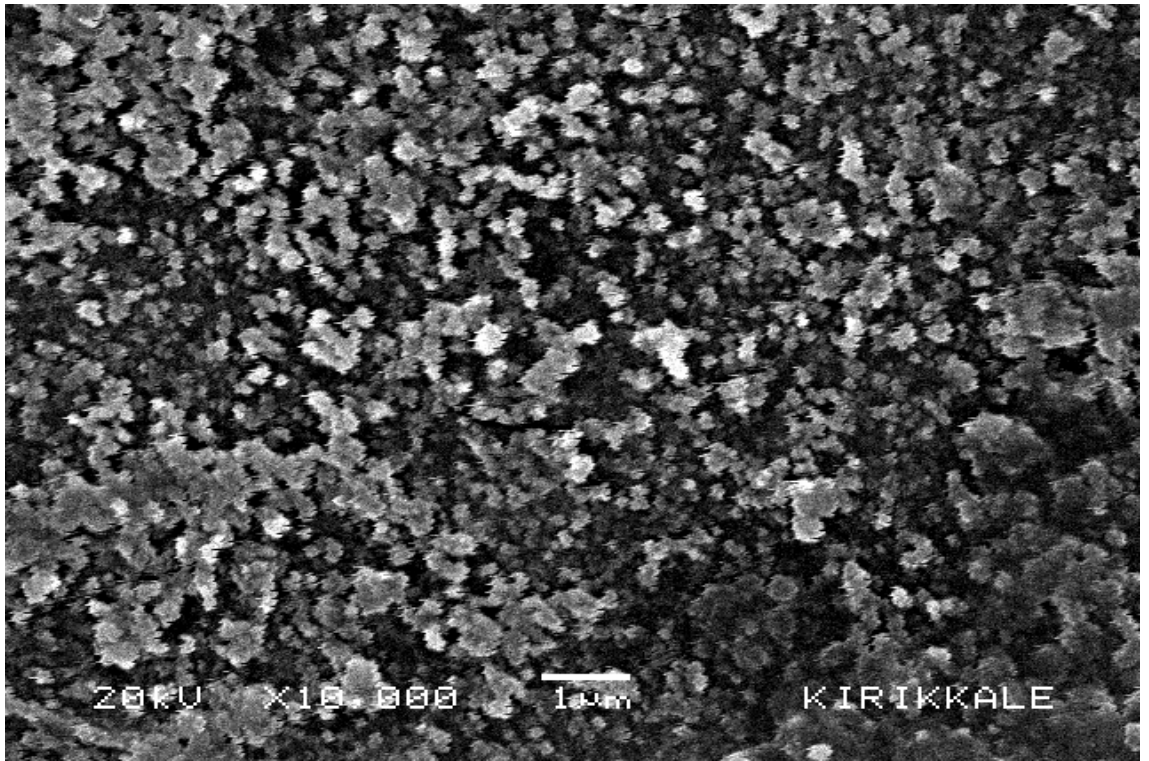
Sekil 4.7. 700nm kalınlıgındaki Cd₀₃Zn₀₇Se ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Sekil 4.8. 700nm kalınlıgındaki Cd₀₃Zn₀₇Se ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



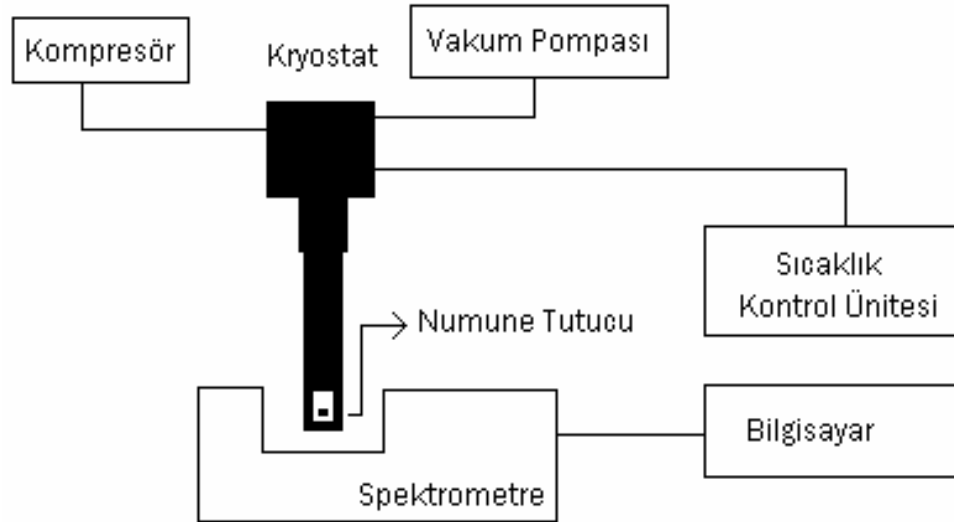
Sekil 4.9. 1,3μm kalınlıgındaki ZnSe ince filminin 5 000 büyütmedeki SEM görüntüsü



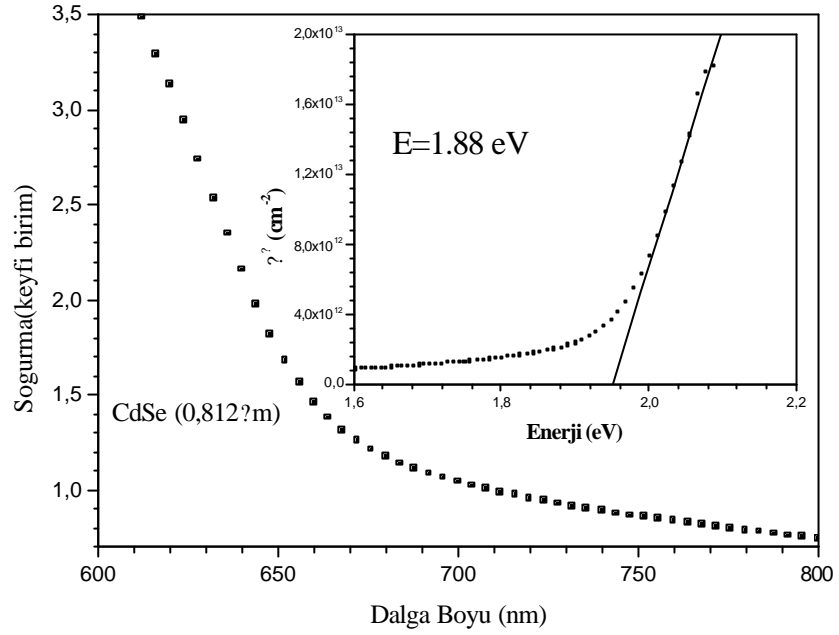
Sekil 4.10. 1,3μm kalınlıgındaki ZnSe ince filminin 10 000 büyütmedeki SEM görüntüsü

4.3. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ Yarıiletken Ince Filmlerin Sogurma Ölçümleri

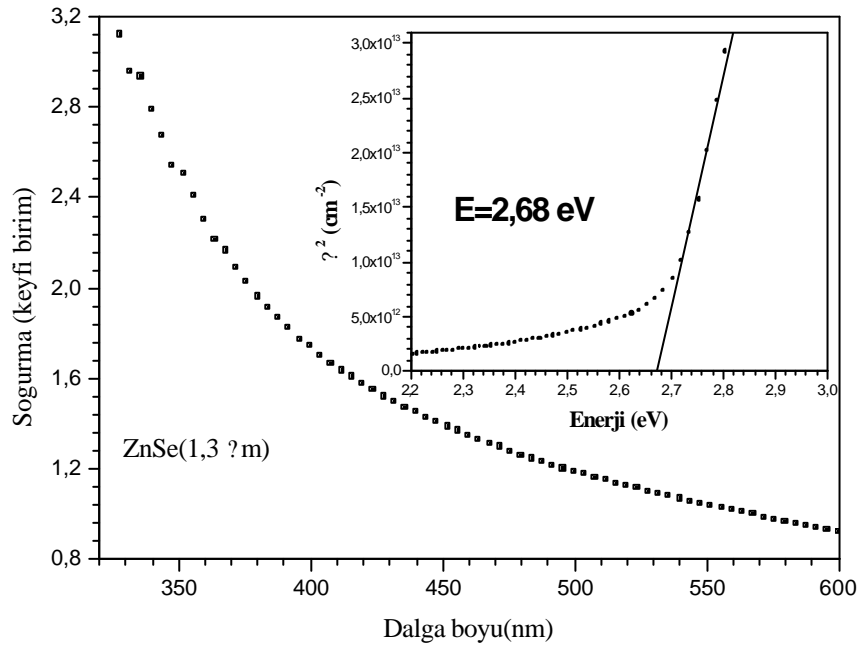
Sogurma ölçümleri için kullanılan sistemin blok diyagrami Sekil 4.11’de verilmistir. Sogurma ölçümlerinde, numune ile kryostat arasında isi iletimi saglamak için isi iletim yagi kullanarak, hazirlanan filmler, kapali devre helyum kryostatın içinde bulunan numune tutucusuna sabitlestirildi. Kapali devre kryostat, otomatik sistem vasitasiyla çalisma araligi dalga boyu cinsinden 190–1100nm olan Perkin Emler UV/VIS Lambda 2S spektrometrenin optik penceresinin tam karsisina gelecek sekilde yerlestirildi. Ölçümlerde numune sicakligi 10K’e düşürüldü ve sistem kararlı duruma gelinceye kadar beklendi. Numunelerin yasak enerji araliklari dikkate alinarak, spektrumun dalga boyu verileri programa set edilerek 10 K’den 320 K’e kadar 10 K araliklarla sicaklik artirilerek sogurma ölçümleri alindi. Her sicaklikta yaklasik 5 dakika kararlı duruma gelmesi için beklendi. Sogurma ölçümleri yardimiyla sogurma katsayisi ve yasak enerji araliginin sicaklikla degisimi incelendi.



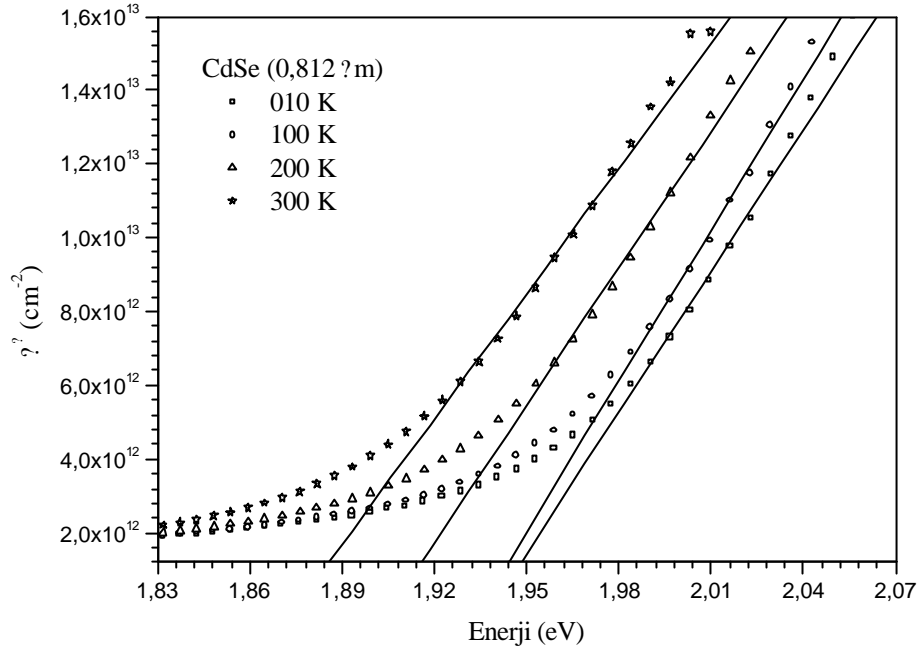
Sekil 4.11. Sogurma ölçümlerinin yapıldığı sistemin blok diyagramı



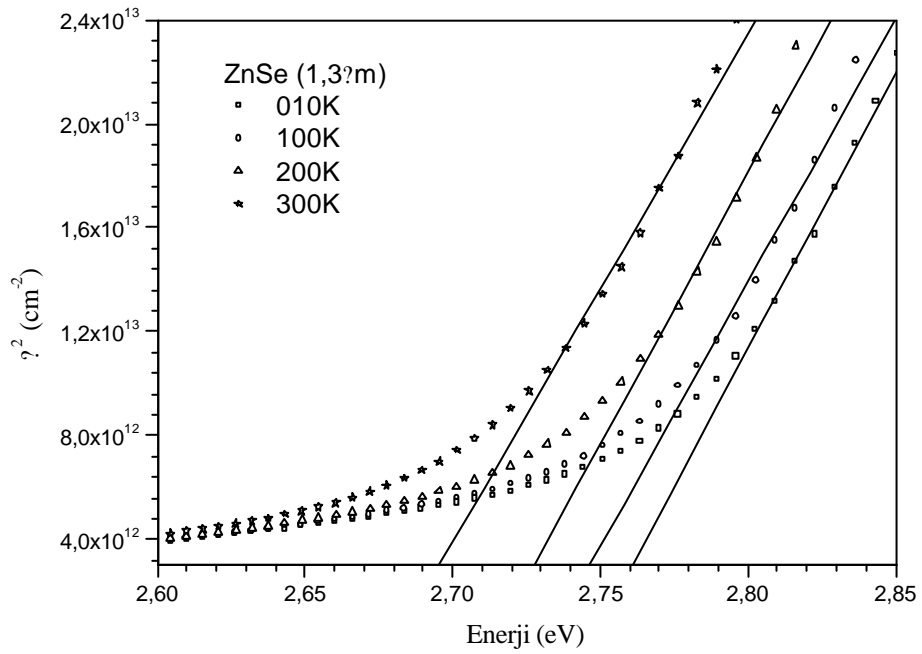
Sekil 4.12. CdSe ince filminin oda sicakligindaki sogurma spektrumu ve α^2 (cm⁻²)'nin enerjiye bagli degisimi



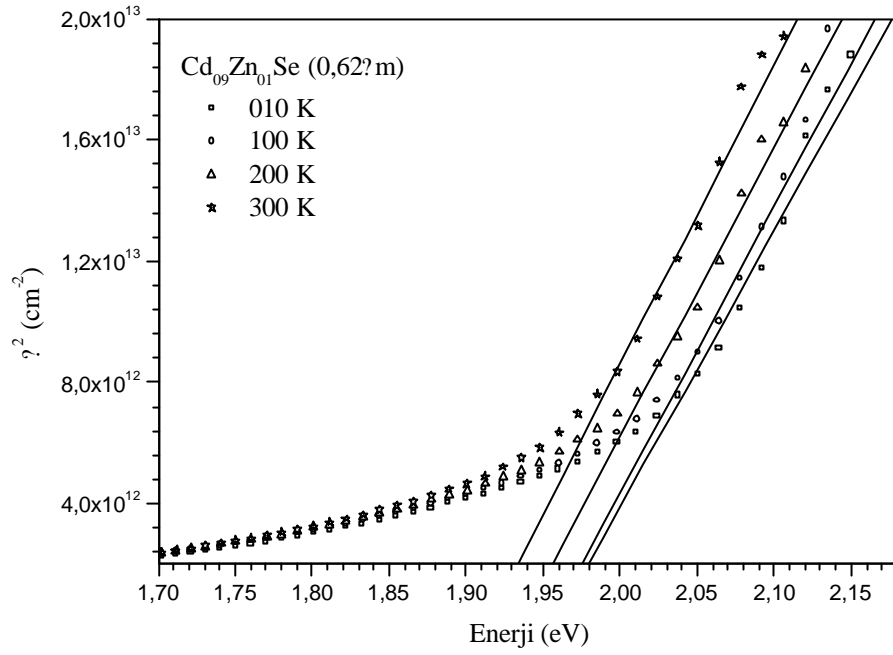
Sekil 4.13. ZnSe ince filminin oda sicakligindaki sogurma spektrumu ve α^2 (cm⁻²)'nin enerjiye bagli degisimi



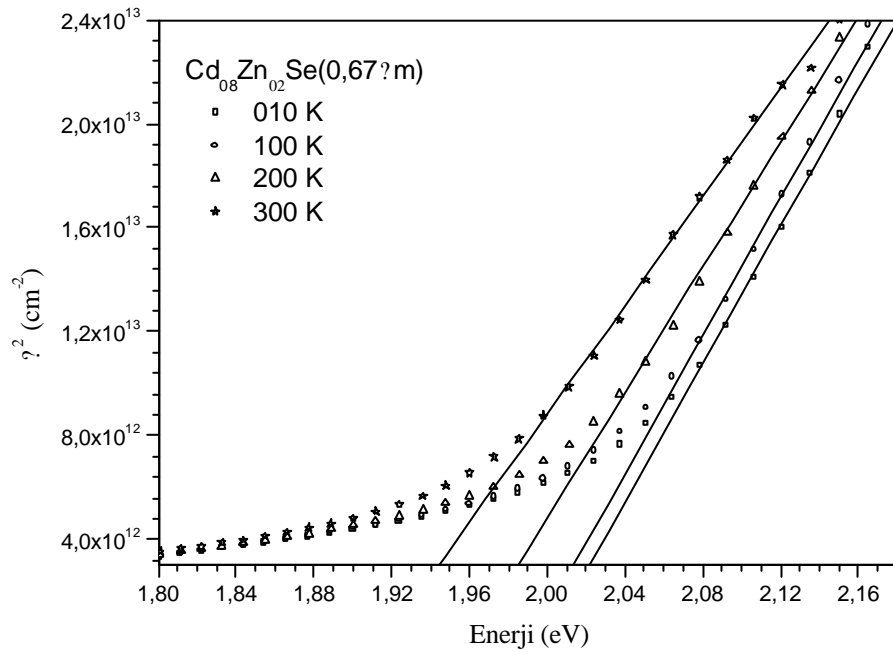
Sekil 4.14. CdSe ince filminde farkli sicakliklarda $a^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bagli degisimi



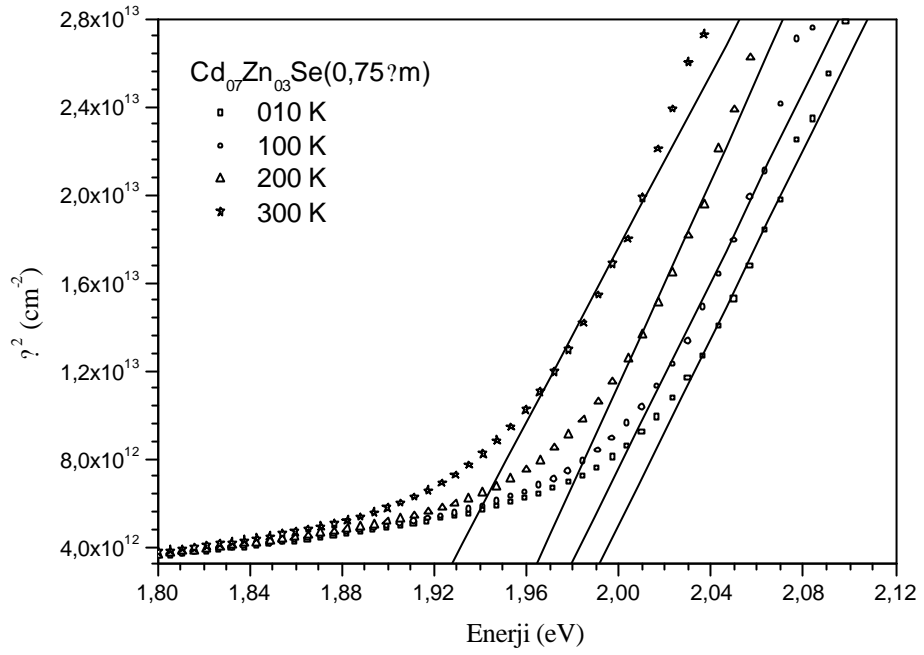
Sekil 4.15. ZnSe ince filminde farkli sicakliklarda $a^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bagli degisimi



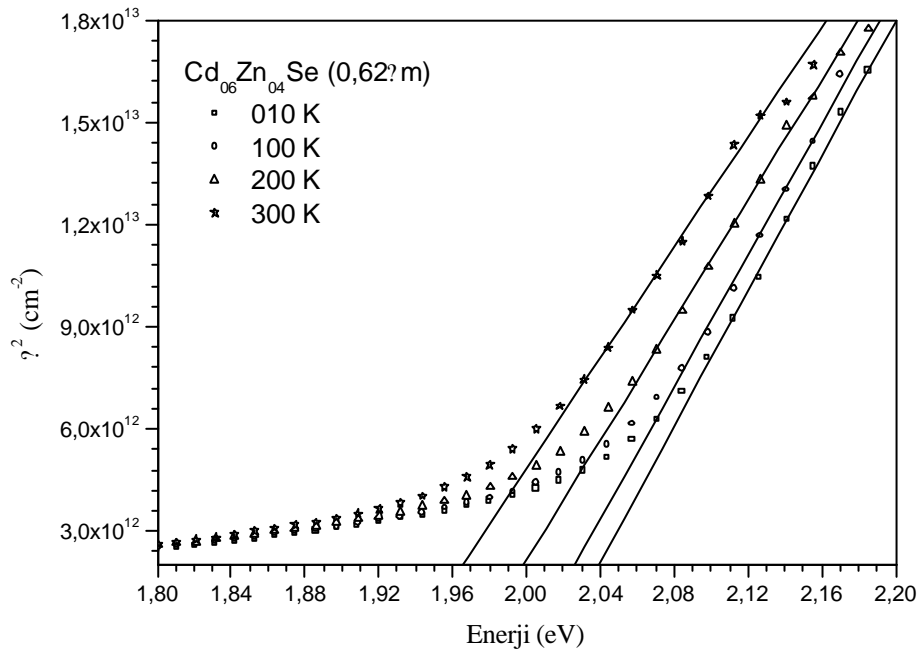
Sekil 4.16. $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Se}$ ince filmde farkli sicakliklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bagli degisimi



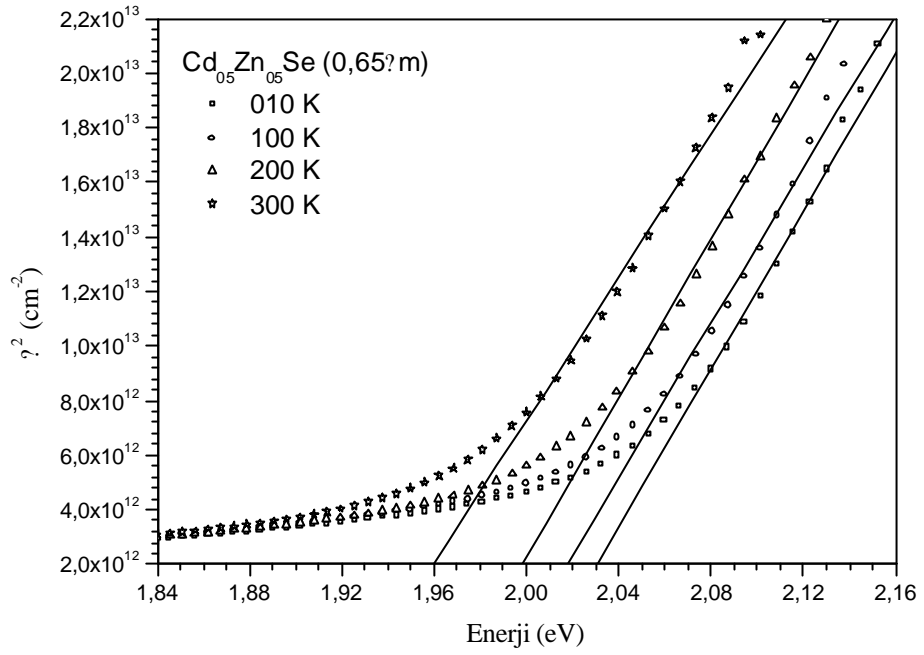
Sekil 4.17. $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Se}$ ince filmde farkli sicakliklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bagli degisimi



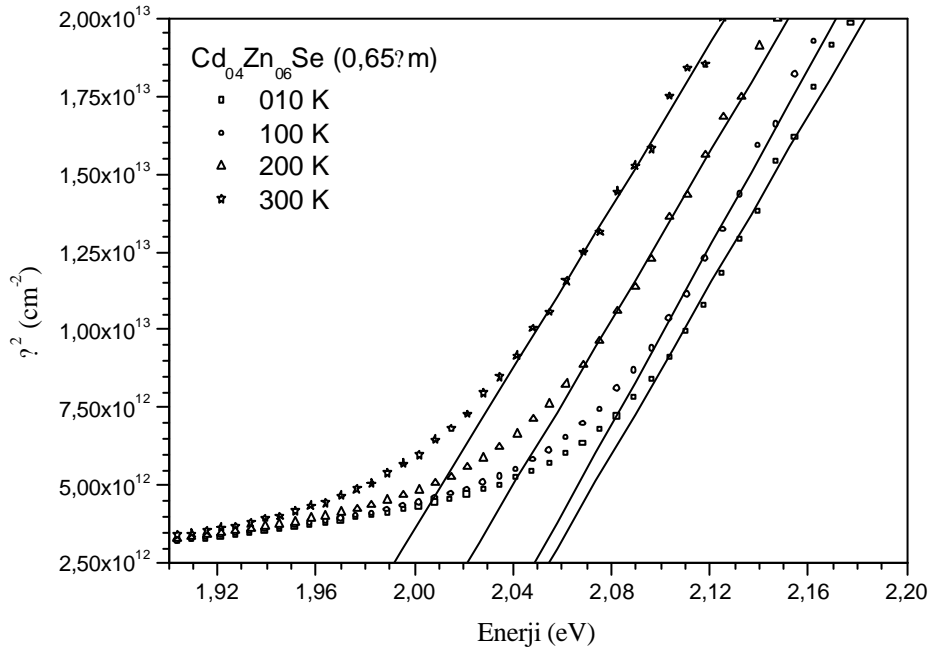
Sekil 4.18. $\text{Cd}_{0.7}\text{Zn}_{0.3}\text{Se}$ ince filmde farkli sicakliklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bagli degisimi



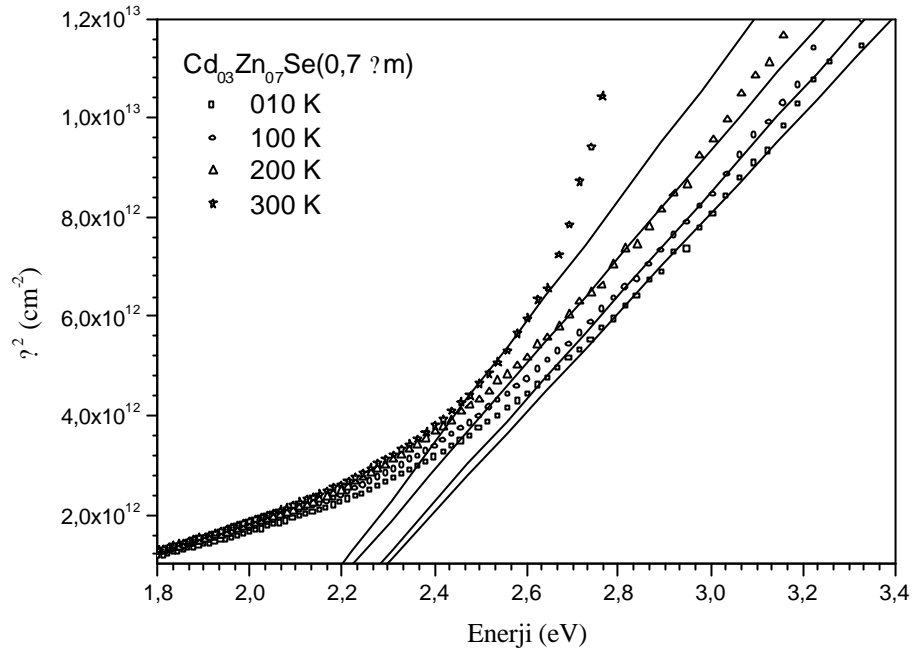
Sekil 4.19. $\text{Cd}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Se}$ ince filmde farkli sicakliklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bagli degisimi



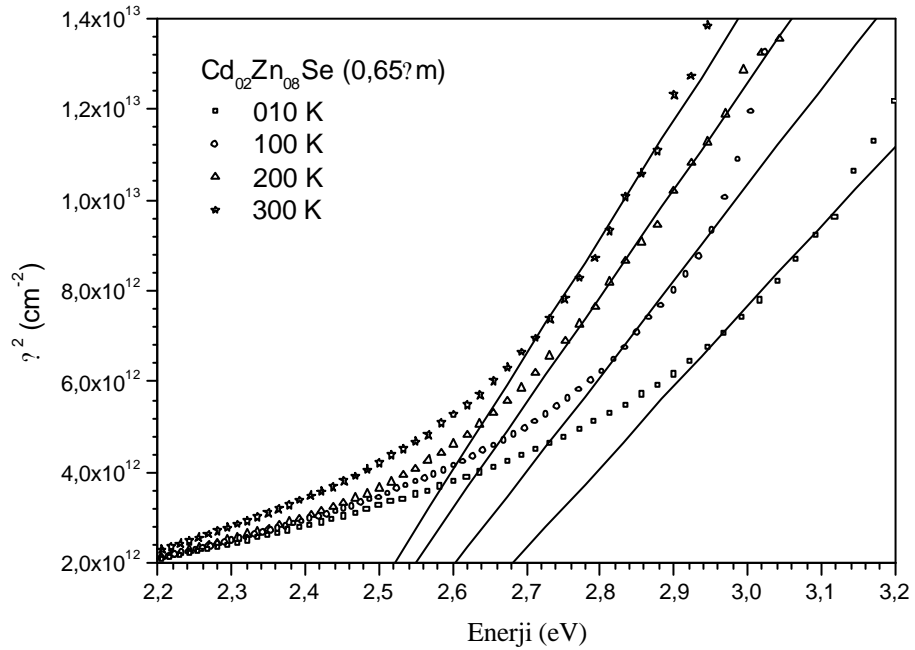
Sekil 4.20. $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Se}$ ince filminde farklı sıcaklıklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bağlı değişimi



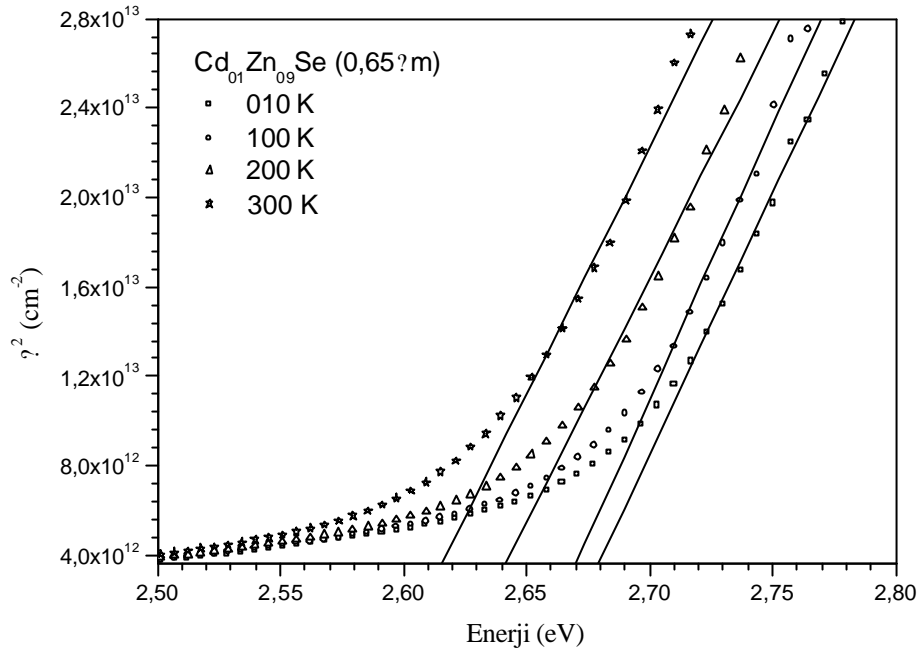
Sekil 4.21. $\text{Cd}_{0,4}\text{Zn}_{0,6}\text{Se}$ ince filminde farklı sıcaklıklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bağlı değişimi



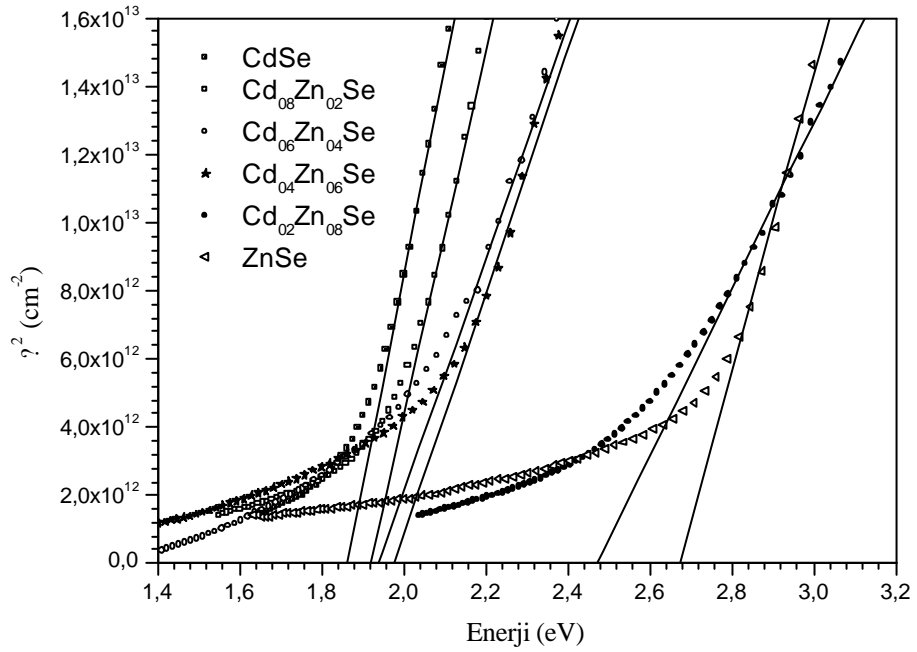
Sekil 4.22. $\text{Cd}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{Se}$ ince filminde farklı sıcaklıklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bağlı değişimi



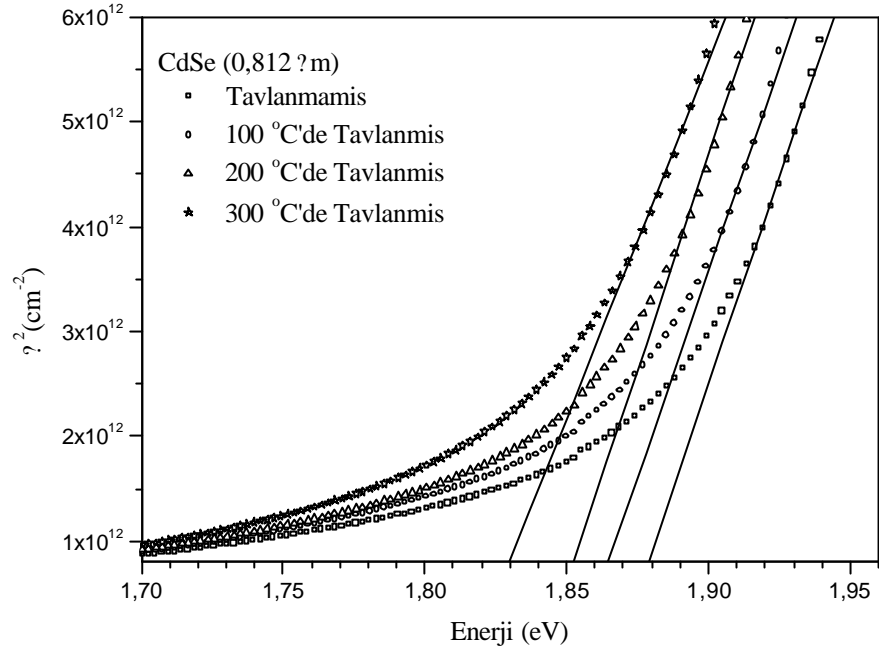
Sekil 4.23. $\text{Cd}_{0.2}\text{Zn}_{0.8}\text{Se}$ ince filminde farklı sıcaklıklarda $\alpha^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bağlı değişimi



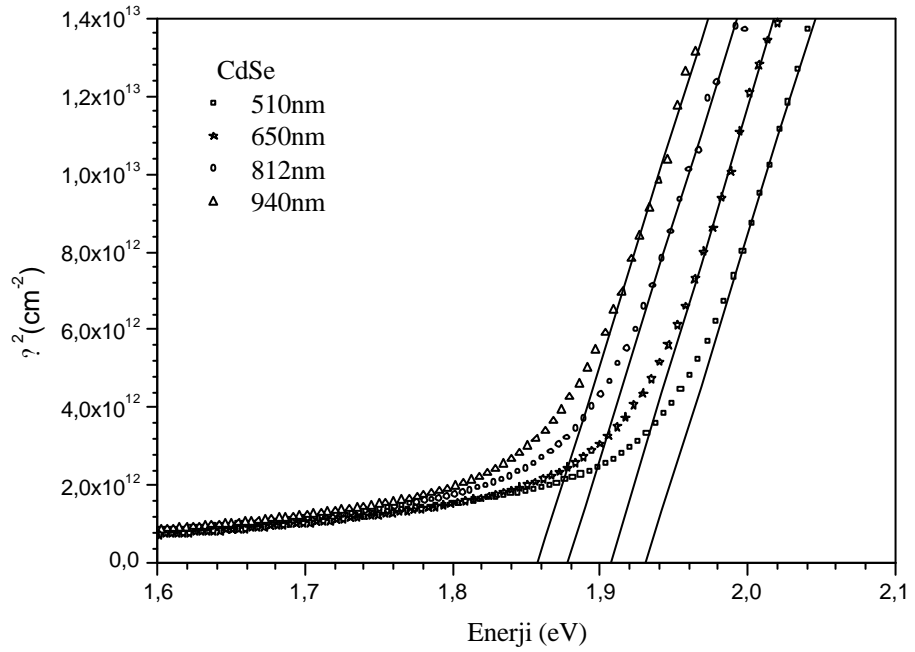
Sekil 4.24. Cd_{0.1}Zn_{0.9}Se ince filminde farklı sıcaklıklarda α^2 (cm⁻²)'nin enerjiye bağlı değişimi



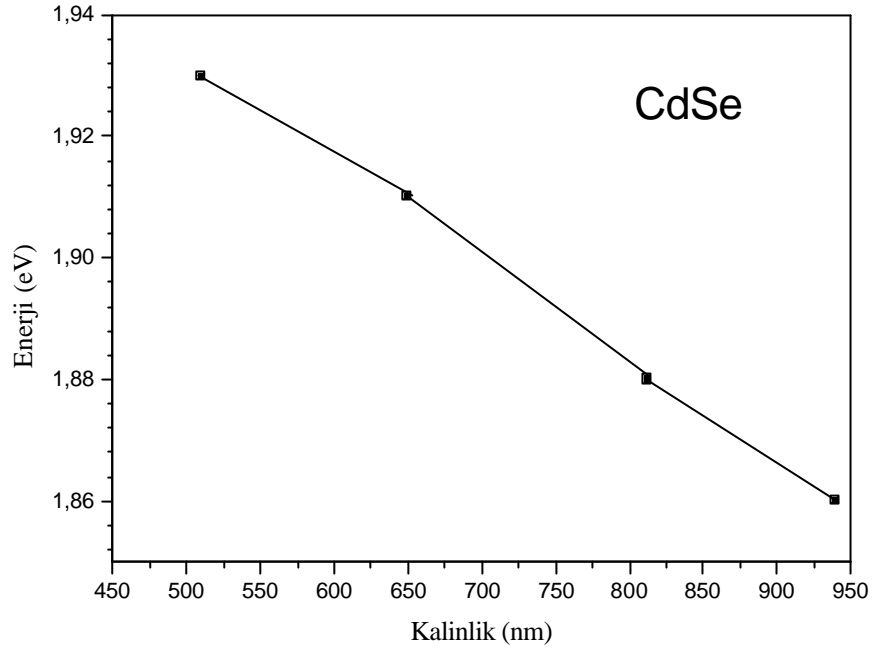
Sekil 4.25. CdSe, ZnSe ve farklı katkı oranlarında Cd_xZn_{1-x}Se ince filmlerinde oda sıcaklığında α^2 (cm⁻²)'nin enerjiye bağlı değişimi



Sekil 4.26. CdSe ince filminde farklı tavlama sıcaklıklarda $a^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bağlı değişim



Sekil 4.27. Farklı kalınlıktaki CdSe ince filmde $a^2(\text{cm}^{-2})$ 'nin enerjiye bağlı değişimi

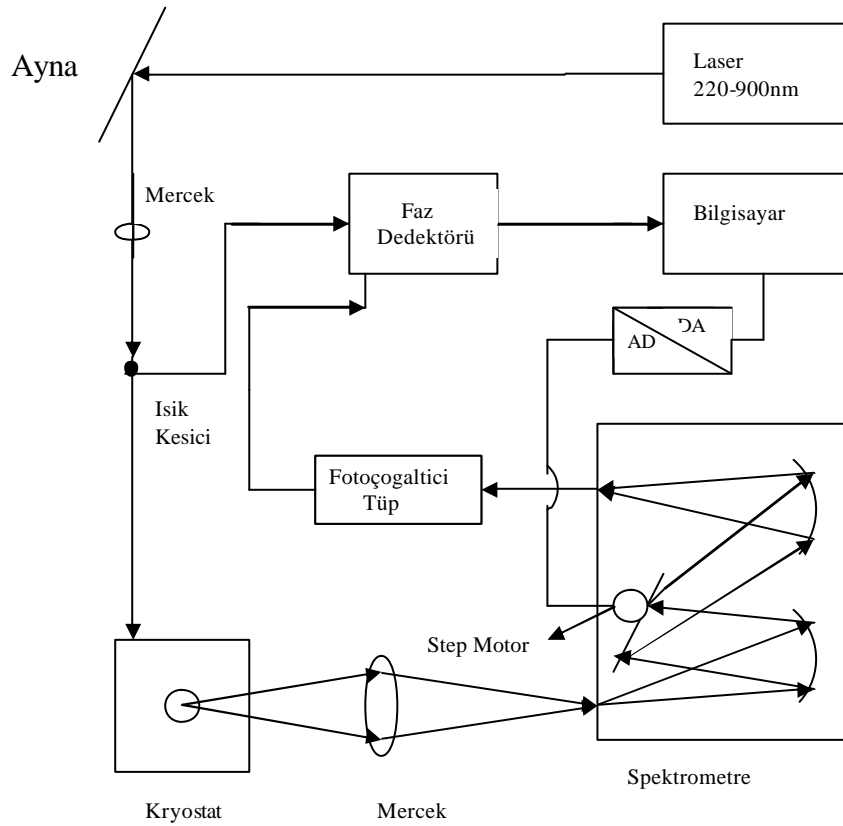


Sekil 4.28. Oda sıcaklığında CdSe ince filmlerin yasak enerji aralığının kalınlıkla değişimi

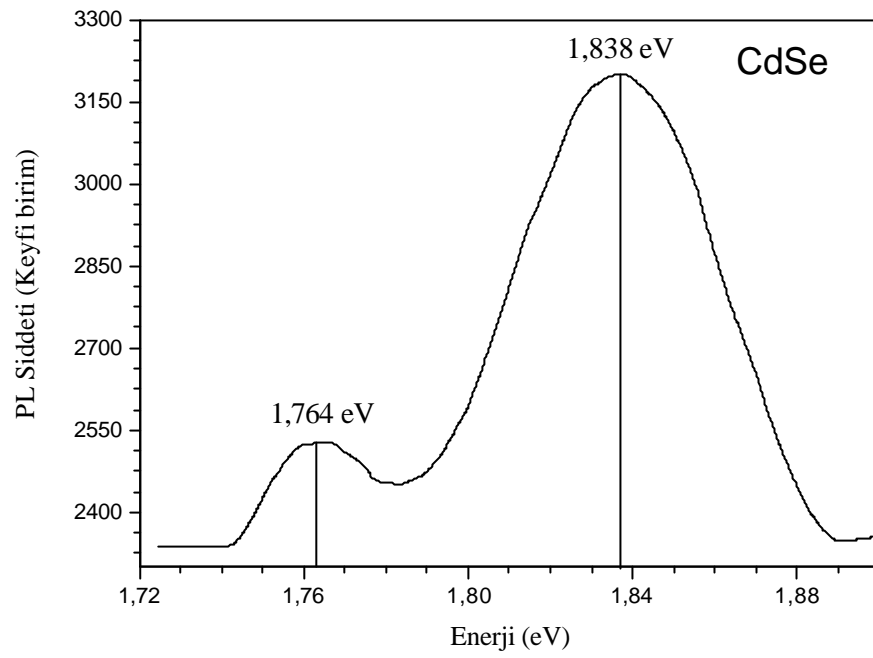
4.4. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ Yarıiletken Ince Filmlerin Fotoluminesans Ölçüleri

Fotoluminesans (PL) ölçümleri için Shimadzu RF-5301 PC Spektroflorofotometre cihazı kullanılmıştır. Kullanılan sistemin blok diyagramı Sekil 4.29'da verilmiştir. Laser kaynagından gelen fotonlar ayna yardımıyla mekanik ışık kesiciye yansıtılır. Gelen laser ışığının UV dalga boyunu geçiren ince kenarlı bir mercekle odaklanması gerekmektedir. Işık kesiciden çıkan ışık, kesicinin dönme hızına bağlı olarak belli frekanslarda ve kare dalga modülasyonunda oluşarak yarıiletken numunenin bulunduğu vakumlu bir optik hazne olan kryostata gelir. Kryostatın içerisi meydana gelebilecek sıcaklık farklarını engellemek için vakum pompasıyla vakum ortamı sağlanır. Kryostat sistemi sıvı azotla beslenerek istenilen düşük sıcaklık elde edilir. Buharlaşmadan dolayı sürekli olarak sistemin azotla beslenmesi gerekmektedir.

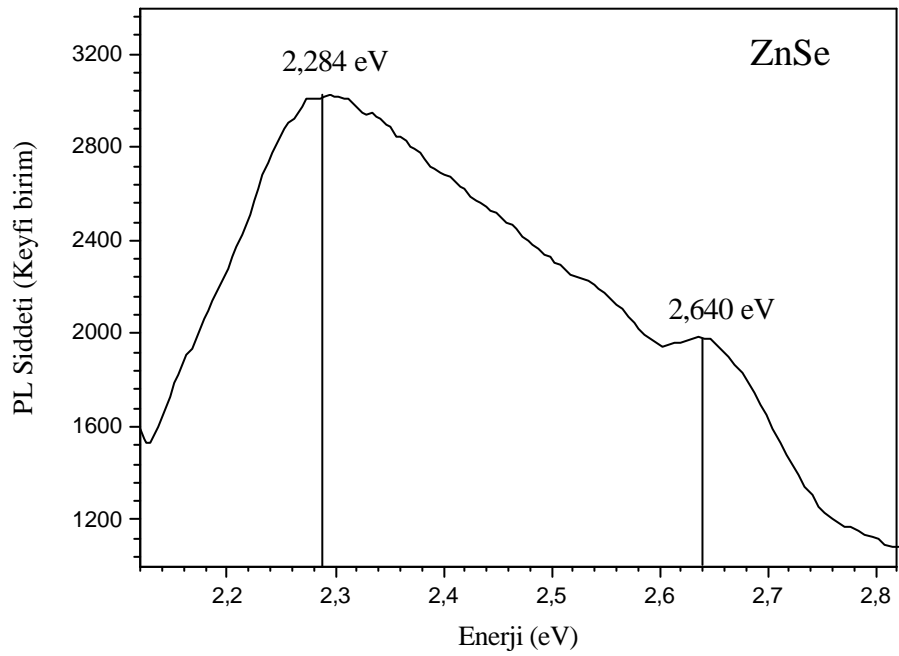
Kryostat pencereleri UV bölgesindeki isinların geçebileceği safir camı gibi nitelikli camlardan yapılır. Sistem, AD/DA çeviri kartı ve uygun güç kaynağı kullanılarak spektrometredeki kırınma ağına açılma hız kontrolünde bilgisayar kontrollü step motoru kullanılıp 220-900nm arasındaki spektrum aralığı bilgisayar ekranından gözlenecek şekilde tasarlanmıştır. Deneyin yapılmasında karanlık ortam sağlanmış ve spektrometre ortam ışığından yalıtılmıştır. Spektrometreye optik filtreden süzülerek gelen fotoluminesans yayını spektrometre içindeki çukur ayna yardımıyla kırınma ağına yansıtılır. Kırınma ağına belli dalga boylarına ayrılan ışınlar ise ikinci çukur aynaya yansıtılır. Bu ışınlar foto çoğaltıcı tübe gelerek çoğaltılırlar. Foto çoğaltıcıda çoğaltılan ışıkla, kryostata gelmeden kesilen ve kare dalga modülasyonunda oluşan ışık PSD olarak bilinen faz dedektörüne gelir. Burada manuel olarak sistemin hassasiyeti ayarlanır ve veriler bilgisayarda değerlendirilir.



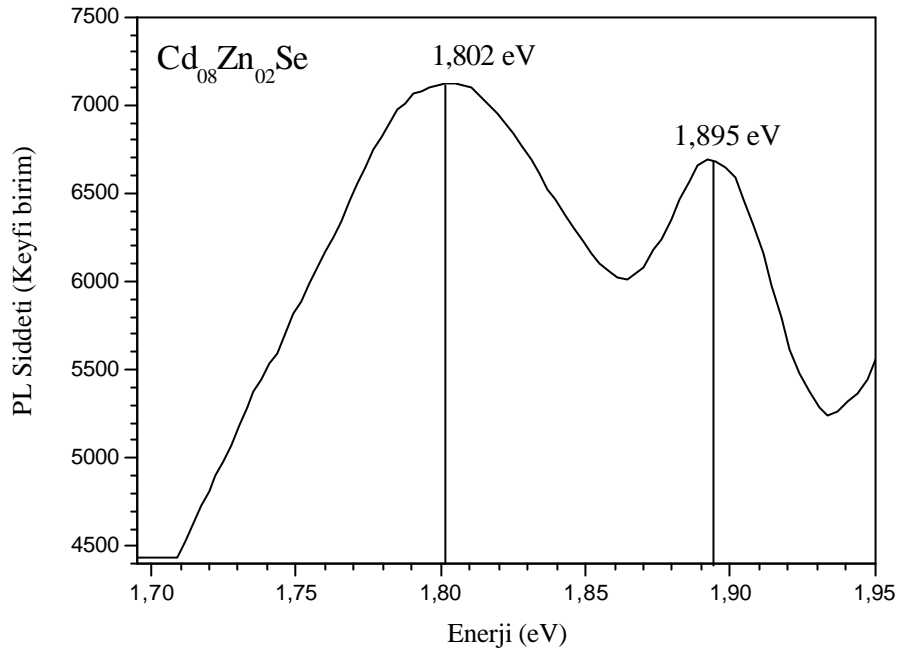
Sekil 4.29. Fotoluminesans deney düzeni



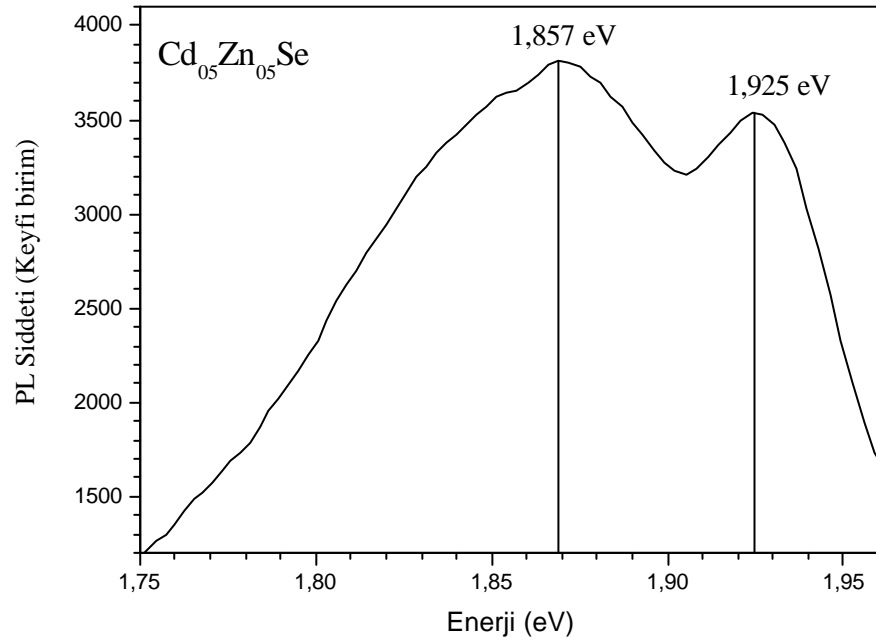
Sekil 4.30. CdSe filminin fotolüminesans spektrumu



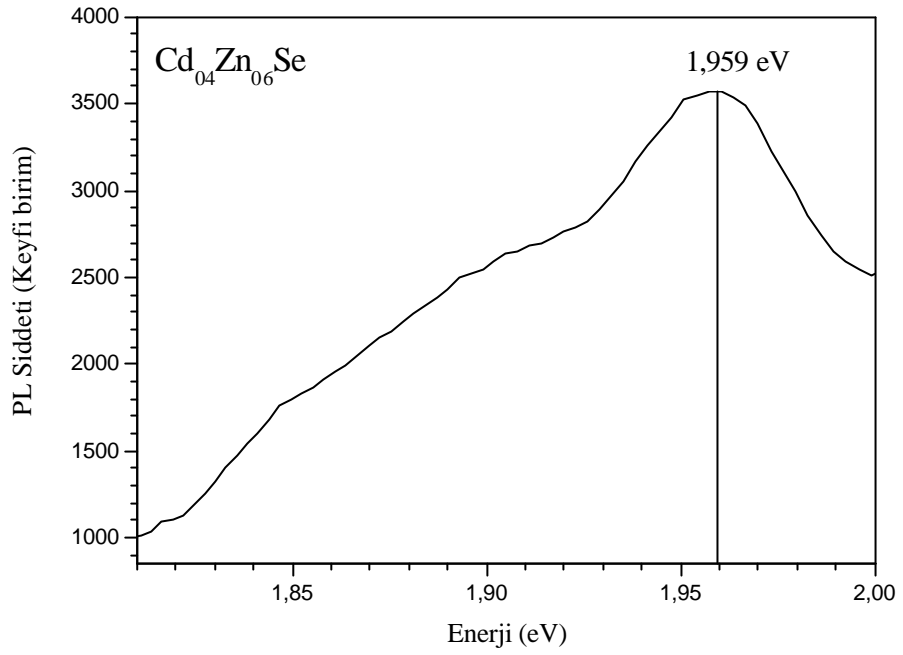
Sekil 4.31. ZnSe filminin fotolüminesans spektrumu



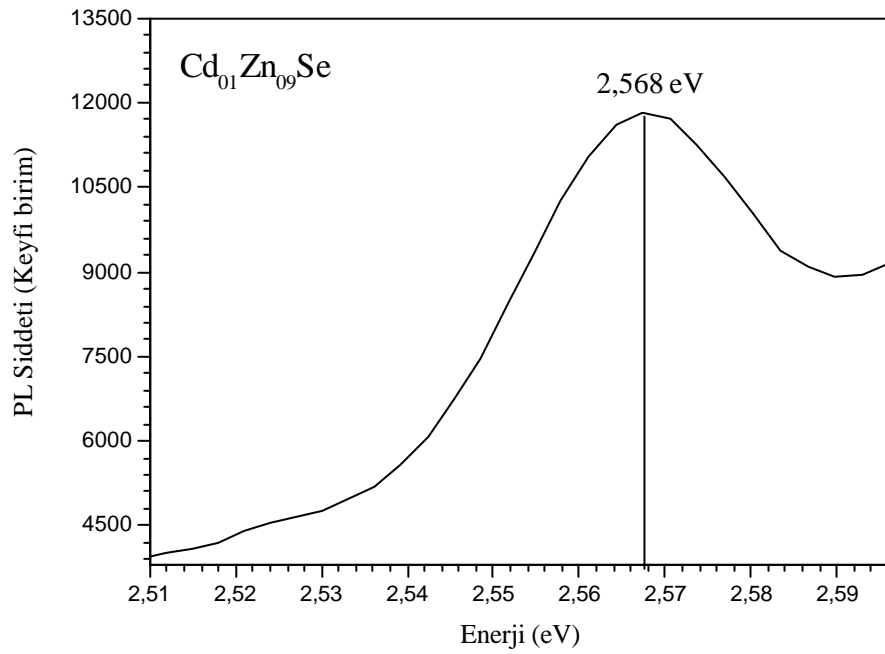
Sekil 4.32. $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Se}$ filminin fotolüminesans spektrumu



Sekil 4.33. $\text{Cd}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Se}$ filminin fotolüminesans spektrumu



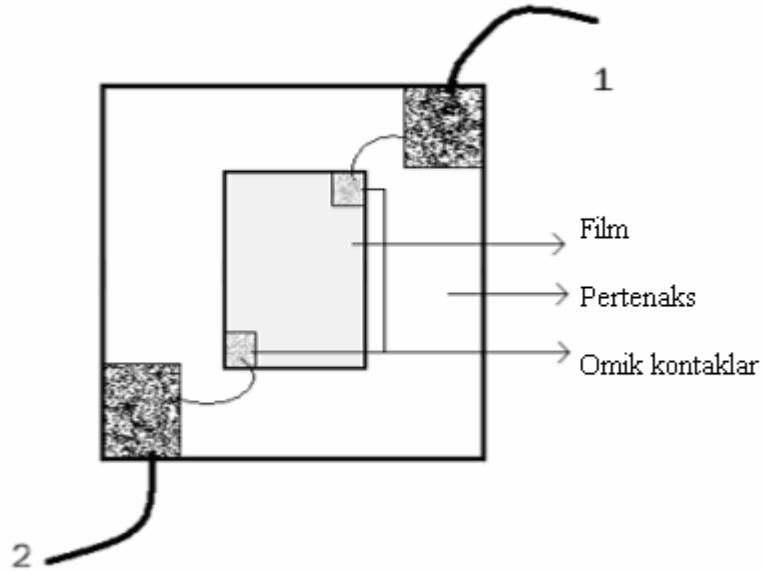
Sekil 4.34. $\text{Cd}_{0.4}\text{Zn}_{0.6}\text{Se}$ filminin fotolüminesans spektrumu



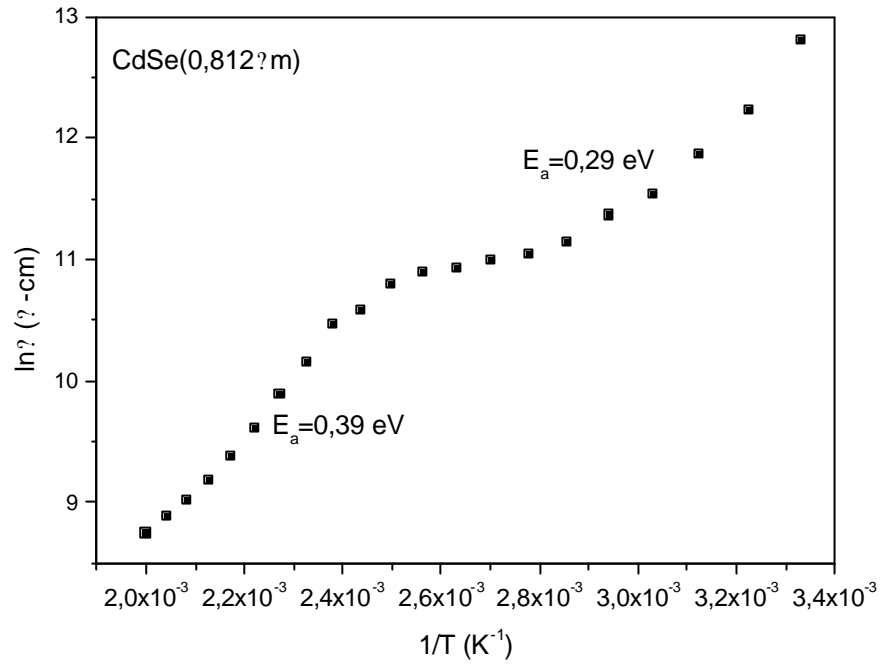
Sekil 4.35. $\text{Cd}_{0.1}\text{Zn}_{0.9}\text{Se}$ filminin fotolüminesans spektrumu

4.5. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ Ince Filmlerin Elektriksel Ölçümleri

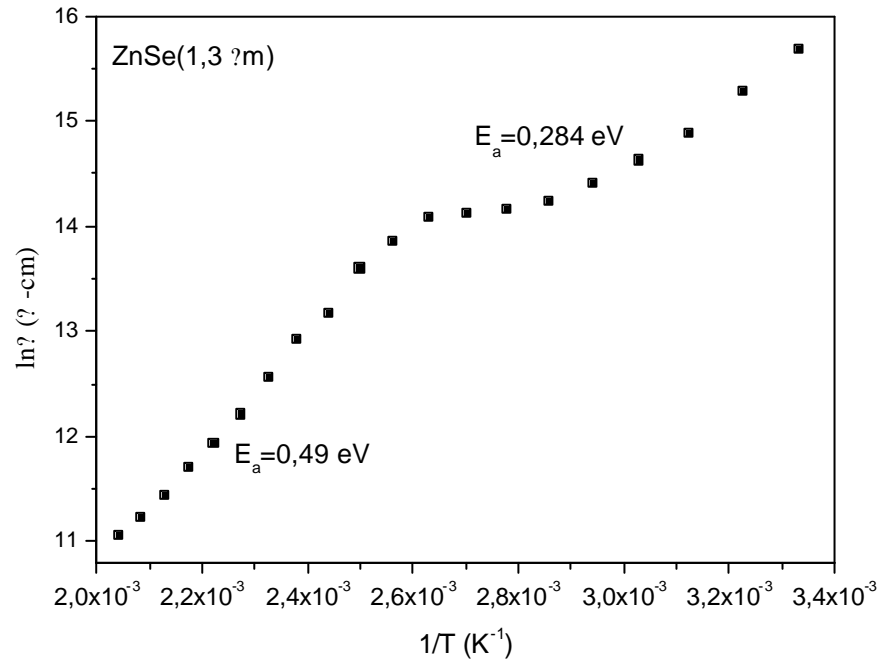
Büyütülen CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerin öz direncini ölçmek için iki nokta uç yöntemi kullanıldı. Büyütülen filmler ilk olarak, belli bölgelerindeki bakır kısımları, hidroklorik asit (HCl) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) karışımı kullanılarak baskı devresi çıkarılan bakır pertenaks üzerine yapıştırıldı. Sonra numune ve pertenaks üzerine Şekil 4.36'da gösterildiği gibi kontaklar yapılarak kapalı devre soğutma sistemi içerisine yerleştirildi. Sistem 300K sıcaklığına getirildi ve 1 ve 2 numaralı kontaklardan numuneye 100V sabit gerilim uygulanarak numune üzerinden geçen akım ölçüldü. Akım ölçme işlemi $0,000001\mu A$ hassasiyetine sahip Keithley 487 pikoampermetre kullanılarak gerçekleştirildi. Aynı işlem, 500K sıcaklık değerine kadar, sıcaklığı 10K adımlarla arttırmak suretiyle tekrarlandı. Her bir sıcaklık değişiminde sistemin dengeye gelmesi için birkaç dakika beklendi. Elde edilen ölçümlerden faydalanılarak büyütülen ince filmlerin öz direncinin sıcaklığa bağlılığı incelendi.



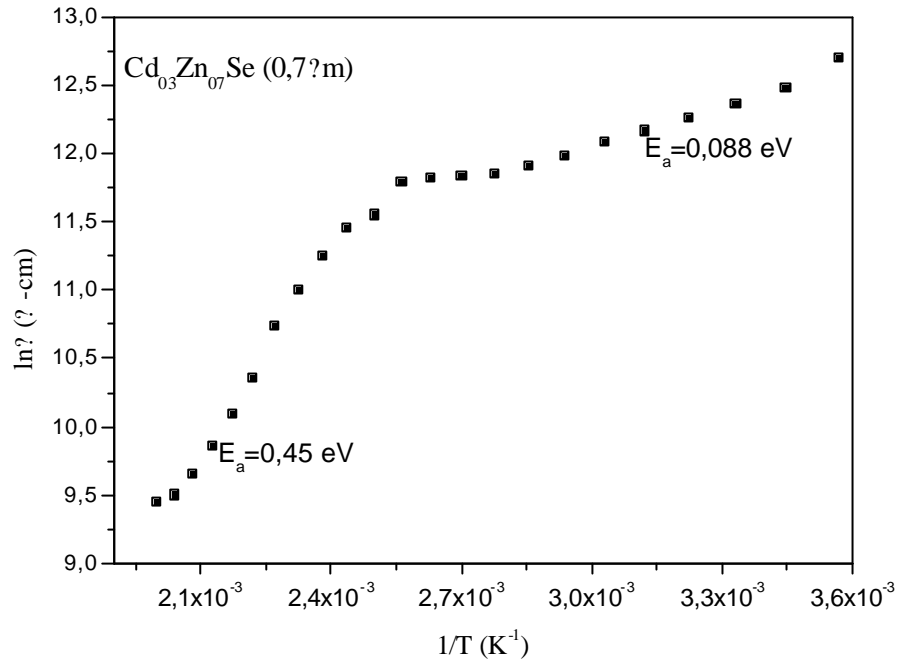
Şekil 4.36. İki probu yöntemle öz direnç ölçümü için kurulan düzenek



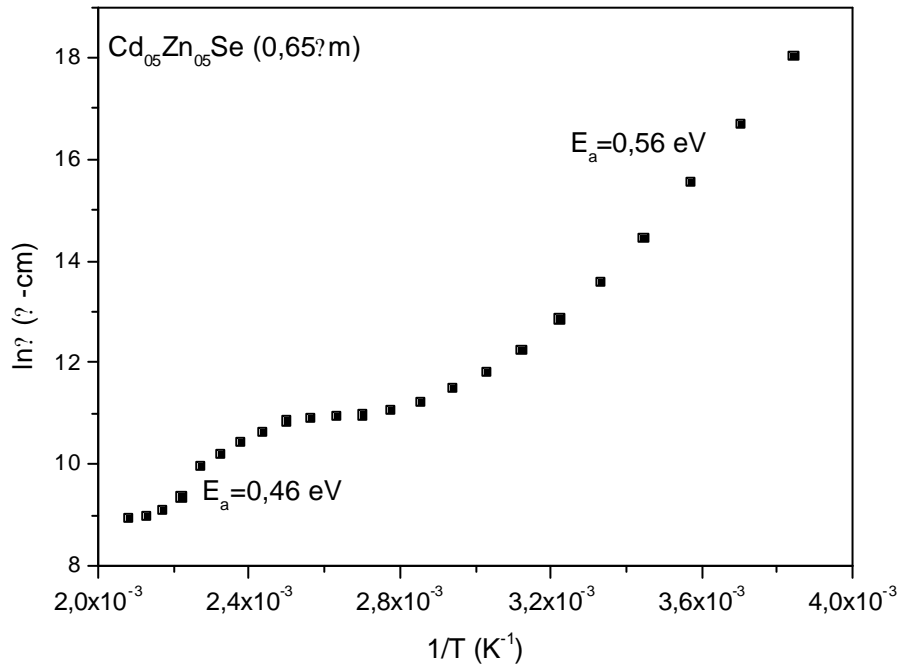
Sekil 4.37. CdSe ince filminin sıcaklığa bağlı olarak öz direnç değişimleri



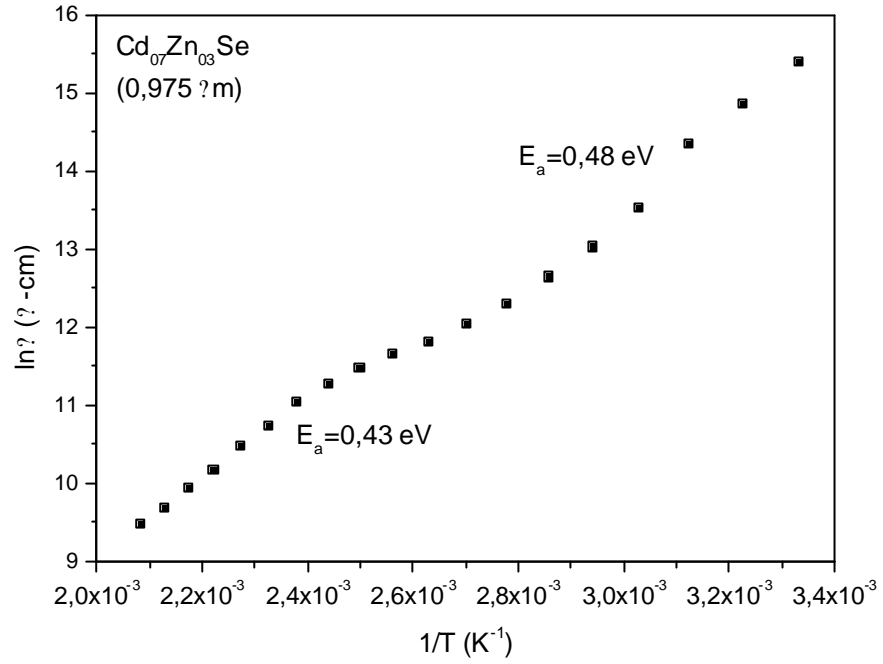
Sekil 4.38. ZnSe ince filminin sıcaklığa bağlı olarak öz direnç değişimleri



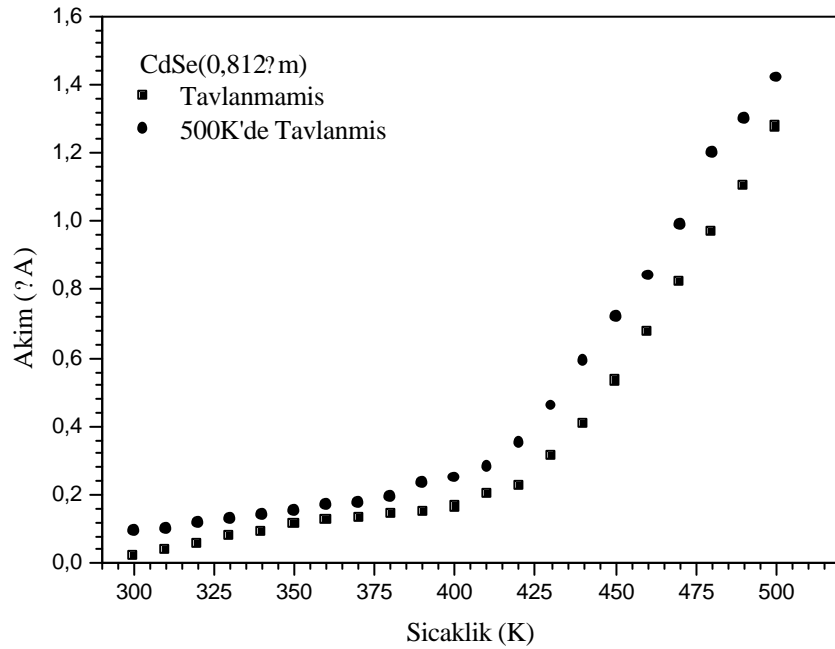
Sekil 4.39. $\text{Cd}_{0,3}\text{Zn}_{0,7}\text{Se}$ ince filminin sicakliga bagli olarak öz direnç degisimleri



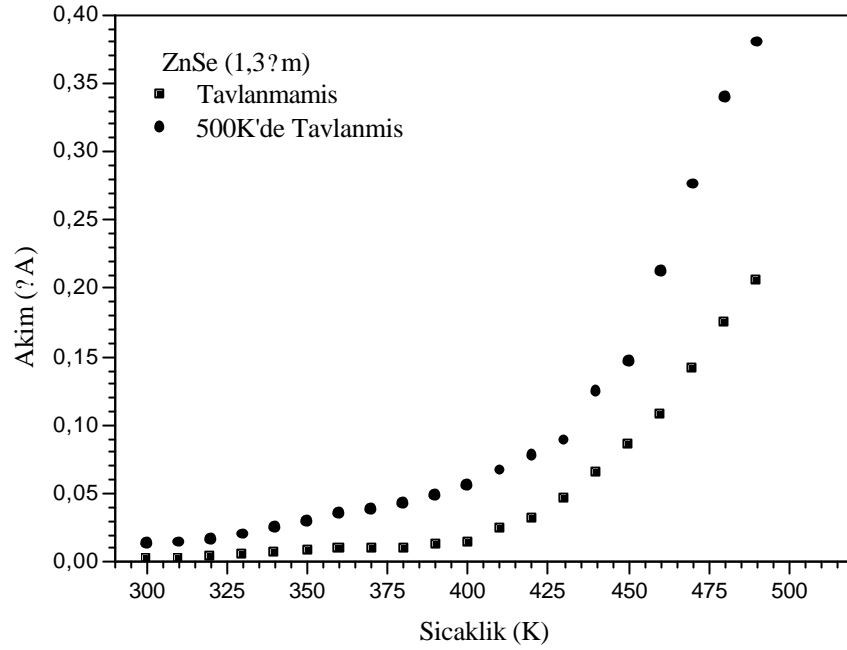
Sekil 4.40. $\text{Cd}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Se}$ ince filminin sicakliga bagli olarak öz direnç degisimleri



Sekil 4.41. Cd_{0.7}Zn_{0.3}Se ince filminin sicakliga bagli olarak öz direnç değisimleri



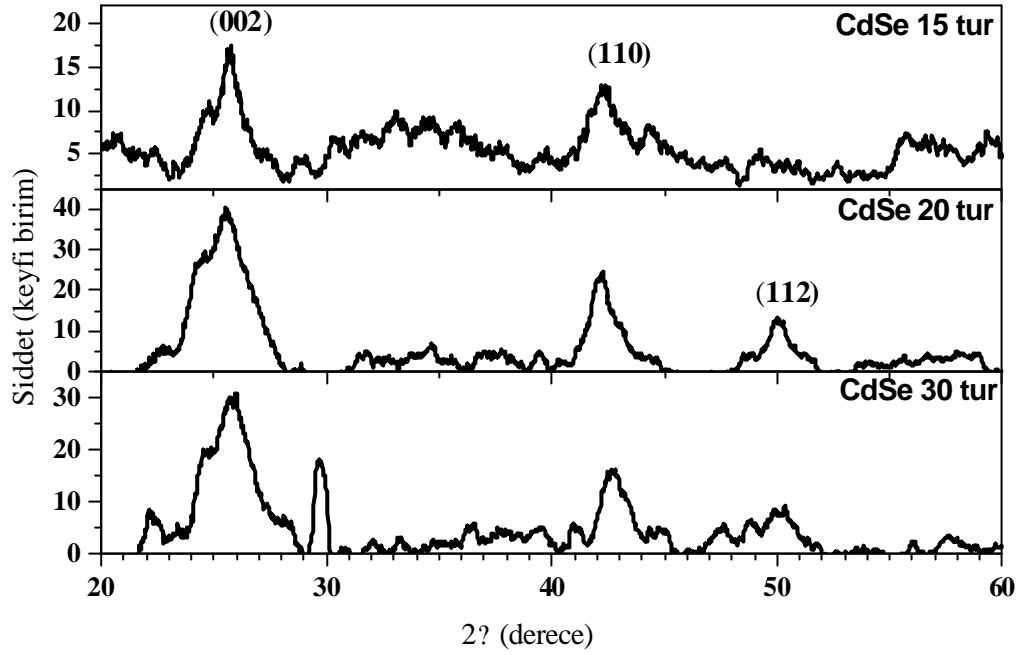
Sekil 4.42. CdSe ince filminin sicakliga bagli akim değisimleri



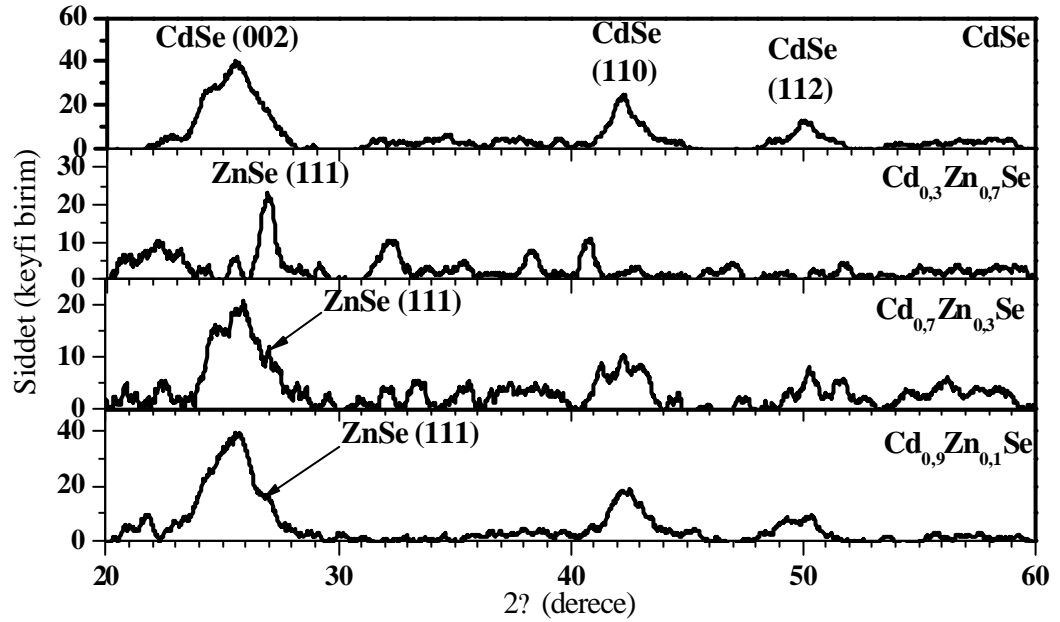
Sekil 4.43. ZnSe ince filminin sıcaklığa bağlı akım değişimleri

4.4. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ Yarıiletken Ince Filmlerin X-Isini Kirinimi

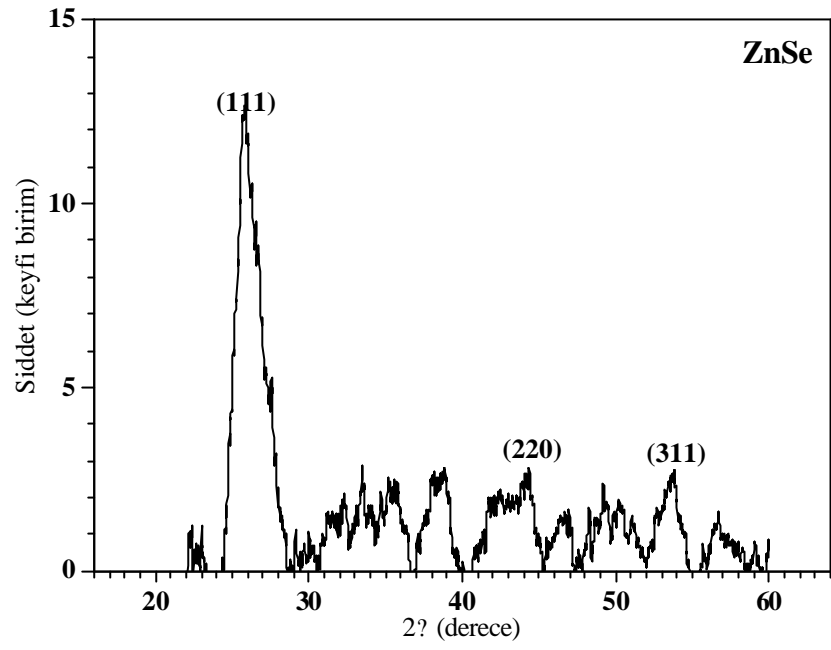
X-isini kirinimi, kati ve toz örneklerin yapılarındaki çeşitli kristal formlar veya fazlar hakkında bilgi veren analitik bir tekniktir. CdSe, ZnSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin x-isini kirinim analizi Rigaku D/Max-III C difraktometresi ile yapıldı. Ölçümler esnasında difraktometredeki bakır hedefe 35 kV'luk gerilim ve 30 mA'lik akım uygulanarak elde edilen CuK_{α} x-isinleri kullanıldı. Ölçümler oda sıcaklığında, 20 ile 60 derece arasında 0,02 derece adımlarla ölçülmüştür. Farklı tur sayılarında büyütülmüş CdSe ince filmlerinin x-isini kirinim analizleri Sekil 4.44'de gösterilmiştir.



Sekil 4.44. Farkli turlarda büyütilen CdSe ince filmlerinin x-isini kirinim verileri



Sekil 4.45. Cd_xZn_{1-x}Se ince filmlerinin x-isini kirinim verileri



Sekil 4.46. ZnSe ince filminin x-isini kirinim verileri

5. TARTISMA ve SONUÇ

Bu çalışmada teknolojide bir çok alanda kullanılabilen CdSe, ZnSe yariiletken ince filmleri ile bunların karışımları olan $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletken ince filmleri, bir yüzeyi bant kaplanmış, yaklaşık boyutları 1cmx1cm olan cam taban malzemeler üzerine oda sıcaklığında SILAR tekniği ile Çizelge 3.1-3.'de verilen parametreler kullanılarak büyütülmüştür. CdSe ince filmi için, SILAR döngüsünü 20, 25, 30 ve 35 kez ayrı ayrı tekrarlayarak farklı kalınlıkta CdSe yariiletken ince filmler elde edilmiştir. Çizelge 3.2'de film kalınlıkları SILAR döngüsüne bağlı olarak verilmiştir. SILAR döngüsünün artmasıyla buna paralel olarak film kalınlığının arttığı gözlenmiştir ve Valkonen *et al.* (1997), Kale *et al.* (2004), Pathtan *et al.* (2004) ve Laukaitis *et al.* (2000) tarafından bulunan sonuçlar ile uyusmaktadır.

Çizelge 5.1. CdSe ince filmlerinin kalınlık değerleri

| SILAR Döngü Sayısı | Kalınlık (nm) |
|--------------------|---------------|
| 20 | 510 ± 18 |
| 25 | 650 ± 22 |
| 30 | 812 ± 25 |
| 35 | 940 ± 23 |

Bunun dışında, SILAR döngü sayısı aynı olan fakat farklı karışım oranındaki $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletken filmlerinin kalınlık ölçümleri yapılmış ve kalınlığın, karışım oranına bağlı olarak belirgin bir şekilde değişmediği tespit edilmiştir.

Büyütülen CdSe, ZnSe ile bunların karışımları olan $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletken ince filmlerinin, yüzey morfolojisi SEM tekniği ile incelenmiştir. Bu filmlerin 5000 ve 10000 büyütme oranında SEM görüntüleri Şekil 4.1-10'da verilmiştir.

Sekil 4.1-2'de CdSe ince filminin 5 000 ve 10 000 kez büyütülmüş Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri verilmistir. Bu yüzey görüntülerinden yüzeyde boslukların olduğu gözlenmektedir. Bu da yüzeyin homojen olmayan bir dagilima sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca tanelerin birlesmesiyle yiginların olustugu da görülmektedir. Tane büyüklüklerinin yüzeyde dagilimi homojen olmamasından dolayı, ortalama nanometre mertebesinde bir büyüklüğe sahip olduğu söylenebilir. Sekil 4.3-4'de $Cd_{07}Zn_{03}Se$ ince filminde homojen dagilima sahip olan bölgeler gözlenmektedir. Yüzeyin homojen ve filmin daha iyi olusmasından dolayı, bosluk ve yiginların nispeten azaldığı görülmektedir. Tane büyüklüklerinin düzensiz yapıli ve ortalama olarak $0,4 \mu m$ olduğu söylenebilir. Sekil 4.7-8'de $Cd_{03}Zn_{07}Se$ ince filminde, $Cd_{07}Zn_{03}Se$ filmine göre tane büyüklüklerinin ($0,25 \mu m$) küçüldüğü gözlenmektedir. Taban malzeme üzerinde olusan filmin daha homojen ve düzgün bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Sekil 4-9-10'da $ZnSe$ filminin taban malzeme üzerinde oldukça homojen bir dagilima sahip olduğu söylenebilir. Yüzey bosluklardan tamamen arinmis durumdadir. Tane büyüklüğü de ortalama $0,15 \mu m$ bulunmustur.

Sogurma ölçümleri yardimiyla CdSe, ZnSe ile bunların karisimleri olan $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin, sogurma katsayisi ve yasak enerji araliginin sicaklıkla degisimleri incelenmistir. Sogurma ölçümlerinden, $a^2-h\nu$ grafikleri çizilerek bu grafiklerin lineer kısmi için çizilen dogrunun enerji eksenini kestigi noktadan yararlanılarak her sicaklikta, filmlerin yasak enerji araligi degerleri belirlenmistir (Sekil 4.14-25). Bulunan yasak enerji araligi degerleri degisik sicakliklar için çizelge 5.2'de verilmistir. Bu degerlere bakildiginda artan sicaklikla birlikte CdSe ve ZnSe ince filmlerinin yasak enerji araligi degerleri azalmaktadır. Artan sicaklikla örgü titresimlerinin artmasi, dolayisiyla kristal örgüsünün genislemesi, yasak enerji araliginda bir daralmaya sebep olmaktadır. Bulunan bu degerler CdSe ince filminde $1,885 eV$ 'tan $1,948 eV$ 'a, ZnSe ince filminde ise $2,695 eV$ 'tan $2,760 eV$ 'a kadar bir degisme göstermektedir. Bu degerler CdSe için, Pahtan *et al.* (2002) $1,7-2,0 eV$, Pejova *et al.* (2003) $1,85-1,9 eV$, Padiyan *et al.* (2002) $1,6-1,98 eV$, Kale *et al.* (2004) $1,7-2 eV$ degerleri ile uyusmaktadır. ZnSe ince filmi için, Venkata Subbaiah *et al.* (2005) $2,57-2,61 eV$, Kale

and Lokhande (2004) 1,8eV, Murali *et al.* (2005) 2,7 eV, Venkatachalam *et al.* (2005) 2,6-2,72 eV degerleri ile uyusmaktadır.

Çizelge 5.2. CdSe ve ZnSe ince filmlerinin sicaklik ile yasak enerji araliginin degisimi

| Numune Sicakligi(K) | Yasak Enerji Araligi (eV) | |
|---------------------|---------------------------|-------|
| | CdSe | ZnSe |
| 010 | 1,948 | 2,760 |
| 100 | 1,944 | 2,748 |
| 200 | 1,914 | 2,728 |
| 300 | 1,885 | 2,695 |

Farkli kalinlikta CdSe yariiletken ince filmlerinin oda sicakligindaki (300K) sogurma spektrumu ve a^2 'nin enerjiye bagli degisimi incelenmis (Sekil 4.27), bu grafikten, artan film kalinligina bagli olarak, filmlerin yasak enerji araliginin daraldigi gözlemlenmistir. Bulunan yasak enerji araligi degerleri Çizelge 5.3'de verilmistir. Bu azalmanin sebebi, söyle açıklanabilir. Büyüme islemi boyunca filmlerde bir takim yapisal kusurlar olusabilir ve olusan bu yapisal kusurlar, yasak bölgede iletkenlik bandi kenarinda izinli durumlarin (allowed states) olusmasına neden olabilir. Kalinligin artmasi bu izinli durumlar ile iletkenlik bandi arasindaki meydana gelen etkilesme sonucunda yasak enerji araligi degerinin azalmasına neden olabilir.

Çizelge 5.3. CdSe yariiletken ince filmlerinin yasak enerji araliginin oda sicakliginda kalinlikla degisimi

| Kalinlik | Yasak Enerji Araligi (eV) |
|----------|---------------------------|
| 510nm | 1,93 |
| 650nm | 1,91 |
| 812nm | 1,88 |
| 940nm | 1,86 |

araligina karsilik gelmektedir. 1,764 eV ta yerlesmis olan pikse CdSe ince filminin donor-akseptör çifti rekombinasyonuna atif edilmektedir ve pikin yayvan yapıya sahip olması, donor-akseptör çifti rekombinasyonu olduğunun kaniti Ramaiah *et al.* (2001) tarafından desteklenmektedir.

Sekil 4.31'de ZnSe ince filminin PL spektrumunda 2,640 eV'ta gözlenen emisyon yari pik genişliği (~130meV) dar olmasından dolayı eksitonik emisyonla karsilik gelmektedir. Bir çok II-VI malzemede, kirlilik konsantrasyonu arttikça yayvan bir emisyon piki, eksitonik emisyon piki ile kıyaslanabilir. Bu emisyon piki kendiliginden aktif olmus bant (self-activated band) olarak adlandırilir ve donor-akseptör çifti geçisine atfedilir Martinez-Canton *et al.* (2005). Bu anlamda ZnSe yariiletken ince filmde 2,284 eV enerjide oldukça yayvan bir karakteristikte gözlenen pikin donor-derin bir akseptör arasındaki geçisten kaynaklandığı söylenebilir.

CdSe yariiletken ince filmine Zn katkilandığında olusan $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletken ince film sisteminin PL spektrumunda genel olarak iki geçiş gözlenmektedir. Bu geçişlerde daha düşük enerji bölgesinde olan pikin Zn katkisinden kaynaklandığı ve bir donor-akseptör geçisine karsilik geldiği düşünölmektedir. CdSe ince filmde 1,764 eV enerjide gözlenen ve donor-akseptör çifti rekombinasyonu geçisinin, Zn katkisinden kaynaklanan geçisle birleserek yayvan bir pik olusturmustur. Zn miktarı arttikça bu pikin merkezi 1,764 eV enerjiden $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se$ filmde 1,857 eV'a kadar artmistr. Tüm $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletken filmlerinde yüksek enerji bölgesinde gözlenen (1,97 eV) pikin daha dar bir yapıya sahip olmasından dolayı eksitonik bir geçisten kaynaklandığını öne sürmekteyiz.

Sekil 4.37-41'de sirasiyla CdSe, ZnSe ve bunların karisimleri olan $Cd_xZn_{1-x}Se$ yariiletken filmlerinin sıcaklığa bağlı olarak öz direnç değisimleri gösterilmiştir. Her bir grafik için yüksek ve düşük sıcaklık bölgelerinde aktivasyon enerjileri hesaplanmış, genel olarak yüksek sıcaklık bölgesindeki aktivasyon enerjisinin düşük sıcaklık bölgesine göre daha büyük değerler aldığı belirlenmiştir. Elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri Çizelge 5.5'de verilmiştir. Grafiklerden, yariiletken karaktere uygun

olarak, öz direncin artan sıcaklıkla beraber azaldığı görülmüştür. Ayrıca öz direncin sıcaklıkla değişimi lineer değildir. Bu durum iki farklı nedene dayandırılabilir. SEM fotoğraflarından da görüleceği gibi filmlerin sürekli olmayan kümelerden meydana gelmiş olması bu lineer olmayan davranışın nedenlerinden bir tanesidir (Pathan *et al.* 2005). Bunun dışında grafiklerde mevcut olan plato bölgesinin akseptör tipi tuzakların iyonlaşmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Artan sıcaklığın etkisiyle ilk olarak iyonlaşan donör tipi tuzaklar iletkenlik bandındaki elektron sayısının ve dolayısıyla iletkenliğin artmasına neden olur (düşük sıcaklık bölgesi). Sıcaklık daha da artırıldığında iyonlaşan akseptör tipi tuzaklara valans bandından elektronların geçmesi belli bir aralıkta sıcaklığın artmasına rağmen iletkenliğin artmamasına dolayısıyla bir plato bölgesinin oluşmasına neden olur. Sıcaklık daha da yüksek değerlere çıkarıldığında artık tuzak seviyelerinin tamamı iyonlaşmıştır ve elektron geçişi sadece valans bandından iletkenlik bandına olur. Bu durumda da iletkenlik bandındaki elektron sayısı artar ve bu artış iletkenliğin artmasına sebep olur (yüksek sıcaklık bölgesi).

Çizelge 5.5. ZnSe ve bunların karışımları olan $Cd_xZn_{1-x}Se$ ince filmlerinin yüksek ve düşük sıcaklık bölgelerindeki aktivasyon enerjileri

| Film | Aktivasyon Enerjisi (eV) | |
|--------------------|--|---------------------------------------|
| | Yüksek sıcaklık bölgesi (400-500 K) | Düşük sıcaklık bölgesi (300-400 K) |
| CdSe | 0,39 | 0,29 |
| ZnSe | 0,49 | 0,284 |
| $Cd_{03}Zn_{07}Se$ | 0,45 | 0,088 |
| $Cd_{05}Zn_{05}Se$ | 0,46 | 0,56 |
| $Cd_{07}Zn_{03}Se$ | 0,43 | 0,48 |

Şekil 4.42-43'de CdSe ve ZnSe ince filmlerinin tavlama ve 500K'de tavlama, hallerinin akım-sıcaklık grafikleri verilmiştir. Grafiklerden tavlama sonucu akımda artış tespit edilmiş bu da tavlama sonucu öz direncin düştüğünü göstermektedir. CdSe ince

filminin tavlama sonucunda kristal boyutu arttigindan özdirenç degeri azalmaktadır (Kale and Lokhande 2004a).

Sekil 4.44'te verilen 15, 20 ve 30 döngü sayısı için büyütülen CdSe ince filmlerinin benzer yapısal özellik gösterdikleri gözlenmektedir. Çizelge 5.6'de elde edilen piklerin 2θ açıları ve yarı pik yüksekliklerinin genişliği verilmiştir. Her üç filmde polikristal yapıya sahip olduğu ve (002) tercihli yönelimine sahip olduğu söylenebilir. Padiyan *et al.* 2002 yaptıkları çalışmada, (002) pikinin $25,5^\circ$ civarında gözlemlenmiş ve farklı taban sıcaklıklarında bu pikin açısı değerlerinde kayma gözlemlenmiştir. Kale and Lokhande 2000'de benzer olarak (002) pikini $25,4^\circ$ 'de gözlemlenmiştir. Çalışmamızda gözlenen (002) piki farklı döngü sayıları için yansıma açısından farklılıklar gözlenmektedir. Bu farkın döngü sayısının değişmesinden ve dolayısıyla kalınlığının artmasıyla oluşan yapısal değişiklikten kaynaklandığı söylenebilir. CdSe ince filmlerinde (002) pikinin yanında (110) ve (112) pikleri de baskın bir şekilde gözlenmektedir. (110) ve (112) pikleri için gözlemlenen açısı değerleri literatürle uyum göstermektedir (Swaminathan and Murali 2000; Padiyan *et al.* 2002). 15 döngü sonucunda büyütülen filmde, (112) kristal yönelimi belirgin bir şekilde gözlenmemektedir ve döngü sayısı arttıkça bu pik belirginleşmektedir. CdSe hem kübik yapıda hem de wurtzite kristal yapısında büyümektedir. Atomik konfigürasyondaki değişim bu kristal yapılar arasında geçişe sebep olabilmektedir. Tavlama ve büyük alanlı büyütme işlemleri kübik yapıdan wurtzite kristal yapısına geçiş ile sonuçlanır (Kale and Lokhande 2004b) ve büyütülen CdSe filmleri bu bilgiler ışığında wurtzite kristal yapıda büyümüştür.

Çizelge 5.6. CdSe polikristal filmleri için elde edilen piklerin 2θ açısı değerleri ve baskın pik için yarı yükseklik pik genişliği

| Kirinim Pikleri | 15 tur | 20 tur | 30 tur |
|--|---------------|---------------|---------------|
| (002) Açısı ? | 25,74 | 25,54 | 25,87 |
| (110) Açısı ? | 42,32 | 42,26 | 42,68 |
| (112) Açısı ? | - | 49,98 | 50,1 |
| Yarı Yükseklik Pik Genişliği (002) piki için (derece) | 1,8905 | 2,222 | 2,410 |
| Kristal Büyüklüğü (Å) | 2,56 | 2,17 | 2,01 |

İnce filmlerin kristal büyüklükleri aşağıda verilen Scherrer formülü kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$D = \frac{K\lambda}{\Delta 2\theta \cos\theta} \quad (5.1)$$

Burada D , kristal büyüklüğü; λ , kullanılan x-isini kaynağının dalga boyu; $\Delta 2\theta$, siddetin yarı yüksekliğinin açısal genişliğini; θ , Bragg kirinim açısı ve K , CdSe ile ilgili bir sabittir ve sabitin değeri 0,9'dur (Kale and Lokhande 2004). Kristal büyüklükleri doğrudan kristalin kalitesi hakkında bilgi verir ve XRD ile elde edilen kirinim pikinin yarı yükseklik pik genişliği ile ters orantılıdır. Kirinim pikinin oldukça dar olması kristal büyüklüğünün büyük olmasını sağlayacaktır ve bu durumda kristalin kaliteli bir yapıya sahip olduğunu gösterecektir. Scherrer formülü yardımıyla hesaplanan kristal büyüklükleri Çizelge 5.6'da verilmistir ve döngü sayısı arttıkça kristal büyüklüğü azalmaktadır. Kristal büyüklüklerinin oldukça küçük olduğu gözükmektedir ve bu sonuç filmlerin tüm yüzeye homojen olarak yayılmasını negatif yönde etkilemektedir (Kale and Lokhande 2005a; Hammond 2001).

Sekil 4.45'de CdSe ve $Cd_xZn_{1-x}Se$ yarıiletken ince filmlerinin x-isini kirinim verileri gösterilmektedir. Bu ince filmlerde, genel olarak CdSe (002), (110) ve (112)

düzlemlerinin baskın olduğu söylenebilir. Bununla birlikte Zn katkılanmasıyla ZnSe filmine ait (111) piki CdSe piki ile birleşmiş şekilde gözükmemektedir (Subbaiah *et al.* 2005). Bunun yanında birçok küçük siddete sahip pik Zn katkı miktarı arttıkça ortaya çıkmakta ve büyük bir ihtimalle filmin ZnSe filmine yapısal olarak dönüşme eğilimi göstermektedir.

Sekil 4.46 ZnSe filminin x -isini kırınım verilerini göstermektedir. ZnSe filmi büyütme metodlarından bağımsız olarak genellikle (111) doğrultusunda büyümektedir (Jeyakumar *et al.* 1999; Venkatachalam *et al.* 2005). Elde ettiğimiz ZnSe filmi de literatüre uygun bir şekilde (111) tercihli yönelime sahiptir. Bunun yanında tanımladığımız (220), (311) pikleri dışında ki piklerde ZnSe filminin polikristal yapısını göstermektedir.

SEM görüntülerinden, CdSe'den ZnSe'e gidildikçe yapıda düzensizliklerin azaldığı, filmin tüm yüzeye homojen bir şekilde büyüdüğü tespit edilmiştir. XRD ölçümleri neticesinde CdSe (002), ZnSe (111) tercihli yönelimleri dışında gözlenen pikler, filmlerin polikristal yapısını göstermektedir. Sogurma ölçümleri neticesinde, artan sıcaklıkla, kalınlıkla yasak enerji aralığının daraldığı tespit edilmiştir. $Cd_xZn_{1-x}Se$ filmlerinde Zn katkısı arttıkça yasak enerji aralığını arttırdığı tespit edilmiştir. PL ölçümleri neticesinde bulunan yasak enerji aralıkları ile sogurma ölçümleri neticesinde bulunanlar birbirlerini desteklemektedir. Özdirenç ölçümleri neticesinde sıcaklıkla öz direncin azaldığı tespit edilmiş bu da bize büyütülen filmlerin yarıiletken özelliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Elde edilen veriler ışığında, yarıiletken ince filmler yüksek kalitede, homojen ve daha ucuz olarak SILAR tekniği ile büyütülmüş olup, bu sonuçlar literatürle de uyum içerisindedir. Bu çalışmanın devamında büyütme sistemi bilgisayar kontrollü hale getirilerek filmler bu sistemle üretilmeye çalışılacaktır.

KAYNAKLAR

- Akira, O., Noriyoshi, S., Sakae, Z., 1988. Nitrogen doped p-type ZnSe layer grown by metalorganic vapor phase epitaxy. *Appl. Phys.* vol. 27, 909-912.
- Alfano, R.R., Wang, Q.Z., Jimbo, T., Ho, P.P., Bhargava, R.N., Fitzpatrick, B.J., 1987. Induced spectral broadening about a second harmonic generated by an intense primary ultrashort laser pulse in ZnSe crystals. *Physical Review A* Volume 35, Issue 1, Pages 459-462.
- Allakhverdiev, K.R., Mammadov, T.G., Suleymanov, R.A., Gasanov, N.Z., 1985. Deformation effects in electronic spectra of the layered semiconductors $TlGaS_2$, $TlGaSe_2$ and $TlInS_2$. *Journal of Phys.* 15, 1291-1298.
- Antohe, S., Ion, L., Ruxandra, V., 2001. Electrical properties of electron irradiated thin polycrystalline CdSe layers. *Journal of Appl. Phys.* Vol. 90, number 12.
- Astam, A., 2006. InSe ince filmlerin silar yöntemiyle büyütülmesi ve karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bedir, M., Öztas, M., Bakkaloglu, Ö.F., Ormanci, R., 2005. Investigations on structural, optical and electrical parameters of spray deposited ZnSe thin films with different substrate temperature. *Eur. Phys. J. B* 45, 465-471.
- Blakemore, J.S., 1989. *Solid State Physics* 2 edition, Cambridge University, United Kingdom
- Borkovska, L., Beyer, R., Gudymenko, O., Kladko, V., Korsunskaya, N., Kryshchak, T., Sadofyev, Yu., Venger Ye., Weber J., 2005. Study of strain relaxation in CdSe/ZnSe nanostructures. *Journal of Crystal Growth* 275, pages 2281-2287.
- Bouroushian, M., Kosanovic, T., Spyrellis, N., 2005. Oriented [111] ZnSe electrodeposits grown on polycrystalline CdSe substrates. *Journal of Crystal Growth* 277, 335-344.
- Chao, L.L., Cargil, G.S., Snoeks, E., Marshall T, Petruzzello, J., Pashley, M., 1999. Diffusion lengths of excited carriers in $Cd_xZn_{1-x}Se$ quantum wells. *Appl. Phys. Lett.* 74, 741.
- Chaparro, A.M., Martinez, M.A., Guillen, C., Bayon, R., Gutierrez, M.T., Herrero, J., 2000. SnO_2 substrate effects on the morphology and composition of chemical bath deposited ZnSe thin films. *Thin Solid Films* 177-182.
- Chaparro, A.M., Gutierrez, M.T., Herrero, J., 2001. Quartz-crystal microbalance study of the growth of Zn(Se, O) thin films in a chemical bath. A sequential electroless-chemical process. *Electrochimica Acta* 47, 977-986.
- Chopra, K.L., 1983. *Thin film solar cells*. Springer; 1 edition, 624 p, New York, USA.
- Dridi, Z., Bouhafs, B., Ruterana, P., 2002. Pressure dependence of energy band gaps for $Al_xGa_{1-x}N$, $In_xGa_{1-x}N$ and $In_xAl_{1-x}N$. *New Journal of Physics* 4.1-94.15.
- Ennaoui, A., Siebentritt, S., Lux-Steiner, M.C., Riedl, W., Karg, F., 2001. High-efficiency Cd-free CIGSS thin-film solar cells with solution grown zinc compound buffer layers. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 67, 31-40.
- Erdogan, Z., 1991. Yarıiletken ZnSe ince filmlerin optik ve iletkenlik özellikleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Erel, S., 1996. He-Cd laser kaynagi kullanarak II-IV bileşenlerinden bulk ve koloidal haldeki bazı yarıiletken malzemelerin farklı sıcaklıklardaki fotoluminesans

- yayininin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya.
- Gezci, S., 1992. Katihal Fizigi, ITÜ Yayinlari.
- Hammond, C., 2001. The basic of crystallograpy and diffraction. Oxford University Press, 117 p, England.
- Jeyakumar, R., Lakshmikumar, S.T., Rastogi, A.C., 1999. Parametric investigation for the optimization of ZnSe film formation by low-pressure Se vapour selenization process. Vacuum, volume 55, Issue 1, Pages 71-78.
- Kale, S.S., and Lokhande, C.D., 2000. Thickness-dependent properties of chemically deposited CdSe thin films. Materials Chemistry and Physics, Volume 62, Issue 2, Pages 103-108.
- Kale, R.B., and Lokhande, C.D., 2004a. Influnce of air annealing on the structural, optical and electrical properties of chemically deposited CdSe nano-crystallites. Applied Surface Science, 223, 343-351.
- Kale, R.B., and Lokhande, C.D., 2004b. Room temperature deposition of ZnSe thin films by successive ionic layer adsorption and reaction(SILAR) method. Mater. Res. Bull., 39, 1829-1839.
- Kale, R.B., Sartale, S.D., Chougule, B.K., Lokhande, C.D., 2004. Growth and characterization of nanocrystalline CdSe thin films deposited by successive ionic layer adsorption and reaction method. Semicond. Sci. Tech. 19, 980-986.
- Kale, R.B., and Lokhande, C.D., 2005a. Systematic study on structural phase behavior of CdSe thin films. J. Phys. Chem, B, 109, 20288-20294.
- Kale, R.B., and Lokhande, C.D., 2005b. Influence of air annealing on the structural, morphological, optical and electrical properties of chemically deposited ZnSe thin films. Applied Surface Science 252, 929-938.
- Kale, R.B., Lokhande, C.D., Mane, R.S., Han S., 2006. Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se wide range composite thin films for solar cell buffer layer application. Applied Surface Science (article in press).
- Kanniainen, T., Lindroos, S., Prahaska, T., Friedbacher, G., Leskela, M., Grosserbauer, M., and Niinistö, L., 1995. Growth of ZnS thin films with Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction method as studied by atomic force microscopy, J.Mater. Chem., 5, 985.
- Kanniainen, T., 2001. Studies of Zinc and Lead Chalcogenide Thin Films Grown by SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) Techniqu; Helsinki.
- Kim, T.W., Yoo, K.H., Kim, G.H., Lee, S., Furdyna, J.K., Dobrowolska, M., 2005. Transition behavior from uncoupled to coupled multiple stacked CdSe/ZnSe self-assembled quantum-dot arrays. Solid State Communication, 133, 191-195.
- Laukaitis. G., Lindroos, S., Tamulevicius, S., Leskela, M., Rackaitis, M., 2000. Stress and morphological development of CdS and ZnS thin films during the SILAR growth on (1 0 0)GaAs. Appl. Surf. Sci., 161, 396-405.
- Li, J.J., Wang, Y.A., Guo, W., Keay, J.C., Mishima, T.D., Johnson, M.B., Peng, X., 2003. Large-scale synthesis of nearly monodisperse CdSe/CdS core/shell nanocrystals using air-stable reagents via successive ion layer adsorption and reaction. J. Am. Chem Soc. 125(41):12567-75.
- Lindroos, S., Kanniainen, T., Leskeliia, M., Rauhala, E., 1995. Deposition of manganese-doped zinc sulfide thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method . Thin Solid Films 263, 79-84.

- Lindroos, S., Kanninen, T., Leskeliia, M., 1997. Growth of zinc sulfide thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction(SILAR) method on polyester substrates. *Materials Research Bulletin*. Vol. 32, No. 12, pp. 1631-1636.
- Lindroos, S., Arnold, A., Leskeliia, M., 2000. Growth of CuS thin films by the successive ionic layer adsorption and reaction method. *Applied Surface Science* 158, 78-80.
- Lokhande, C.D., Pahtan, H.M., Sankapal, B.R., Desai, J.D., 2002. Preparation and characterization of nanocrystalline CdSe thin films deposited by SILAR method. *Materials Chemistry and Physics* 78, 11-14.
- Mane, R.S., Sankapal, B.R., Lokhande, C.D., 1999. Photoelectrochemical cells based on chemically deposited nanocrystalline Bi₂S₃ thin films. *Materials Chemistry and Physics* 60, 196-203.
- Martínez-Cantón, A.E., García-Rocha, M., Hernández-Calderón, I., Ortega-Martínez, R., 2005. Thermal quenching of the self-activated band of ZnSe:Cl thin films grown by molecular beam epitaxy. *Microelectronics Journal*, Volume 36, Issues 3-6, Pages 527-530.
- Morkoç, H., Strite, S., Gao, G.B., Lin, M. E., Sverdlov, B., and Burns, M., 1994. Large-band-gap SiC, III-V nitride and II-VI ZnSe-based semiconductor device Technologies. *Journal of Applied Physics*, 76(3):1363-1398.
- Murali, K.R., Austine, A., Trivedi, D.C., 2005. Properties of ZnSe films brush plated on high temperature substrates. *Materials Letters* 59 2621 – 2624.
- Nicolau, Y.F., 1985. Solution deposition of thin solid compound films by a successive ionic-layer adsorption and reaction process. *Applied Surface Science*, Volumes 22-23, Part 2 , May 1985, Pages 1061-1074.
- Nicolau, Y.F., and Menard J.C., 1988. Solution growth of ZnS, CdS and Zn_{1-x}Cd_xS thin films by the successive ionic-layer adsorption and reaction process; growth mechanism. *Journal of crystal growth*, volume 92, Issues 1-2.
- Padiyan, D.P., Marikani, A., Murali, K.R., 2002. Influence of thickness and substrate temperature on electrical and photoelectrical properties of vacuum-deposited CdSe thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 78 51–58.
- Pathan, H.M., Sankapal, B.R., Desai, J.D., Lokhande, C.D., 2003. Preparation and characterization of nanocrystalline CdSe thin films deposited by SILAR method. *Materials Chemistry and Physics* 78 11–14.
- Pathan, H.M., and Lokhande, C.D., 2004. Deposition of metal chalcogenide thin films by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 27, No. 2, pp. 85–111.
- Pathan, H.M., Kulkarni, S.S., Mane, R.S., Lokande C.D., 2005. Preparation and characterization of indium selenide thin films from a chemical route. *Materials Chemistry and Physics*, 93, 16-20.
- Pawar, S.M., Mohalkor, A.V., Rajpure, K.Y., Bhosale, C.H., 2006. Electrosynthesis and characterization of CdSe thin films: Optimization of preparative parameters by photoelectrochemical technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 67, 2386-2391.
- Pejova, B., Tanusevski, A., Grozdanov, I., 2003. Investigation of photoelectrical properties and relaxation dynamics in photoexcited CdSe nanocrystals in thin films. *Journal of Solid State Chemistry* 174, 276 –284.

- Perna, G., Capozzi, V., Ambrico, M., Augelli, V., Ligonzo, T., Minafra, A., Schiavulli, L., Pallara, M., 2004. Structural and optical characterization of Zn doped CdSe films. *Applied Surface Science*, 233, 366-372.
- Ramaiah, K.S., Su, Y.K., Chang, S.J., Juang, F.S., Ohdaira, K., Shiraki, Y., Liu, H.P., Chen, I.G., Bhatnagar, A.K., 2001. Characterization of Cu doped CdSe thin films grown by vacuum evaporation. *Journal of Crystal Growth*, Volume 224, Issues 1-2, pages 74-82.
- Rusu, G.I., Popa, M.E., Rusu, G.G., Salaoru, I., 2003. On the electronic transport properties of polycrystalline ZnSe films. *Applied Surface Science* 218, 222-230.
- Schreder, B., Kümmel, T., Bacher, G., Forchel, A., Landwehr, G., Materny, A., Kiefer W., 2000. Resonance Raman Spectroscopy and Excitation Profile of $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Se}/\text{ZnSe}$ Quantum Wires. *Journal of crystal growth*, pages 792-796.
- Seeger, K., 1982. *Semiconductor Physics*, 2.edition Berlin.
- Semenova, G.N., Venger, Ye.F., Valakh, M.Ya., Sadofyev, Yu.G., Korsunka, N.O., Strelchuk, V.V., Borkovska, L.V., Papusha, V.P., Vuychik, M.V., 2002. Optical investigations of the influence of point defects on quantum dots in CdSe/ZnSe heterostructures. *J. Phys. Condens. Matter* 14, 13375-13380.
- Singh, J., 1993. *Electronic Structure and Properties of Solids*, McGraw-Hill.
- Stradling, R.A., and Klipstein, P.C., 1990. *Growth and characterization of semiconductors*. IOP Publishing Ltd.
- Swaminathan, V., Murali, K.R., 2000. Characteristics of CdSe films electrodeposited with microprocessor based pulse plating unit. *Thin Solid Films*, Volume 359, Issue 1, pages 113-117.
- Valkonen, M.P., Lindroos, S., Kannianen, T., Leskelä, M., Tapper, U., Kauppinen, E., 1997. Thin multilayer CdS/ZnS films grown by SILAR technique. *Applied Surface Science*, Volume 120, Issues 1-2, pages 58-64.
- Valkonen, M.P., Kannianen, T., Lindroos, S., Leskela, M., Rauhala, E., 1997. Growth of ZnS, CdS and multilayer ZnS /CdS thin films by SILAR technique. *Appl. Surf. Sci.*, 115, 386-392.
- Velumani, S., Mathew, X., Sebastian, P.J., Narayandass, S.K., Mangalaraj, D., 2003. Structural and optical properties of hot wall deposited CdSe thin films. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 76, 347-358.
- Venger, E.F., Korsunskaya, N.O., Semenova, G.N., Klad'ko, V.P., Mazin, M.O., Borkovska, L.V., Kushnirenko, V.I., Sadofyev, Yu.G., Kryshab, T.G., Vidal, M.A., Vargas I.P., 2004. Effect of structural imperfections on luminescence of ZnCdSe/ZnSe quantum wells. *Journal of Alloys and Compounds*, 371, pages 202-205.
- Venkatachalam, S., Mangalaraj, D., Narayandass, S.K., Kim, K., Yi, J., 2005. Structure, optical and electrical properties of ZnSe thin films. *Physica B: Condensed Matter*, Volume 358, Issues 1-4, pages 27-35.
- Venkata Subbaiah, Y.P., Prathap, P., Devika, M., Ramakrishna Reddy, K.T., 2005. Close-spaced evaporated ZnSe films: Preparation and characterization. *Physica B: Condensed Matter*, Volume 365, Issues 1-4, pages 240-246.
- Ves, S., 1989. Effects of hydrostatic pressure on the fundamental absorption edge of TlGaSe_2 . *Physical Review B*, volume 40, number 11.

ÖZGEÇMİS

1972 yılında Artvin-Savsat'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Rize-Findikli'da tamamladı. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı ve aynı bölümden 1994 yılında mezun oldu. 1995 yılında Erzincan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüksek lisansını K.T.Ü. Elektrik-Elektronik bölümünde 2001 yılında tamamladı. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde doktora başladı. Evli ve üç çocuk babasıdır.

