

CdS Yarıiletken Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri

Emine Alsat

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Fizik Anabilim Dalı

Ağustos 2019

Some Physical Properties of CdS Semiconductor Films

Emine Alsat

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Physics

August 2019

CdS Yarıiletken Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri

Emine Alsat

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Fizik Anabilim Dalı  
Katıhal Fiziği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker

Ağustos 2019

## ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Emine Alsat'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “CdS Yarıiletken Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker

**Üye** : Doç. Dr. Salih Köse

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Özkan

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN  
Enstitü Müdürü



## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Derya Peker danışmanlığında hazırlamış olduğum “CdS Yarıiletken Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.16/08/2019

Emine Alsat

İmza

## ÖZET

Bu çalışmada, CdS yarıiletken filmlerini, kimyasal püskürtme yöntemini kullanarak  $325\pm 5$  °C taban sıcaklığında oluşturulmuştur. Oluşan CdS ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Çözeltiyi hazırlamak için gerekli miktarlarda kadmiyum klorür, tiyoüre ve deiyonize su kullanılmıştır. Hazırlanan çözelti  $\sim 15$  ml/dk<sup>-1</sup> hızla, 15 dk boyunca camların üzerine püskürtülmüştür. Oluşan ince filmler 250 °C, 300 °C ve 350 °C' de hava ortamında tavlansmıştır.

Elde edilen filmlerin yasak enerji aralıkları optik metot ile belirlenmiştir. Filmlerin yasak enerji aralıkları 2,42-2,44 eV aralığında değişim göstermiştir. X-Işınları kırınım cihazı kullanılarak filmlerin kristal yapı analizleri, SEM ile yüzey durumları ve EDX ile kimyasal analizleri incelenmiştir. CdS filminin tercihli yönelimi  $2\theta \cong 30^\circ$  de gözlenen (002) yönünde olduğu görülmektedir. Kırınım deseninde görülen piklerin hegzagonal yapıdaki CdS' ye ait olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, elde edilen CdS ince filmlerin fiziksel ve yapısal özelliklerinde bazı değişimler meydana geldiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** CdS, İnce Film, Kimyasal Püskürtme, Yarıiletken Film, Yasak Enerji Aralığı, X-Işını Kırınımı.

## SUMMARY

In this study, CdS films were formed at the base temperature of  $325\pm 5$  °C using chemical spraying method. Some physical properties of CdS thin films were investigated.

The required amounts of cadmium chloride, thiourea and deionized water were used to prepare the solution. The prepared solution was sprayed on the glasses for 15 minutes at a rate of  $\sim 15$  ml/min<sup>-1</sup>. The resulting thin films were annealed in air at 250 °C, 300 °C and 350 °C.

Forbidden energy ranges of the obtained films were determined by optical method. The forbidden energy ranges of the films varied between 2,42-2,44 eV. By using X-ray diffraction device, the crystal structure analysis of the films, surface conditions with SEM and chemical analysis with EDX were examined. The preferred orientation of the CdS film is seen the direction (002) observed at  $2\theta \cong 30^\circ$ . The peaks in the diffraction pattern belong to the hexagonal structure CdS.

As a result, it was observed that changes in some physical properties of the obtained CdS thin films were occurred.

**Keywords:** CdS, Thin Film, Chemical Spraying, Semiconductor Film, Forbidden Energy Range, X-Ray Diffraction.

## TEŞEKKÜR

Çalışma yaptığım süre boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini aktarmada elinden geleni yapan, tez yazımında en büyük paya sahip, öğrencisi olmaktan gurur ve onur duyduğum Dr. Öğr. Üyesi Derya PEKER' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana laboratuvarlarını açan, yardım ve desteklerini esirgemeyen, gösterdikleri ilgi, yardım ve hoşgörü için Dr. Öğr. Üyesi Salih KÖSE' ye, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZKAN' a ve Dr. Öğr. Üyesi Sema KURTARAN' a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen, her konuda destek olan dostlarım Duygu DURMAZ ve Veysel ATAŞ' a yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Gülen gözleri ile bana en çok destek olan ve anneleri olmaktan gurur duyduğum, en kıymetlilerim Yunus ALSAT ve Sümeyye ALSAT' a gösterdikleri sabır ve anlayış için çok teşekkür ederim. İyi ki hayatımdasınız.

Çalışma sürecim boyunca her zaman yanımda duran, maddi manevi her konuda destek olan, bana güç veren canım eşim Cem ALSAT' a gösterdiği sabır, anlayış ve yardım için teşekkürlerimi sunarım.

Annelerim ve Babalarım tez sürecim boyunca benden hiçbir yardımı esirgemediğiniz ve beni ayakta tutmak için elinizden geleni yaptığınız için sonsuz teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan sevgili kardeşlerim iyi ki varsınız. Hayatta her zaman dik durmayı öğreten değerli babam ve her durumda koşulsuz destekleyen canım annem emeğiniz çok büyük, teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiv
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	2
<b>3. TEORİK BİLGİ</b> .....	6
3.1. Giriş .....	6
3.2. Yarıiletkenler .....	6
3.3. Yarıiletken Türleri .....	8
3.4. Has Yarıiletkenler .....	9
3.5. Katkılı Yarıiletkenler .....	9
3.5.1. n-tipi yarıiletkenler .....	10
3.5.2. p-tipi yarıiletkenler .....	11
3.6. CdS Yarıiletken Bileşiğinin Özellikleri .....	12
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	14
4.1. Giriş .....	14
4.2. Kimyasal Püskürtme Yöntemi .....	14
4.3. Deneysel İşlem .....	16
4.3.1. Çözeltilerin hazırlanması .....	16
4.3.2. CdS ince filmlerinin elde edilmesi .....	16
4.3.3. CdS ince filmlerinin kalınlıkların belirlenmesi .....	18
4.4. Yapısal Özellikler .....	19
4.4.1. X-ışını difraksiyonu .....	20
4.5. Optik Özellikler .....	22
4.5.1. Temel absorpsiyon .....	22
4.5.2. Direkt ve indirekt geçişler .....	23

**İÇİNDEKİLER (devam)****Sayfa**

4.5.3. Optik mod ile yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesi .....	25
4.6. Yüzey Fotoğrafları .....	25
4.6.1. Enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi.....	26
4.7. Elektriksel Özellikler .....	27
4.7.1. Giriş .....	27
4.7.2. CdS filmlerinin öz direnç değerleri .....	28
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>30</b>
5.1. CdS Filmlerinin X-Işını Kırınım Desenleri .....	30
5.2. CdS Filmlerinin Temel Absorpsiyon Spektrumları .....	35
5.3. CdS Filmlerinin SEM Görüntüleri ve EDX Spektrumları.....	40
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>54</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. (a) İletken, (b) yarıiletken ve (c) yalıtkanın enerji bant yapısı .....	7
3.2. n-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı .....	11
3.3. p-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı .....	12
4.1. Spray yönteminde püskürtülen çözelti damlacıklarının aerodinamiği .....	15
4.2. Spray yönteminde kullanılan deney setinin fotoğrafı.....	17
4.3. Elkometre cihazının fotoğrafı.....	18
4.4. Bir kristaldeki x-ışını kırınımı .....	21
4.5. Yarıiletkenlerde temel absorbandsın, dalgaboyuna göre değişimi.....	22
4.6. Bir yarıiletkende direkt bant geçişi.....	23
4.7. Bir yarıiletkende indirekt (dolaylı) bant geçişi.....	24
4.8. Atom ağırlığı elektron demeti hacimsel etkileşim şematik gösterimi .....	26
4.9. Lucas Lab marka dört uç metodlu ölçüm cihazının fotoğrafı .....	28
4.10. Dört uç metodu şematik diyagramı .....	29
5.1. Pnalytical EMPYREAN marka XRD cihazının fotoğrafı .....	30
5.2. Tavlanmamış CdS filminin x-ışını kırınım deseni .....	32
5.3. 250 °C' de tavlanan CdS filminin x-ışını kırınım deseni .....	32
5.4. 300 °C' de tavlanan CdS filminin x-ışını kırınım deseni .....	33
5.5. 350 °C' de tavlanan CdS filminin x-ışını kırınım deseni .....	33
5.6. Tavlanmamış CdS filminin (a) absorbands ve (b) $(\alpha h\nu)^2$ - $h\nu$ grafiği.....	36
5.7. 250 °C' de tavlanan CdS filminin (a) absorbands ve (b) $(\alpha h\nu)^2$ - $h\nu$ grafiği.....	37
5.8. 300 °C' de tavlanan CdS filminin (a) absorbands ve (b) $(\alpha h\nu)^2$ - $h\nu$ grafiği.....	38
5.9. 350 °C' de tavlanan CdS filminin (a) absorbands ve (b) $(\alpha h\nu)^2$ - $h\nu$ grafiği.....	39
5.10. Hitachi Regulus 8230 Emisyon taramalı elektron mikroskopunun fotoğrafı.....	40
5.11. Tavlanmamış CdS filmlerinin 2.00x, 10.00x ve 25.00x için SEM görüntüleri.....	42
5.12. Tavlanmamış CdS filmlerin 25.00x ve 250.00x için SEM görüntüleri.....	43
5.13. 250 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 2.00x, 10.00x ve 25.00x için SEM görüntüleri	44
5.14. 250 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 25.00x ve 250.00x için SEM görüntüler.....	45
5.15. 300 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 2.00x, 10.00x ve 25.00x için SEM görüntüleri	46
5.16. 300 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 25.00x ve 250.00x için SEM görüntüleri.....	47

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.17. 350 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 2.00x ve 10.00x için SEM görüntüleri.....	48
5.18. 350 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 25.00x ve 250.00x için SEM görüntüleri.....	49
5.19. Tavlınmamış CdS filminin EDX spektrumu .....	50
5.20. 250 °C' de tavlanan CdS filminin EDX spektrumu.....	50
5.21. 300 °C' de tavlanan CdS filminin EDX spektrumu.....	51
5.22. 350 °C' de tavlanan CdS filminin EDX spektrumu.....	51



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. CdS ince filmlerinin ölçülen kalınlık değeri.....	19
4.2. CdS ince filmlerinin ölçülen öz direnç değeri.....	29
5.1. CdS ince filmlerinin tane boyutu (D) değerleri.....	34
5.2. CdS ince filmlerinin EDX spektrumuna göre Cd ve S oranları .....	41

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
eV	Elektron Volt
$\lambda$	Dalgaboyu
K	Kelvin
Nm	Nanometre
M	Molar
$\sigma$	Elektriksel iletkenlik
$\rho$	Özdirenç
$E_f$	Fermi enerji seviyesi
$E_a$	Akseptör enerji seviyesi
$E_c$	İletim bandının minimum enerji değeri
$E_d$	Donör enerji seviyesi
$E_e$	Elektronun enerjisi
$E_g$	Yasak enerji aralığı
$E_v$	Valans bandının maksimum enerji değeri
$n_i$	Has yarıiletkenin taşıyıcı yoğunluğu
$n_n$	n-tipi yarıiletkenin iletim bandındaki elektron yoğunluğu
$n_p$	p-tipi yarıiletkenin iletim bandındaki elektron yoğunluğu
$\theta_B$	Bragg açısı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
Å	Angström
A	Absorpsiyon
E	Enerji
T	Mutlak sıcaklık
a, b, c	Örgü sabitleri
d	Kristal düzlemleri arasındaki mesafe
e	Elektronun yükünün büyüklüğü

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<b>n</b>	İletim bandındaki serbest elektron konsantrasyonu
<b>p</b>	Valans bandındaki hol konsantrasyonu
<b><math>\alpha</math></b>	Lineer absorpsiyon katsayısı
<b>k</b>	Sönüm katsayısı
<b>meV</b>	Milielektronvolt
<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<b>CdS</b>	Kadmiyum Sülfür
<b>CdTe</b>	Kadmiyum Tellür
<b>Cd</b>	Kadmiyum
<b>S</b>	Sülfür
<b>CdCl<sub>2</sub></b>	Kadmiyum Klorür
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amonyum
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amonyak
<b>ZnO</b>	Çinko Oksit
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Ge</b>	Germanyum
<b>Ar</b>	Arsenik
<b>Ga</b>	Galyum
<b>B</b>	Bor
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrojen
<b>SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub></b>	Tiyoüre
<b>NH<sub>4</sub>OH</b>	AmonyumHidroksit
<b>FESEM</b>	Field Emission Scanning Electron Microscopy
<b>MIS</b>	Metal-yalıtkan-yarıiletken (Metal-insulator-semiconductor)
<b>XRD</b>	X-Ray Diffraction

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<b>UV</b>	Ultraviolet
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscopy
<b>CBD</b>	Kimyasal Biriktirme Yöntemi
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksit
<b>Au</b>	Altın
<b>EDX</b>	Enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi
<b>C</b>	Karbon

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yarıiletken filmler elektronik başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Günlük hayatımızda kullanımlarından dolayı ince filmler son zamanlarda daha çok araştırılmaya başlanmıştır.

İnce film üretimiyle ilgili birçok teknik kullanılmaktadır. Bütün üretim tekniklerinde amaç; düşük maliyet, kolay üretim ve geniş alanlar üzerine ince film kaplayabilmektir. En çok kullanılan yöntemler ultrasonik kimyasal püskürtme, vakum buharlaştırma, kimyasal buhar çöktürme, vakum buharlaştırma ve elektrokimyasal depolamadır.

Kimyasal püskürtme yöntemi daha geniş alanlara uygulanabilir. Aynı zamanda üretim kolay ve maliyet düşüktür. Üretilen malzemeler güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanıldığı için büyük öneme sahiptir. Özellikle CdS ince filmleri sahip olduğu özellikler ve yasak enerji aralığının 2,42 eV olmasından dolayı pencere materyali olarak kullanılmaktadır (Köse, S. vd., 2010). Ayrıca CdS ince filmlerine içerisine farklı elementler katılarak fiziksel ve yapısal özellikleri değişmektedir.

Bu çalışmada, kimyasal püskürtme yöntemiyle üretilen CdS ince filmlerini 250, 300 ve 350 °C hava ortamında 60 dk süreyle tavlayarak yapısal, optiksel, elektriksel ve yüzeysel özelliklerini incelemeyi hedefledik.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

CdS ince filmleri fotovoltaik (yarıiletken) güneş pillerinde kullanımından dolayı büyük ilgi görmüştür. Fiziksel özellikleri değiştirilebildiği için birçok araştırmaya konu olmuştur.

Bilgin vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, Cd kaynağı olarak CdCl<sub>2</sub> kadmiyum klorür ve S kaynağı olarak SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (tiyoüre) 0,05 M ve eşit hacimde karıştırmışlardır. Taşıyıcı gaz olarak azot gazı kullanmışlardır. Farklı alttaban sıcaklıklarında oluşan ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özellikleri analiz edilmiştir. CdS ince filmlerinin karakterizasyonu XRD ve UV-VIS spektrometre kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada 200 °C' den 400 °C' ye kadar olan farklı alttaban sıcaklıkları incelenmiştir. Tüm sıcaklıklarda kristallenme meydana gelmiştir.

XRD sonuçları farklı alttaban sıcaklıklarındaki CdS ince film kristallerinin hegzagonal yapıda olduğunu göstermiştir. Artan alttaban sıcaklığı ile birlikte film kalınlığında azalma ve yasak enerji aralığında artış meydana gelmiştir. Özdirenç ölçümü 0,1-100 V aralığında karanlık şartlarda gerçekleşmişlerdir. Özdirençin artan taban sıcaklığı ile azaldığı görülmüştür. En iyi kristallenme, düşük özdirenç ve en iyi iletkenlik 573 K' de sağlanmıştır. Sıcak uç tekniği CdS ince filmlerin n-tipi iletken olduğunu göstermiştir (Bilgin, V. vd., 2005).

Gençyılmaz vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada CdS ince filmlerine tavlamanın etkisi incelemiştir. CdS çözeltisini hazırlamak için, 0,05 M CdCl<sub>2</sub> . H<sub>2</sub> ve 0,05 M (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS kullanılarak diyonize su ve metanol karışımıyla sulu çözelti elde edilmiştir. İnce filmler 300±5 °C sıcaklıkta alt taban üzerine kimyasal püskürtme yöntemiyle oluşturulmuştur. CdS ince filmleri 400, 450, 500 °C' de 2 saat boyunca tavlansmıştır. CdS filmlerinin optik, elektrik, yapısal ve yüzey özellikleri incelenmiştir.

Filmlerin iletim ve absorpsiyonu UV-VIS spektrometresi ile ölçülmüştür. İletim ve absorpsiyon spektrumları 300-900 nm dalga boyu aralığında incelenmiştir. CdS ince filmleri 550-850 nm dalga boyu aralığında yüksek şeffaflık sergilemiştir. Tavlamanın yasak enerji aralığı değerlerinde düşmeye neden olduğu gözlemlenmiştir. Tavlamanın etkisiyle Eg değeri 2,43eV' tan 2,34 eV' a kaymıştır. Güneş pilleri için istenen yasak enerji aralığı tüm filmler için oluşmuştur. SE analizi ölçümleri oda sıcaklığında 300-900 nm dalga boyu aralığında 10 nm' lik adımlarla gerçekleştirilmiştir.

Filmlerin ortalama yansıma değerinin tavlamanın artmasıyla önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Ayrıca tavlamanın yüksek sıcaklık değerlerinde, özellikle 450-500 °C' de, kırılma indisi değerlerinin düşmesine neden olduğu görülmüştür. Numunelerin kırılma indisi değerleri dalga boyunun artmasıyla, özellikle 550-950 nm dalga boyu aralığında, neredeyse sabittir. Sönme katsayısı (k) değerleri uzun dalga boylarında (550nm< $\lambda$ <950 nm) arasında düşüktür ve 550 nm' nin altındaki kısa dalga boylarında ise artar. Böylelikle uzun dalga boylarında filmin yüksek geçirgenliğe, düşük emilime düşük sönme katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Kısa dalga boylarında ise tam tersi durum mevcuttur. Ayrıca tavlama sıcaklığının artması ile pürüzsüzlük değerleri düşmüştür.

CdS ince filmlerinin öz direncini belirlemek için dört uç metodu kullanılmıştır. Tavlama işleminden sonra filmlerin öz direnci  $7,96 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ ' den  $2,63 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ ' ye kadar azalma göstermiştir. Ayrıca sıcak uç metodu ile filmlerin n-tipi iletken olduğu görülmüştür. En düşük öz direnç 500 °C' de tavlama sıcaklığında  $1,06 \times 10^4 \Omega \text{cm}$  olduğu gözlemlenmiştir.

Hasnet vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada tavlama sıcaklığı CdS ince filmlerini kimyasal püskürtme yöntemiyle oluşturmuştur. Oluşan CdS ince filmlerini 300, 400 ve 500 °C' de tavlama sıcaklığı olarak Cd kaynağı olarak  $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  (kadmiyum asetat) S kaynağı olarak  $\text{NH}_2\text{CSNH}_2$  (tiyüre) kullanmıştır. Alttaban sıcaklığı 300°C olarak ayarlanmıştır. Akış hızı  $0,5 \text{ ml/dk}^{-1}$  olacak şekilde 29 cm uzaklıktan püskürtme işlemi yapılmıştır.

Optik iletim ölçümleri UV spektrometresinde 300-1100 nm dalga boyu aralığında gerçekleştirilmiştir. CdS ince filmlerinin 550 ile 1100 nm dalga boyu arasında optik geçirgenlik % 80 iken, 300°C’ de tavlama sonucunda % 81, 400°C’ de tavlama sonucunda % 79, 500 °C’ de tavlama sonucunda % 72 olduğu görülmüştür. CdS filmlerinin iletim değerlerinin düşmesinin nedeni, tavlama ile beraber yüzey düzensizliğinin ve kusur yoğunluğunun artması olduğu düşünülmüştür. SEM görüntüleri yüzeyin homojen şekilde iyi kaplandığını göstermiştir. Tavlama sonrası yüzey pürüzlülüğü arttığı görülmüştür. Tavlama sonrası filmlerin  $E_g$  değeri düştüğü gözlemlenmiştir. Tavlama ortamına çıkan filmlerin kristallikliğinin artmasına neden olduğu görülmüştür.

Özcan vd. (2016) yaptıkları çalışmada CBD tekniği ile oluşturulan CdS ince filmlerinin tavlama üzerine etkisini incelemiştir. 1,5 M CdS çözeltisi elde etmek için 2,25 M hidrazin, 1,4 M tiyoüre ve % 25  $NH_3$  kullanmıştır. Çözeltiyi elde etmek için  $80 \pm 2$  °C’ de karıştırılmaksızın kimyasal depolama yöntemiyle CdS ince filmlerini oluşturmuştur. Meydana gelen ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Elde edilen CdS ince filmlerini 373-773 K aralığında 100 K’ lik adımlarla 1 saat tavlamıştır.

XRD sonuçları CdS ince filmlerinin karma kübik ve hegzagonal yapıda olduğunu göstermiştir. Artan tavlama sıcaklığıyla birlikte kristal boyutunda büyüme gözlemlenmiştir. Kristal boyutu 373 K’ de 22,99 nm iken 573 K’ de 29,04 nm, 773 K’ de 35,36 nm olarak bulunmuştur. Tavlama sıcaklığındaki artışla birlikte yasak enerji aralığı 2,42 eV’ den 2,39 eV’ ye düşüş görülmüştür. 373, 473, 573, 673 K’ de tavlama ince filmler n-tipi iletkenlik göstermiştir ancak 773 K’ de tavlama CdS filmleri n-tipi ile p- tipi arasında iletkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Tavlama sıcaklığının artmasıyla taşıyıcı konsantrasyonunda azalma, hareketlilik ve özdirençte artış hesaplanmıştır.

Tavlama sonrası CdS ince filmlerinde özdirenç 0,18  $\Omega$ cm iken 373 K’ de 2,54  $\Omega$ cm, 673 K’ de 9,83  $\Omega$ cm, 773 K’ de ise 65  $\Omega$ cm olarak belirlenmiştir. SEM görüntülerinde 373 K’ de kozalaklı ağaç görünümü oluşurken yüksek tavlama sıcaklıklarında kozalaklı ağaç görünümünü birleştiren karnabahar benzeri bir görünüm ortaya çıktığı görülmüştür.



Enriquez vd. (2013) yaptıkları çalışmada CBD tekniğiyle oluşturdukları CdS ince filmlerini 350, 400 ve 450 °C' de 60 dk süreyle tavlamıştır. Aynı çalışmada tavlama süresinin etkisini görmek için 400 °C sıcaklıkta sırasıyla 5, 15, 30, 45 ve 60 dk tavlamıştır. Tavlanan ince filmlerin yapısal, optik ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Çözeltiyi oluşturmak için 0,033 M (CdOOH<sub>3</sub>).2H<sub>2</sub>O (kadmiyum asetat), 0,067 M H<sub>2</sub>NCSNH<sub>2</sub> (tiyoüre), 1M amonyum asetat ve % 28-30 NH<sub>4</sub>OH (amonyum hidroksit) kullanmıştır. Banyo sıcaklığı 90 °C' de sabit tutulmuştur. Daha sonra oluşan filmleri tavlamışlardır. CdS ince filmlerinin karma kübik ve hegzagonal yapıda olduklarını ayrıca faz dönüşümlerinin gözlemlenmiştir.

Tavlama sıcaklığı arttıkça kristal büyüklüğünde artış gözlemlenmiştir. 350 °C' de 18 nm, 400 °C' de yaklaşık 20 nm, 450 °C' de ise 30 nm'ye ulaşmıştır. Farklı sürelerde 400 °C' de tavlanan ince filmlerin kristal büyüklüğü incelendiğinde ise ilk 15 dk maksimum değere ulaşır, 15-30 dk aralığında azalma, 30-60 dk aralığında ise hafif artış gözlemlenmiştir. Dalga boyu 300-2000 nm dalga boyu aralığında geçirgenlik spektrumları incelenmiştir. Tavlama ile filmlerin geçirgenliği 400 °C' de max değer olan % 81' e ulaşmıştır. Ardından 450 °C' de % 78,53 değerine düştüğü görülmüştür. Farklı sürelerde tavlanan ince filmleri incelediklerinde ise sürenin artmasıyla geçirgenliğin arttığını gözlemlenmiştir.

Tavlama sıcaklığı 350 °C' de E<sub>g</sub> değeri 2,44 eV' tan 2,42 eV' a düştüğü, 400 °C' de 2,43 eV' tan yükseldiği görülmüştür. Farklı sürelerde 400 °C' de tavlana ince filmleri incelediklerinde ise ilk 30 dk E<sub>g</sub> değerinde azalma sonraki 30 dk ise artış gözlemlenmiştir. Tavlama filmlerin özdirençlerini incelediklerinde ise 350 °C' de tavlanan ince filmlerin özdirencinin düştüğünü, 400 °C ve 450 °C' de tavlanan ince filmlerin özdirencinin arttığını görmüştür. Farklı sürelerde tavlanan filmler incelendiğinde ise ilk 15 dk' da özdirencin düştüğü, 45 dk' lık süre sonuna kadar özdirencin arttığı ve 45 dk' dan sonra hemen hemen sabitlendiği gözlemlenmiştir.

### 3. TEORİK BİLGİ

#### 3.1. Giriş

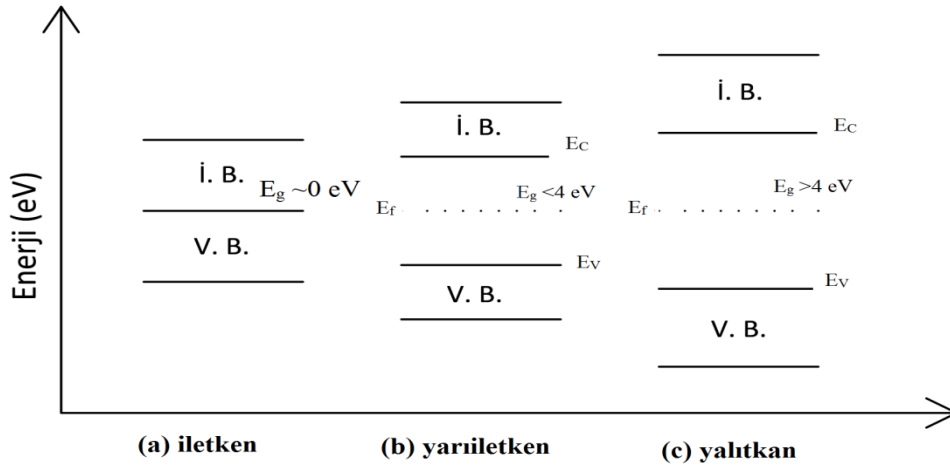
Elektronik cihazlar son zamanlarda daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum yarıiletkenlerde yapılan çalışmaların hızlanmasına sebep olmuştur. İlk olarak ince film ‘elektroliz yöntemi’ ile 1838 yılında oluşturulmuştur. Çalışmaların hızlanması 1950’li yıllardan itibaren olmuştur. İnce film teknolojisi başta elektrik ve elektronik olmak üzere optik sistemler, dekoratif kaplamalar ve kayıt cihazlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

İlerleyen teknoloji ile birlikte birçok ince film kaplama yöntemi ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerin hepsinde amaç daha düşük maliyetle daha kolay elde edilebilen ince filmler oluşturmaktır. Enerji kaynaklarının giderek azalmaya başladığı günümüzde güneş bizim için tükenmez bir enerji kaynağıdır. Güneş pilleri sayesinde mevcut enerji fotovoltaiik etkiyle elektrik enerjisine dönüşmektedir. II-VI bileşiklerinden olan CdS yarıiletken ince filmleri fotovoltaiik güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılmaktadır. Pencere materyali olmasının sebebi güneş ışınlarını yüksek oranda geçirmesi ve öz direncinin düşük olmasıdır. Bundan dolayı CdS birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir.

#### 3.2. Yarıiletkenler

Bir yarıiletken mutlak sıfırda (0 K) valans bandı tamamen dolu holler bandı ile yine mutlak sıfırda dolu banttan dar bir enerji aralığı ile ayrılmış tamamen boş bantta (iletkenlik bandı) sahip bir kristal malzemedir (Aydoğan, 2014). Elektronların hareketi her katı madde içerisinde aynı değildir. Elektronların hareketine göre yalıtkan, iletken ve yarıiletken olmak üzere 3 grupta incelenir. Metallerin öz direnci çok düşüktür, yalıtkanları öz dirençleri çok yüksektir, yalıtkanların öz direnci ise metallerle yalıtkanların arasındadır.

Yarıiletkenler mutlak sıfırda yalıtkan gibi davranırlar. Mutlak sıfırda bir yarıiletkenin valans bandındaki tüm yörüngeler dolu ve iletkenlik bandındaki tüm yörüngeleri ise boştur.



Şekil 3.1. (a) İletken, (b) yarıiletken ve (c) yalıtkanın enerji bant yapısı.

Yarıiletkenlerin enerji bant yapıları Şekil 3.1' de gösterilmiştir.  $E_g$ ; yasak enerji aralığı,  $E_f$  fermi enerji seviyesi. Yarıiletkenler element ve bileşik olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar. Elementlere örnek silisyum (Si) ve germanyum (Ge), bileşiklere örnek ise kadmiyum sülfürü (CdS) ve çinko oksiti (ZnO) verilebilir (Kittel, 1996). Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliği sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yükselirse özdirenç azalır, sıcaklık düşerse özdirenç artar.

Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliğini etkileyen diğer faktörler ise ışık, magnetik etki ve uygulana gerilimdir. Yarıiletkenlerin en önemli özelliği sıcaklıkla orantılı olarak özdirencinin değişmesidir. Bir malzemenin yarıiletken olabilmesi için özdirencin verilen aralıkta olması yetmez. Uyarılma ile elektronların yasak enerji aralığını geçebilmesi için yasak enerji aralığında belli değerlerde olması gerekir.

Sıcaklık arttıkça elektronlar valans bandından ısıl uyarılma yoluyla iletim bandına geçerler. Hem iletkenlik bandındaki elektronlar, hem de valans bandında bıraktıkları holler iletkenliğe katılırlar (Kittel, 1996).

### 3.3. Yarıiletken Türleri

Si ve Ge kristallerinin atomları normal şartlarda ortak elektron kullanımına dayalı kovalent bağ oluştururlar. Bundan dolayı ortamda serbest elektron yoktur. Böyle maddelere saf yarıiletkenler denir. İçerisine katkı atomları kullanılarak yalıtkanlıları düşürülebilir. İletkenlik iletim bandındaki elektronlar ve valans bandındaki holler ile sağlanır. Dışarıdan termal uyarılma ile birkaç elektron yasak enerji aralığını aşarak iletim bandına geçebilir. İletkenlik bandına geçen elektronların yerinde oluşan boşluğa hol adı verilir. Valans bandındaki holler yerini başka bir elektronla doldurur. Böylece iletme katkıda bulunurlar. Yarıiletkenler has ve katkılı yarıiletkenler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bunu belirlemek için iletim bandındaki elektronların ve valans bandındaki hollerin yoğunluğuna bakılır. Si ve Ge'nin iletkenliğini artırmak için serbest elektron ve hol yoğunluğunu artırmak gerekir. Katkısız bir yarı iletkende elektron ve hollerin sayıları daima eşittir. Elektron ve hollerin etkin kütleleri eşit olmazsa fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının tam ortasından aşağı yada yukarı doğru kayabilir (Aydoğan, 2014).

$$E_F = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{3}{4} kT \ln \left( \frac{m_p^*}{m_n^*} \right) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1' de  $E_F$ ; fermi enerji seviyesi,  $E_C$ ; iletkenlik bandının minimum alt sınırı,  $E_V$ ; valans bandının üst sınırını,  $m_p^*$ ; hollerin etkin kütlesi,  $m_n^*$ ; elektronların etkin kütlesi olarak verilmiştir.

$$E_F \cong \frac{E_C + E_V}{2} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2' de elektron ve hollerin etkin kütlesi birbirine eşit kabul edildiğinde fermi enerji seviyesini ifade etmektedir.

### 3.4. Has Yarıiletkenler

Yabancı katkı atomu ile katkılanmayan yarıiletkenlere has yarıiletkenler adı verilir. Has yarıiletkenlerin iletim bandındaki elektronların yoğunluğu (n) ile valans bandındaki hollerin yoğunluğu (p) birbirine eşittir ( $n=p$ ).

$$np=n_i^2 (T) \quad (3.3)$$

şeklinde verilir. Bu bağlantıya mass-action yasası denir. Burada  $n_i$ ; has yarıiletkenler için taşıyıcı yoğunluğudur ve sadece sıcaklığa bağlıdır (McKelvey, 1966).

Mutlak sıfırda yarıiletken mükemmel bir yalıtkan gibi davranır. Yani bantlar tamamen dolu yada boştur. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda elektronların bazıları valans bandından yasak enerji aralığını geçebilecek kadar enerji kazanarak boş iletkenlik bandına çıkabilirler (Aydoğan, 2014).

### 3.5. Katkılı Yarıiletkenler

Yarıiletkenlere uygun katkı maddesi uygulama yapıldıktan sonra serbest elektron yoğunluğu ve hol yoğunluğu eşitliği bozulur. Katkılama yapıldıktan sonra meydana gelen örgü bozukluğu elektriksel iletkenliği etkiler. Katkı maddesi ile iletkenlikleri artan maddelerin elektrikte ayrı bir yeri vardır.

Periyodik cetvelde III elementleri ile V elementleri benzer şekilde II ve VI elementleri arasında oluşturulan kovalent bağlı bileşikler aynı elektron ve kafes yapısına sahiptirler. Dolayısıyla bunlara has yarıiletkenler denir.

Has yarıiletkenlere katkılanacak katkı atomunun türüne göre ek elektriksel yük taşıyıcı oluştururlar. Bunlara katkılı yarıiletkenler denir. Matematiksel olarak baktığımızda taşıyıcı sayısını artırmak için sıcaklığı yükseltmek gerekir. Ancak bu yol çok pratik değildir. Si ve Ge iletkenliği ayarlanabildiği için elektrik devre elemanı yapımında kullanılır.

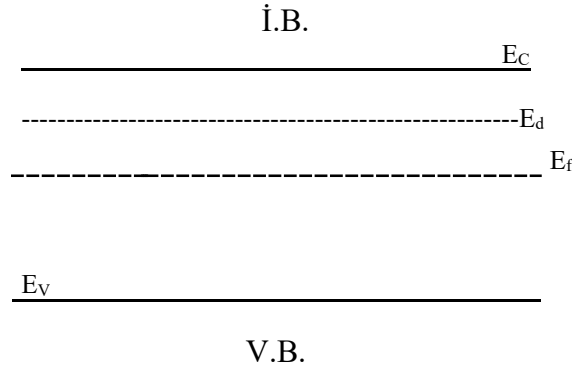
Katkılanan madde cinsine göre n-tipi ya da p-tipi olmak üzere iki tür katkı yarıiletken vardır. Yarıiletkenlere katkılanan donör veya akseptör atomları yarıiletkenlerde elektron veya hol konsantrasyonunu artırarak malzemenin elektriksel özelliklerini değiştirirler. Katkılandıktan sonra meydana gelen örgü bozukluğu n-tipi veya p-tipi özellik gösterir.

### 3.5.1. n-tipi yarıiletkenler

Kristale elektron veren atomlara donör atomları denir. Donör tipi katkı atomu ihtiva eden bir yarıiletken 'n-tipi' yarıiletken olarak adlandırılır. Çünkü bu tip yarıiletkenlerde yük taşıyıcılarının çoğu negatif yük taşırlar.

n-tipi yarıiletkenlerde elektron yoğunluğu hol yoğunluğundan fazladır. Arsenik maddesinin atomlarının valans yörüngelerinde 5 adet elektron atomu bulunur. Silisyum ve arsenik birleştirildiğinde Ar ve Si atomlarını ortak kurdukları kovalent bağdan arsenik atomunun 1 elektronu açıkta kalır. Bu sayede birleşimde milyonlarca elektron serbest kalmış olur. Bu da birleşime negatif madde özelliği kazandırır. n-tipi madde bir gerilim kaynağına bağlandığında üzerindeki serbest elektronlar negatif kutbundan itilip pozitif kutbundan çekilirler ve gerilim kaynağının negatif kutbundan pozitif kutbuna doğru bir elektron akışı başlar.

n-tipi katkı atomları, valans bandında 5 elektron bulunan Arsenik (Ar), Fosfor (P), Bizmut (Bi) atomlarını örnek verebiliriz. Yarıiletkenlere bu atomların katkılanması yasak enerji aralığında değişime neden olmaktadır (Aydoğan, 2014).



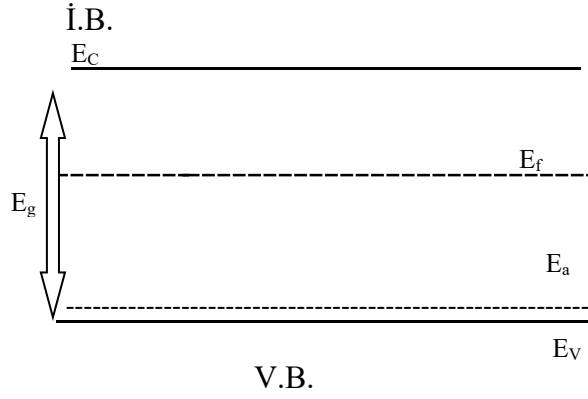
Şekil 3.2. n-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı.

Şekil 3.2' de görüldüğü gibi; donör negatif yüklü taşıyıcıların seviyesinin arttırmak için verici seviyesi  $E_d$ ; iletkenlik bandının altındadır, burada  $E_d \ll E_g$ ,  $T=0$  K' de Fermi Enerjisi iletkenlik bant kenarı ile donör seviyesinin arasındadır, yaklaşık 20-30meV kadar iletkenlik bandının altındadır.

### 3.5.2. p-tipi yarıiletkenler

Kristalden elektron alan atomlara akseptör atomları denir. Akseptör tipi katkı atomu ihtiva eden yarıiletkenlerde yük taşıyıcılarının çoğu pozitif yük taşıdıkları için bu tip yarıiletkenlere p-tipi yarıiletkenler adı verilir. p-tipi yarıiletkenlerde hol yoğunluğu elektron yoğunluğundan fazladır.

Ga atomunun valans yörüngesinde 3 elektronu bulunmaktadır. Si atomuna Ga atomu katkılандığında atomların kurduğu kovalent bağlardan 1 elektron eksik kalır. Bu eksikliğe hol adı verilir. Bu elektron eksikliği karışıma pozitif madde özelliği kazandırır. p-tipi maddeye bir gerilim kaynağı bağlandığında kaynağın negatif kutbundaki elektronlar p-tipi maddedeki holleri doldurarak kaynağın pozitif kutbuna doğru ilerlerken holler elektronun ters yönünde hareket etmiş olur. p-tipi katkı atomlarına örnek olarak valans yörüngelerinde 3 elektron bulunduran Alüminyum (Al), Bor (B) ve Galyum (Ga) atomlarını verebiliriz. Katkılanmış Si ve Ge atomlarının taşıyıcı yoğunluğu holler ise p-tipi yarıiletkenler olarak adlandırılırlar. Katkılanan yarıiletkenlerin yasak enerji aralığında ve fiziksel özelliklerinde değişim meydana gelir (Aydoğan, 2014).



Şekil 3.3. p-tipi yarıiletken için enerji bant diyagramı.

Şekil 3.3' te görüldüğü gibi akseptör seviyesi  $E_a$  valans bandının üzerindedir ve yasak enerji aralığı içerisindedir.

### 3.6. CdS Yarıiletken Bileşiğinin Özellikleri

Kimyasal formülü AB olan bir yarıiletken bileşikte; A iki valanslı ve B altı valanslı ise II-VI bileşiği adı verilir. Bu grubun örnekleri çinko sülfür ve kadmiyum sülfürdür (Kittel, 1996). CdS ince filmleri II-VI bileşiklerinden ve 2,42 eV yasak enerji aralığına sahip yarıiletkenlerdir (Yılmaz, S. 2015). İlk olarak Chamberlin ve Skarman kimyasal püskürtme yöntemi ile CdS bileşiğini elde etmişlerdir (Bilgen, Y. 2015).

II-VI bileşiklerinden oluşan yarıiletkenlerden ince film üretimi yapılmaktadır. Bu üretilen ince filmler güneş pillerinde kullanılmaktadır. Pencere materyali olmasının sebebi n-tipi yarıiletken olması ve oldukça geniş yasak enerji aralığına sahip olmasıdır (Köse, S. vd., 2010).

CdS yarıiletkenleri optik, yüzey ve elektriksel özellikleri bakımından ilginç bir yarıiletkenlerdir. CdS, CdS/CdTe ve CdS/CuInSe<sub>2</sub> güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılmaktadır (Gençyılmaz, O. vd., 2015). CdS ince filmleri oluşturulma koşullarına ve tekniklerine bağlı olarak kübik yada altıgen faza sahiptir. Kübik yapı parametreleri



$a=0,5832$  nm olarak bilinirken altıgen yapıya sahip olanlar  $a=0,4130$  nm ve  $c=0,6703$ nm'dir ( Işıık, M. vd., 2019).

Tek kristalli CdS ince filmleri uzay uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok kristalli CdS ince filmleri düşük maliyet, yüksek verim ve kararlı performanslarından dolayı fotovolatik uygulamalar için önemli materyaldir (Hasnat, A. 2012). CdS ince filmleri düşük maliyet nedeniyle seri üretime uygundur (Özcan, G.C. 2016). CdS ince filmlerinin yasak enerji aralığını ve öz direncini azaltmak için alüminyum, kalay ve erbiyum gibi çeşitli katlı atomları ile katkı yapılabilir (Bairya, R. 2019).

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Giriş

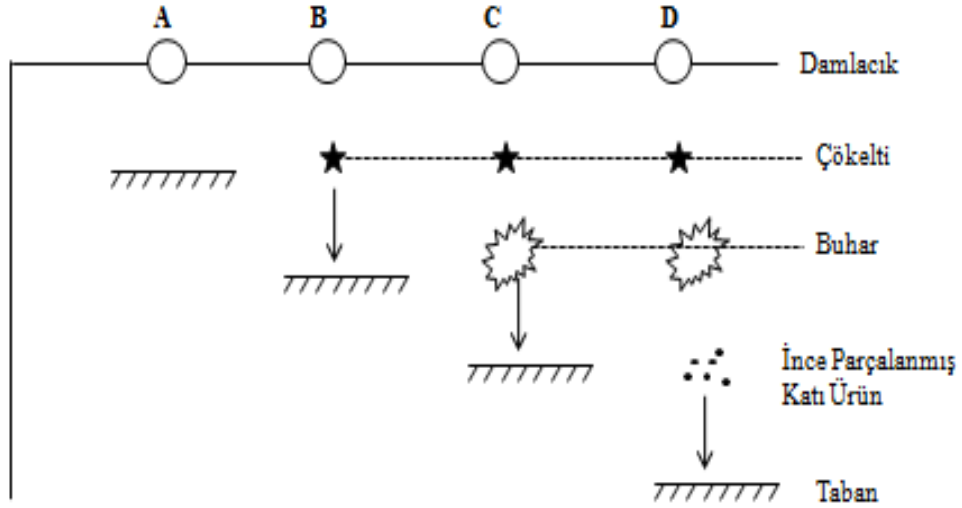
Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ince film üretimi büyük ivme kazanmıştır. İnce filmler, farklı üretim teknikleri ile kaplanacak malzemenin molekül ve atomlarının filmi destekleyerek çok ince bir şekilde tabaka oluşturulan malzemelerdir. İstenilen performansı yakalayabilmek için uygun kalınlık, bilyim ve karakteristik özelliklere sahip olmalıdır. Çok geniş alanda kullanıma sahip olan ince filmleri elde etmek için performans oldukça önemlidir. İnce film üretimi katı, sıvı ve gaz olmak üzere 3 fazda gerçekleşmektedir. İnce filmlerin performansını üretim teknikleri doğrudan etkilemektedir (Sönmezoğlu, S. 2012).

### 4.2. Kimyasal Püskürtme Yöntemi

Chamberlin ve Skarman ilk olarak 1966 yılında güneş pili uygulamalarında kullanmak için CdS ince filmlerini püskürtme yöntemiyle oluşturmuşlardır (Bilgen, 2015). Hazırlanan sulu çözeltinin sıcak alttaban üzerine hava ya da azot gazı yardımıyla atomize edilerek püskürtülmesine kimyasal püskürme yöntemi denilmektedir.

Püskürtme yönteminde oluşan ince filmlerin kalitesini etkileyen faktörler çözeltinin oluşumu, alttaban sıcaklığı, püskürtme hızı ve süresi, taşıyıcı gaz çeşidi, püskürtme başlığı ile alttaban arasındaki mesafe ve püskürtme başlığının çapıdır. Püskürtme yöntemi optoelektronik uygulamalarında çok avantajlı bir yöntemdir (Bairya, R. 2019).

Diğer metotlara göre daha kolay ve ucuz bir yöntemdir (Calderona, A.B. 2019). Püskürtme yönteminin oldukça kolay olması, malzemenin ekonomik olması, üretimin her aşamasına müdahale edilebilir olması ve vakum ortamına ihtiyaç duyulmaması daha da avantajlı olmasını sağlar. Ayrıca n-tipi ve p-tipi katkılama da imkan sağlar (Sönmezoğlu, Ş. 2012).



Şekil 4.1. Spray yönteminde püskürtülen çözelti damlacıklarının aerodinamiği.

Şekil 4.1’ de püskürtme yönteminde püskürtülen çözeltinin damlacıklarının aerodinamiği görülmektedir

A noktasındaki çözelti damlacığının boyutu büyüktür. Büyük damlacıklar sıcak tabana ulaştığında sıcaklık çözeltiyi buharlaştıracak kadar sıcak değilse kaplama oluşur. Tabana ulaşması için yeterince süreye sahip değildir. Bu yüzden yeterince ısı absorplayamadığı için taban sıcaklığını düşürür. Çökelti bırakır ve kötü film oluşmasına neden olur.

B noktasındaki çözelti damlacıklarının boyutu A noktasına göre daha küçük olmasına rağmen yeterli değildir. Damlacıklar yüzeye ulaştığında amorf tuz oluşur. Çözeltinin belli kısmı buharlaşır. Bu yüzden film yüzeyinde çatlak oluşur.

C noktasındaki çözelti damlacıkları A ve B noktasına göre daha küçüktür. Çözelti damlacıkları yeterince ısı absorpladığı için içerisindeki su buharlaşır. Kaliteli filmler oluşması için en uygun damlacık boyutudur.

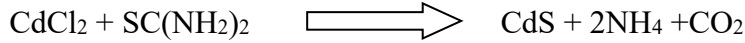
D noktasında çözeltinin damlacık boyutu en küçüktür. Tamamen buharlaşma meydana geldiği için tabanda ince parçalanmış katı ürün oluşur. Pudra şeklinde çözelti yüzeye düşer ama kaplama oluşturmaz.

### 4.3. Deneysel İşlem

#### 4.3.1. Çözeltinin hazırlanması

II-VI bileşiklerinden olan CdS çözeltisini elde etmek için kimyasal maddeler içerisine diyonize su ilave edildi. C kaynağı olarak CdCl<sub>2</sub> (kadmiyum klorür), S kaynağı olarak SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (tiyoüre) kullanılmıştır. CdCl<sub>2</sub> ve SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> diyonize su içerisinde çözüldü. Çözeltiler ayrı ayrı 1 saat boyunca karıştırıldı. Daha sonra eşit hacimde karıştırıldı. 0,05 M' lik CdCl<sub>2</sub> çözeltisinden 100 ml, 0,05 M' lik SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 100 ml kullanarak toplamda 200 ml çözelti elde edilmiştir.

CdCl<sub>2</sub> ve SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> karışım çözeltilerinin kimyasal reaksiyonu;



şeklindedir.

#### 4.3.2. CdS ince filmlerinin elde edilmesi

Kristal oluşumu için camları temizliği ve pürüzsüzlüğü önemli olduğu için camlar temizlenmiştir. Hava ortamında kurutulmuştur. Taban sıcaklığı demir-kostantan termoçift ile kontrol edilmiştir. Püskürtme sırasında taşıyıcı gaz olarak hava kullanılmıştır. Çözeltinin püskürtülmesi ile taban sıcaklığı düşeceği için sıcaklık istenilenden daha yüksek sıcaklığa ayarlanmıştır.

Hazırlanan çözelti 325±5 °C olan alttaban sıcaklığı üzerine püskürtülmeye başlandı. Çözelti akış hızı ~15 ml/dak olarak ayarlanmıştır. Püskürtme süresi ~15 dakika sürmüştür.

Püskürtme işlemi bittikten sonra akım kesilerek 15 dk daha beklenmiştir. Daha sonra hazırlanan filmler 22 saat soğumaya bırakılmıştır. Hazırlanan filmler 250, 300 ve 350 °C' de 1 saat boyunca tavlansmıştır. Şekil 4.2' de spray yönteminde kullandığımız deney setinin fotoğrafı verilmektedir.



Şekil 4.2. Spray yönteminde kullanılan deney setinin fotoğrafı.

### 4.3.3. CdS ince filmlerinin kalınlıklarının belirlenmesi

Yarıiletkenlerin kalınlıklarını belirlemek için TEM, elipsometri, tartı veya elkometre kullanılmaktadır. CdS filmlerinin kalınlıkları Şekil 4.3' de gösterilen elkometre ile ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Elkometre cihazının fotoğrafı.

CdS ince filmlerinin farklı bölgelerinden ölçümler alınmıştır. Her numune için 15 noktadan ölçümler alınıp ortalamaları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan kalınlıklar Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. CdS ince filmlerinin ölçülen kalınlık değerleri.

Sıcaklık (°C)	Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )
Tavlanmamış	0,61
250	0,96
300	1,62
350	1,29

Hesaplamalar sonucunda CdS ince film kalınlıklarında 250 °C ve 300 °C' de tavlama artışı gözlemlenmiştir. 350 °C' de ise azalma gözlemlenmiştir.

#### 4.4. Yapısal Özellikler

Günümüzde görüntüleme cihazlarının temelini oluşturan x-ışınları 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir (Aydoğan, 2014). Bir crooks tüpünü indüksiyon bobinine bağlayarak tüpten yüksek gerilimli elektron akımı geçtiğinde tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam kavanoz içindeki baryumlu platinsiyanür kristallerinde parıltılar görmüştür. Adını bilmediği bu parıltılara x-ışınları adını vermiştir (Arslan,T. 2015).

X-Işınları düz çizgiler şeklinde ilerler fakat sıradan ışıklardan farklı olarak görünmezler. Bu ışınlar daha çok girici özelliklere sahiptirler. İnsan vücudundan, metallere, ağaçtan ve saydam olmyan cisimlerden rahatlıkla geçebilmektedir (Aydoğan, 2014).

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen 0,1-100 Å arasında değişen elektromagnetik dalgalarıdır. X-ışının özellikleri kısa dalga boyu ve yüksek enerjiye sahip olmalarıdır. X-ışınları hem tanecik hem dalga özelliği gösterir. Tanecik karakteri gösteren elektromagnetik radyasyona foton denir (Arslan, T. 2015).

#### 4.4.1. X-Işını difraksiyonu

Bir malzemenin atomik yapısını görüntülemek için yüksek çözünürlüklü mikroskoplar gerekmektedir. Fakat bilinmeyen teknikleri belirlemek için kırınım teknikleri kullanmak gerekir.

Günümüzde en çok kullanılan kırınım tekniği x-ışını kırınımıdır (Arslan, T. 2015). X-ışını teknikleri yıkıcı değildir, hasar yol açmaz (Ekici, H. 2014). X-ışınları Bragg Yasasına dayanır. X-ışınları kristal yapı üzerine düşürüldüğünde ışınlar geliş açısıyla tam yansımaya uğrarlar ve kristaldeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılırlar. Çok sayıdaki saçılmalara kırınım adı verilir. Bu kırınım Bragg Yasası ile açıklanır (Kittel, 1996).

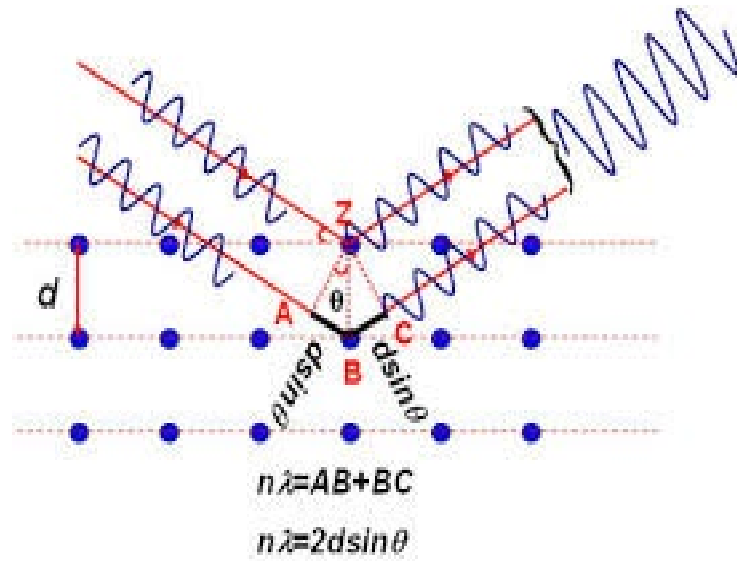
Deneyler sonucunda  $\lambda$  dalga boyu bilinen bir x-ışını kullanılarak  $2\theta$  açısı ölçülür. Düzlemler arasındaki mesafeler belirlenir. Açısı ve düzlemler arası mesafesi belirlenen ışının dalga boyu belirlenir (Özer, 2010).

XRD desenlerindeki yarı pik genişliği tane boyutunun büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir. Tane boyutu, Scherrer bağıntısı (Cullity, 1978) olarak bilinen,

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

ifadesi ile belirlenir. Denklem 4.1' de  $D$ ; tane boyutu,  $\beta$ ; maksimum şiddetli pikin radyan olarak yarı pik genişliği,  $\theta$ ; Bragg açısı ve  $\lambda$ ; kullanılan x-ışınının dalgaboyudur.





Şekil 4.4. Bir kristaldeki x-ışını kırınımı.

Şekil 4.4' de görülen bir x-ışını demetinin yansımasıdır.  $d$ ; düzlemler arası uzaklık,  $n$ ; kırınım sabiti,  $\lambda$ ; dalga boyu,  $\theta$ ; kırılma açısı,  $n\lambda$ ; optiksel yol farkı, gelme açısıyla yansıma açısının eşit olduğunu kabul edersek  $AB=CD$ ,

$$\text{Optiksel yol farkı} = n\lambda \quad (4.2)$$

$$\text{Yol farkı} = AB + BC = d \sin \theta + d \sin \theta = 2d \sin \theta \quad (4.3)$$

$$\text{Optiksel yol farkı} = 2d \sin \theta = n\lambda \quad (n=1,2,3\dots) \quad (4.4)$$

Bu bağıntıya Bragg Yasası denir. Denklem 4.2, Denklem 4.3 ve Denkem 4.4' te yol farkı verilmiştir.

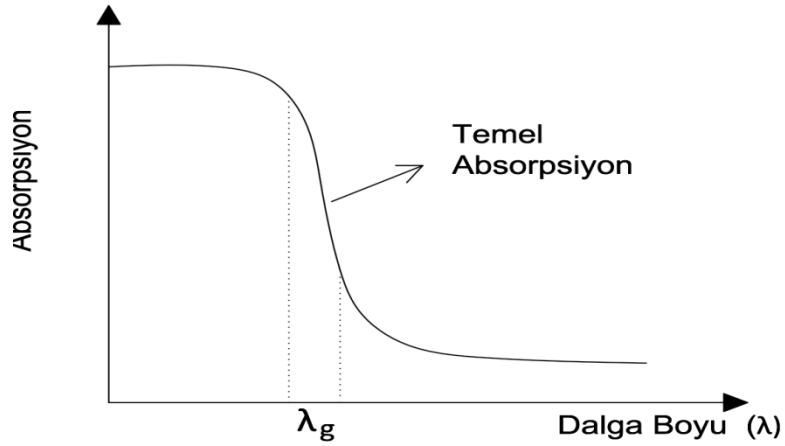
X-ışını kırınımında gelen ve yansıyan ışınların dalga boyları eşit olmalıdır. Yansıyan x-ışını atomun elektron yoğunluğu çok olan kısmıyla etkileşir. Yansıyan x-ışını enerjisi 10-50 keV' tur (Ekici, H. 2014).

## 4.5. Optik Özellikler

Yarıiletkenlerin optik özelliklerinin bilinmesi daha geniş alanlarda kullanabilmemiz için bize yol gösterir. Aynı zamanda elektronların ve hollerin hareketi hakkında bize bilgiler verir.

### 4.5.1. Temel absorpsiyon

Enerjisi bilinen bir foton tarafından valans bandından iletim bandına uyarılması olarak bilinen ve soğurmanın keskin bir artış gösterdiği bölge temel absorpsiyon bölgesi olarak bilinir (Aydın, C. 2018). Temel soğurma sınırında iki tür geçiş olayı meydana gelebilir, bunlar doğrudan band geçişi ve dolaylı bant geçiştir.



Şekil 4.5. Yarıiletkenlerde temel absorpsiyonun, dalgaboyuna göre değişimi.

Şekil 4.5.' te  $\lambda_g$ ; fotonun maksimum dalgaboyunu,  $E_g$ ; yasak enerji aralığı. Dalgaboyu,

$$\lambda_g = \frac{hc}{E_g} \quad (4.5)$$

denklemleri ile bulunur.

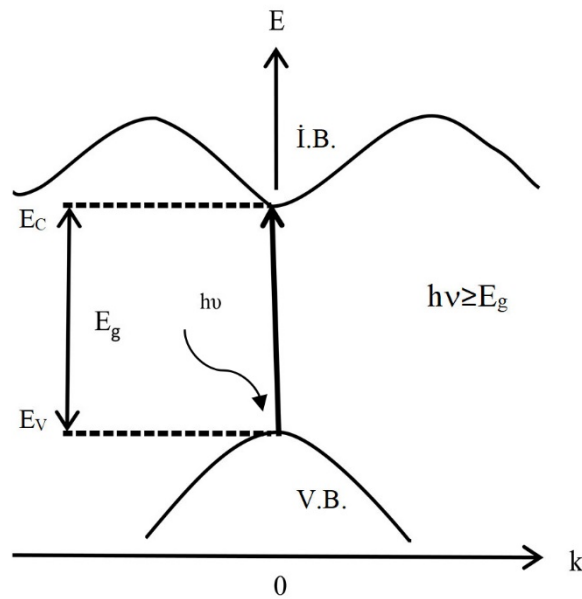
#### 4.5.2. Direkt ve indirekt geçişler

İletkenlik bandının minimumu ile valans bandının maksimumunun aynı  $k$  değerinde oluşan yarıiletkenlere direkt bant aralığına sahip yarıiletkenler denilmektedir. Şekil 4.6' da yarıiletkenlerin valans bandında bulunan elektronun yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit ya da bu değerden büyük bir fotonu soğurarak iletkenlik bandına geçişine direkt bant geçişi adı verilmektedir. Geçiş sırasında elektronlar dalga vektörlerinin değıştirmezler ve  $k=0$ ' da momentumu korunur. Bu durumda momentumun ve enerjinin korunumu;

$$\hbar \vec{k}_e + \hbar \vec{k}_h = 0 \quad (4.6)$$

$$\frac{hc}{\lambda} = E_e + E_h \geq E_g \quad (4.7)$$

Denklem 4.6 ve Denklem 4.7' de verilen  $k_e$  ve  $k_h$ ;sırasıyla elektrona ve deliğe eşlik eden dalga vektörleridir. Eşitliklerde  $h$  Planck sabiti olup,  $\hbar=h/2\pi$  'dir.  $E_e$ , elektron ve  $E_h$ , hol için, iletkenlik ve valans bantlarında herhangi bir konumdaki enerjilerini verir. Doğrudan bant geçişlerinde enerji korunmaktadır (Fox, 2001).



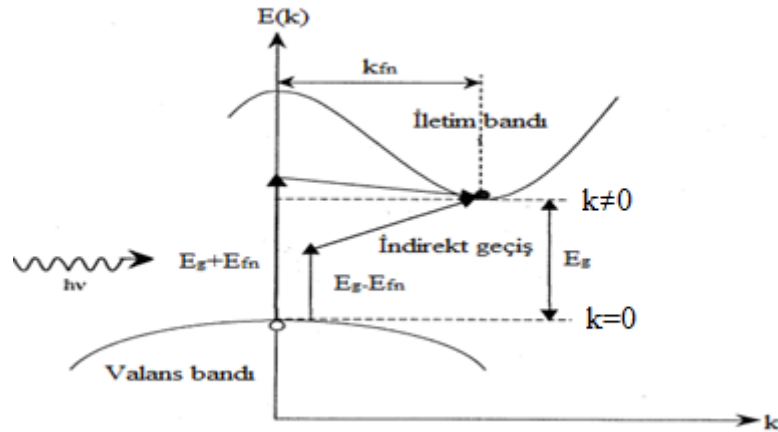
Şekil 4.6. Bir yarıiletkende direkt bant geçişi.

İndirekt bant geçişlerinde iletkenlik bandının minimumu ile valans bandının maksimumu aynı  $k$  değerinde oluşmazlar. Elektronlar valans bandının üst sınırından iletim bandının alt sınırına direkt geçiş yapamazlar. Elektronun iletim bandına geçebilmesi için bir fotonun soğurulup ardından bir fononun salınması ya da soğurulması gerekmektedir. İndirekt bant geçişlerinde momentumun ve enerjinin korunumu;

$$\hbar \vec{k} = \hbar \vec{k}_c \pm \hbar \vec{k}_{fn} = 0 \quad (4.8)$$

$$h\nu = E_g \pm h\nu_{fn} \quad (4.9)$$

ile verilir ( Kittel, 1996). Denklem 4.8 ve Denklem 4.9' da,  $\vec{k}$  fotona ve  $\vec{k}_{fn}$  fonona eşlik eden dalga vektörleri olup,  $\vec{k}_c$ ; momentum uzayında valans bandının maksimumu ile iletim bandının minimumu arasındaki farktır. Burada,  $h\nu_{fn}$ ; fononun enerjisi,  $E_g$  ise; yarıiletken malzemeye ait yasak enerji aralığıdır. Denklemde bulunan (+) işaret fonon oluşumunu, (-) işaret ise fonon soğurulmasını ifade etmektedir. Şekil 4.7' de yarıiletkenin indirekt bant geçişi verilmiştir.



Şekil 4.7. Bir yarıiletkende indirekt (dolaylı) bant geçişi.

### 4.5.3. Optik mod ile yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesi

Optik ölçüm sonuçlarından faydalanarak yarıiletkenin bant yasak enerji aralığını da belirleyebiliriz.

Belki de en basit yöntem temel absorpsiyon spektrumundan faydalanarak optik mod metodunu kullanmaktır. Bu metot bize optik geçişler hakkında da bilgi verir.

Temel absorpsiyon spektrumu kullanılarak  $(\alpha h\nu) \sim (h\nu)^n$  grafiği kullanılır. Değişimin lineer kısmının doğrultusunun  $h\nu$  eksenini  $(\alpha h\nu)^2=0$ ' da kestiği noktanın enerji değeri yasak enerji aralığını vermektedir (Aydın, C. 2018). Yasak enerji aralığının belirlenmesinde,

$$\alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^n \quad (4.10)$$

bağlantısından yararlanılır. Denklem 4.10' a göre  $\alpha$ ; soğurma katsayısı,  $h\nu$ ; foton enerjisi,  $E_g$ ; yasak enerji aralığını belirtmektedir (Aydın, C. 2018). Buradaki  $n$  izinli direkt geçişler için 1/2, yasaklı direkt geçişler için 3/2 olarak alınmaktadır.

### 4.6. Yüzey Fotoğrafları

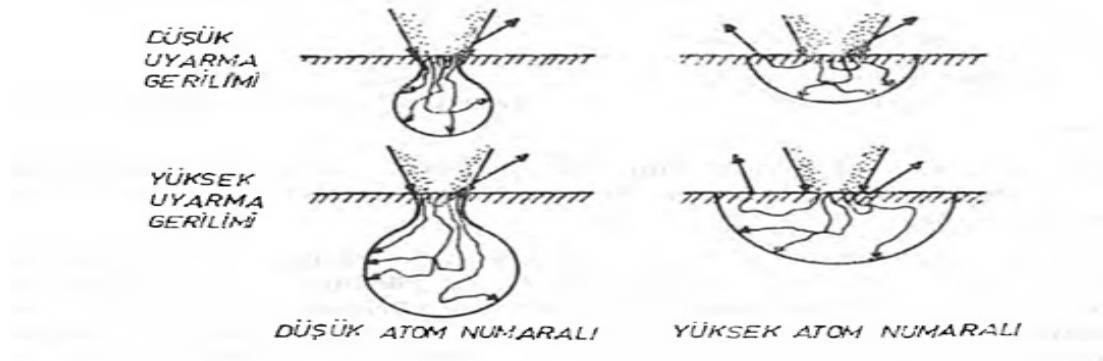
Teknolojinin ilerlemesi insan gözünün görmediği şeyleri görmemizi sağlamıştır. Geliştirilen optik cihazlar görüntü iletimin sağlayan ışık yollarını merceklerle değiştirerek yüksek büyütme sayesinde istenilen görüntüler elde edilmiştir.

Elektronik prensipler çerçevesinde tasarlanan elektron mikroskobu bu amaca hizmet etmektedir. Elektron mikroskopları elektron kaynağından çıkan elektronların numune ile etkileşerek elde edilen verilerin algılayıcılar tarafından işlenerek görüntü oluşmasını sağlar (Ay, O. 2017).

#### 4.6.1. Enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi

Elektron demeti ve numune arasında etkileşimler meydana gelmektedir. Numune atomları ile çarpışma sonucu yön değiştirerek geri saçılan atomlar geri saçılmış elektronları oluştururlar. Numuneyi oluşturan dış yörünge atomlarının dış yörünge elektronları ile çarpışma sonucunda Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi vermektedir. Çarpışma sonucunda enerjisini kaybeden elektronlar ikincil elektronları oluşturur. İkincil elektronlar yüzeyin daha derinliklerinde geldiği için yüksek çözünürlüklü topografik görüntüler elde edilir. Elektron demetleri tarafından uyarılan elektronlar x-ışınları yaymaktadır. Bu ışınlar elementler hakkında bilgi vermektedir (Ay, O. 2017).

Atom ağırlığı yüksek olan numunelerde yarı küre hacimsel etkileşim meydana gelmektedir. Atom ağırlığı düşük olan numunelerde yağmur damlası görünümünde hacimsel etkileşim meydana gelmektedir. Şekil 4.8' de gösterilmektedir (Ay'dan, 2017).



Şekil4.8. Atom ağırlığı elektron demeti hacimsel etkileşim şematik gösterimi (Ay, O.2017).

EDS analizi numune üzerindeki kompozisyonu tanımlamak için taramalı elektron mikroskopunda kullanılan bir yöntemdir. Numune üzerine gönderilen elektron demeti ile analiz işlemi yapılır.

Numunenin yüzeyine çarpan yüksek enerjili atomlar numuneden elektron koparır. Bu kopan elektron eğer iç yörüngeden kopmuş ise kararlılığı sağlamak için dış yörünge atomları sıçrama yapar. Dış yörüngede ki atomun enerjisi daha fazla olduğu için ışınma

yaparak enerjisini kaybeder. Kaybedilen enerji x-ışını olarak açığa çıkar. X-ışının karakteristik özelliği yapının element atomunu barındırdığını ve hangi enerji kabuğundan yayımlandığı hakkında bilgi verir. Meydana gelen x-ışınları pikler meydana getirir ve elementel analiz yapılmış olur.

## 4.7. Elektriksel Özellikler

### 4.7.1. Giriş

Yarıiletkenlerde elektriksel iletim bandındaki elektronlar ve valans bandındaki holler ile sağlanmaktadır. Bir yarıiletkene elektrik alan uygulandığında serbest parçacıklar elektrik alana zıt yönde hareket etmeye başlar. Elektrik alan etkisiyle oluşan akım yoğunluğu,

$$J = ne\mu_n + pe\mu_p = Ee(n\mu_n + p\mu_p) \quad (4.11)$$

Denklem 4.11' de J; akım yoğunluğu,  $\mu_n$ ; elektronların mobilitesi,  $\mu_p$ ; hollerin mobilitesi olarak tanımlanmaktadır. Elektriksel iletkenliği birim elektrik alan başına düşen akım yoğunluğu olarak tanımlarsak;

$$\sigma = J/E \quad (4.12)$$

$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \quad (4.13)$$

Denklem 4.12' de görüldüğü gibi elektriksel iletkenlik akım yoğunluğu ve elektriksel alana bağlıdır. Denklem 4.13 yarıiletkenlerde elektriksel iletkenliğin mobilitelere bağlı olduğunu göstermektedir. Denklem 4.14' te yarıiletkenlerde özdirenç verilmektedir.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{e(n\mu_n + p\mu_p)} \quad (4.13)$$

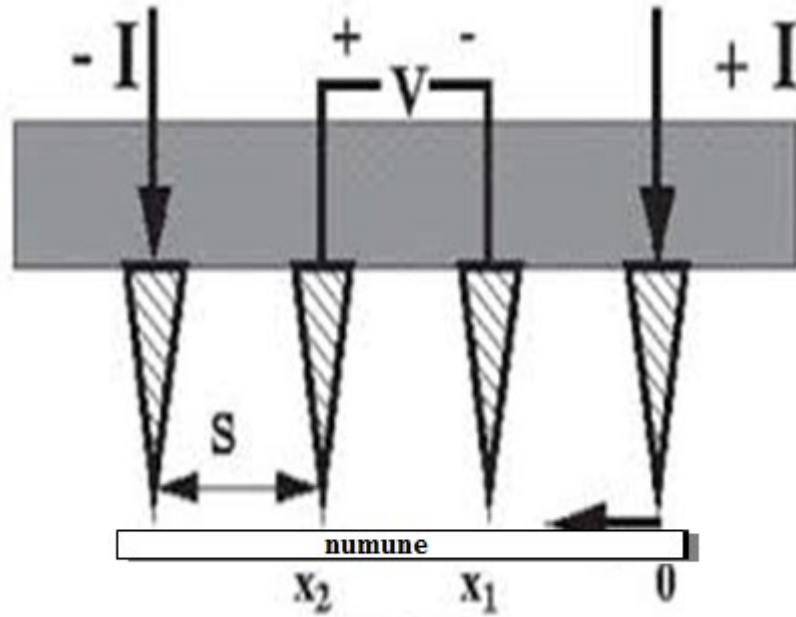
#### 4.7.2. CdS filmlerinin özdirenç değerleri

Yarıiletkenlerde özdirenç önemli özelliklerden biridir. Özdirenci ölçmek için farklı metotlar kullanılmaktadır. Elde edilen CdS filmlerinin özdirenç değerleri dört uç (four probe) tekniği ile hava ortamında ve oda sıcaklığında sağlanmıştır. Dört uç tekniği ile düşük özdirence sahip yarıiletkenlerin özdirenç değerleri kolaylıkla ölçülebilmektedir.



Şekil 4.9. Lucas Lab marka dört uç metodlu ölçüm cihazının fotoğrafı.





Şekil 4.10. Dört uç metodu şematik diyagramı.

Şekil 4.10' da gösterilen dört uç tekniği şematik diyagramında eşit aralıklarla dört probun yer aldığı görülmektedir. Dış kısımlarda bulunan iki uç arasından sabit akım geçirilirken, iç kısımdaki iki uç boyunca meydana gelen voltaj düşüşü okunarak iletkenlik hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.2. CdS filmlerinin öz direnç değerleri.

Sıcaklık (°C)	Özdirenç ( $\Omega\text{cm}$ )
Tavlanmamış	$7,19 \times 10^5$
250	$7,60 \times 10^5$
300	$8,00 \times 10^5$
350	$6,73 \times 10^5$

## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. CdS Filmlerinin X-Işını Kırınım Desenleri

CdS yarıiletken filmlerinin yapısal özelliklerini incelemek için Şekil 5.1' de verilen ESOĞÜ- Arum Araştırma Merkezine ait Panalytical EMPYREAN marka X-ışını cihazı kullanılmıştır. Farklı tavlama sıcaklıklarında elde ettiğimiz CdS filmlerinin kırınım desenleri toz kırınım metodu kullanılarak alınmıştır. Sonuçları elde ederken  $20^{\circ} \leq 2\theta \leq 60^{\circ}$  tarama aralığı kullanılmıştır. Elde edilen CdS ince filmlerinin ASTM kartına göre hangi düzlemlere ait olduğu piklerin üzerinde parantez içinde yazılmıştır.



Şekil 5.1. Panalytical EMPYREAN marka XRD cihazının fotoğrafı.

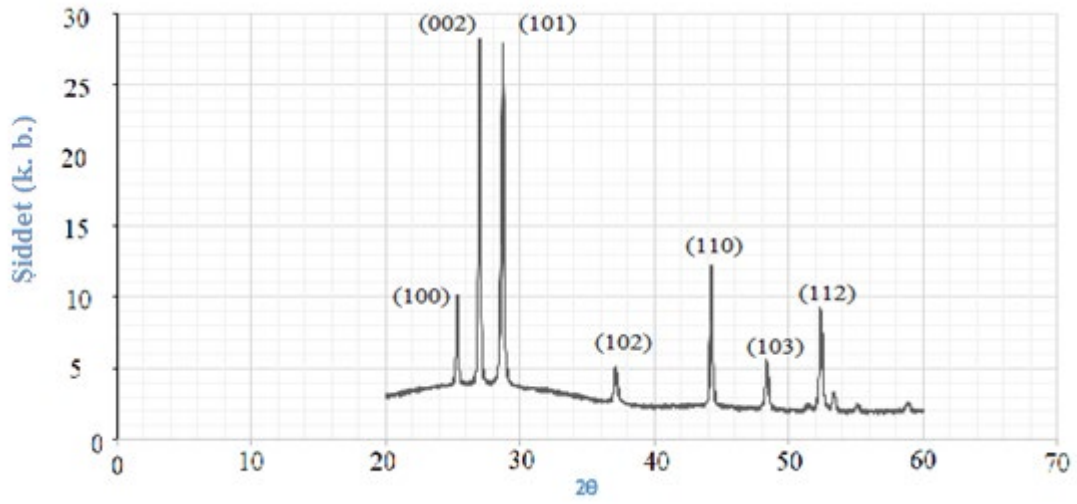
Şekil 5.2' de tavlanamamış CdS filminin x-ışını kırınım deseni verilmiştir. Bu deseni incelediğimizde birbirinden farklı yedi adet pik görülmektedir. Bu piklerden iki tanesinin diğerlerine göre daha şiddetli olduğu görülmektedir. Şekil 5.2' de görülen kırınım desenlerinin hepsi hegzagonal yapıdaki CdS' ye aittir.

Şekil 5.3' de 250 °C' de tavlanan CdS filmlerinin kırınım desenleri yer almaktadır. Bu tavlama da yedi adet şiddetli pik meydana geldiği görülmektedir. Desenleri incelediğimizde genel olarak pik şiddetlerinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu tavlama sıcaklığında oluşan filmlerinin kırınım desenindeki pikler de hegzagonal CdS' ye aittir.

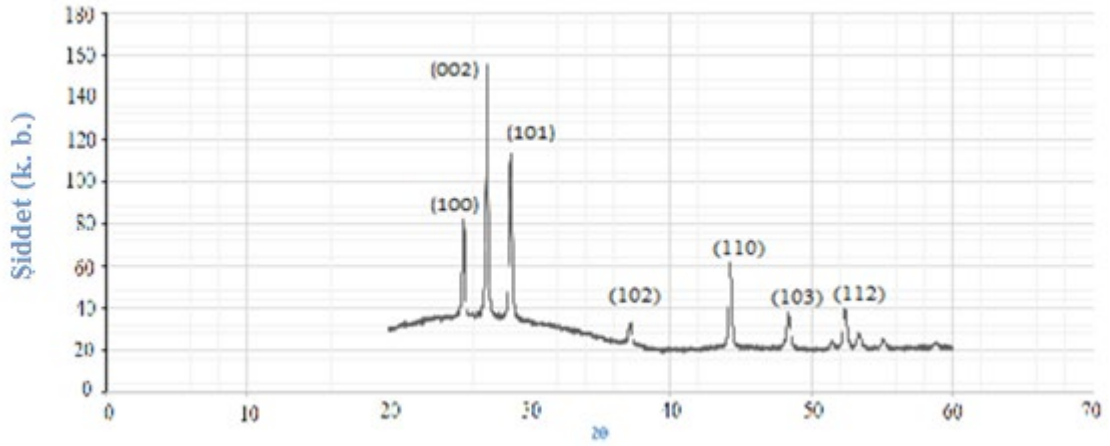
Şekil 5.4' te 300 °C' de tavlanan CdS filmine ait kırınım desenleri yer almaktadır. Bu kırınım desenini incelediğimizde yarı pik genişlikleri birbirinden farklı yedi adet pik bulunmaktadır. Bu piklerden dört tanesinin diğerlerine göre daha şiddetli olduğu görülmektedir. T=300 °C' de tavlama da, tavlanamamış CdS filmine göre tercihli yönelme (101) doğrultusunda olmuştur. Bunun nedeni tam emin olunmamakla birlikte kristalleşmede bir değişim olmuştur.

Şekil 5.5' te 350 °C' de tavlanan CdS filmine ait kırınım desenleri görülmektedir. bu kırınım deseninde Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' ten farklı olarak yarıpik genişlikleri birbirinden farklı sekiz adet pik bulunduğu görülmektedir. Bu desen üzerindeki piklerin hegzagonal yapıdaki CdS' ye ait olduğu görülmektedir. Desen üzerindeki piklerden iki tanesi diğerlerine göre daha keskin ve daha şiddetli olduğu görülmektedir.

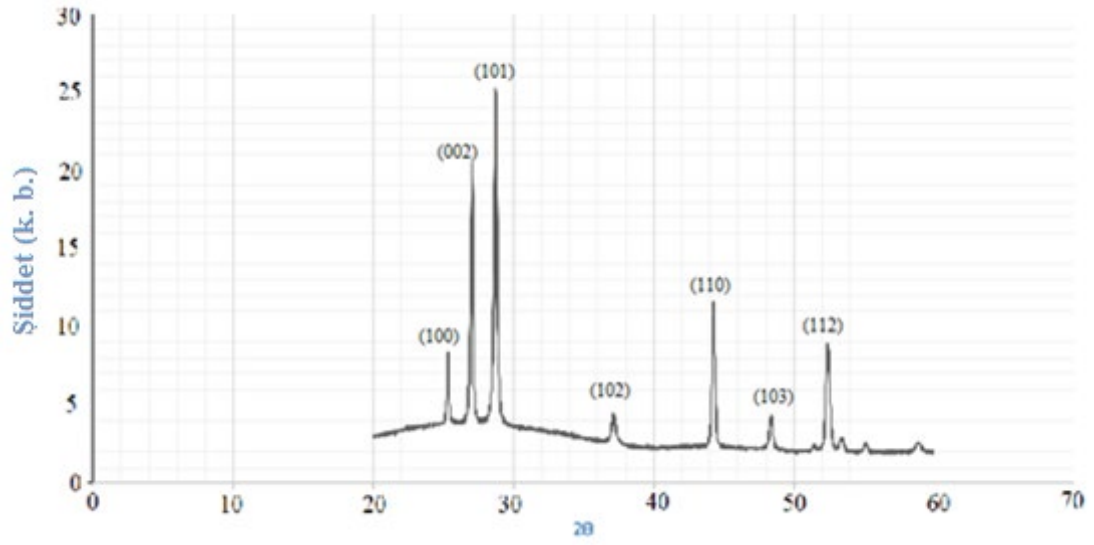
XRD desenlerinin incelenmesi sonucunda, kristalleşmenin iyi olduğunu, pik şiddetleri ve yarıpik genişliklerine göre hemen hemen iyi olduğunu söyleyebiliriz. Tercihli yönelme sadece 300 °C' deki tavlama da değiştiği görülmüştür. Oluşan bütün filmlerin hegzagonal yapıda olduğu belirtilmiştir.



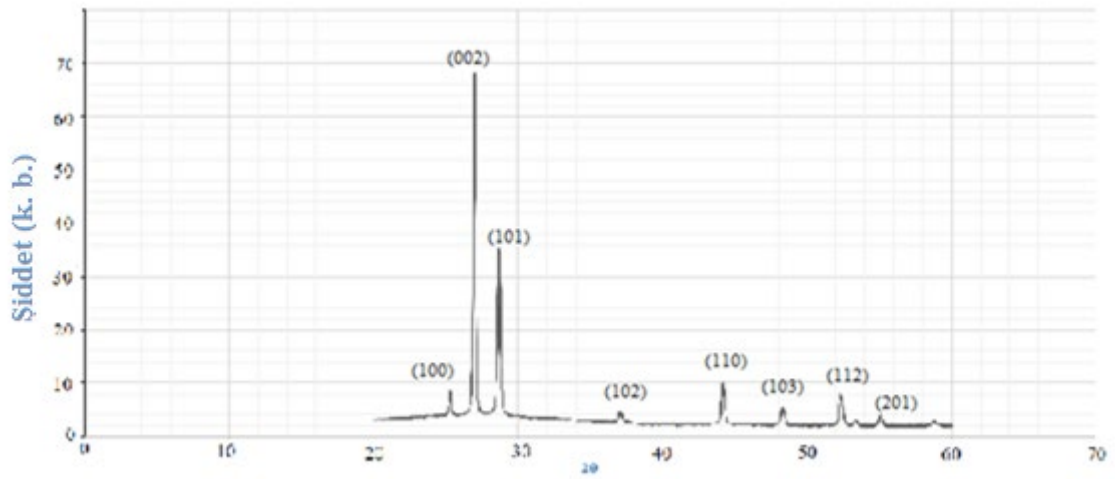
Şekil 5.2. Tavlanmamış CdS filminin x-ışını kırınım deseni.



Şekil 5.3. 250 °C' de tavlanan CdS filminin x-ışını kırınım deseni.



Şekil 5.4. 300 °C' de tavlanan CdS filminin x-ışını kırınım deseni.



Şekil 5.5. 350 °C' de tavlanan CdS filminin x-ışını kırınım deseni.

Çizelge 5.1. CdS ince filmlerinin tane boyutu ( $D$ ) değerleri.

Sıcaklık	$D$ (nm)
Tavlanmamış	22
250 °C	43
300 °C	44
350 °C	41

Filmlerdeki kristallerin tanecik büyüklüğü x-ışını kırınım verilerinden hesaplanabilir. X-ışını kırınım desenlerinin genişlikleri tanecik büyümesine paralel olarak genişlemektedir.

CdS filmlerinin en şiddetli pik için tercihli yönelimlerinin tane boyutu ( $D$ ) değerleri Eşitlik 4.1' de verilen Scherrer formülü kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Tavlanmış CdS yarıiletken filmlerinin tane boyutunda artış olduğu gözlemlenmiştir.

## 5.2. CdS Filmlerinin Yasak Enerji Aralıklarının Belirlenmesi

Tavlanmamış ve farklı farklı sıcaklıklarda tavlanan CdS filmlerinin absorptans tarama aralığı 300-900 nm olarak alınmıştır. Elde edilen verilerle  $(\alpha h\nu)^2-h\nu$  grafiğı çizilmiştir. Optik metod kullanılarak bütün filmler için yasak enerji aralığı hesaplandı.

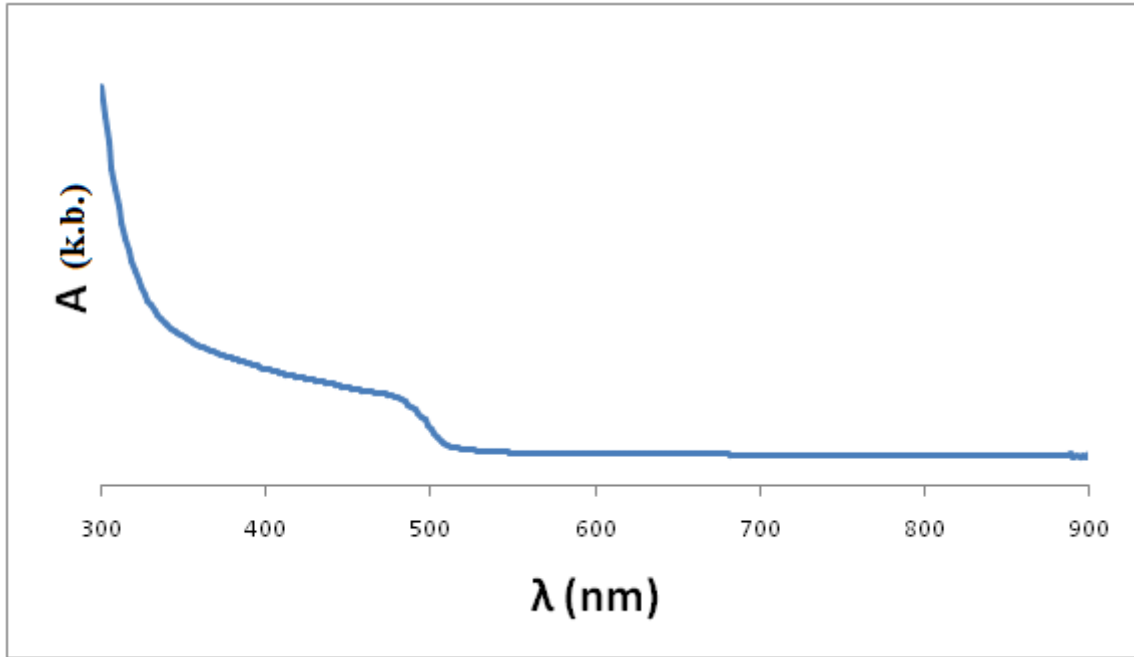
Şekil 5.6 (a)' da tavlammamış CdS absorptans grafiğı verilmiştir. Şekil 5.6 (b)' de ise  $(\alpha h\nu)^2-h\nu$  grafiğı görölmektedir. bu grafikten elde edilen sonuçlara göre yasak enerji aralığı 2,42 eV olarak bulunmuştur.

Şekil 5.7 (a)' da 250 °C' de tavlanan CdS filminin absorptans grafiğı yer almaktadır. Şekil 5.7 (b)' de bulunan  $(\alpha h\nu)^2-h\nu$  grafiğıne göre yasak enerji aralığı 2,43 eV olarak hesaplanmıştır.

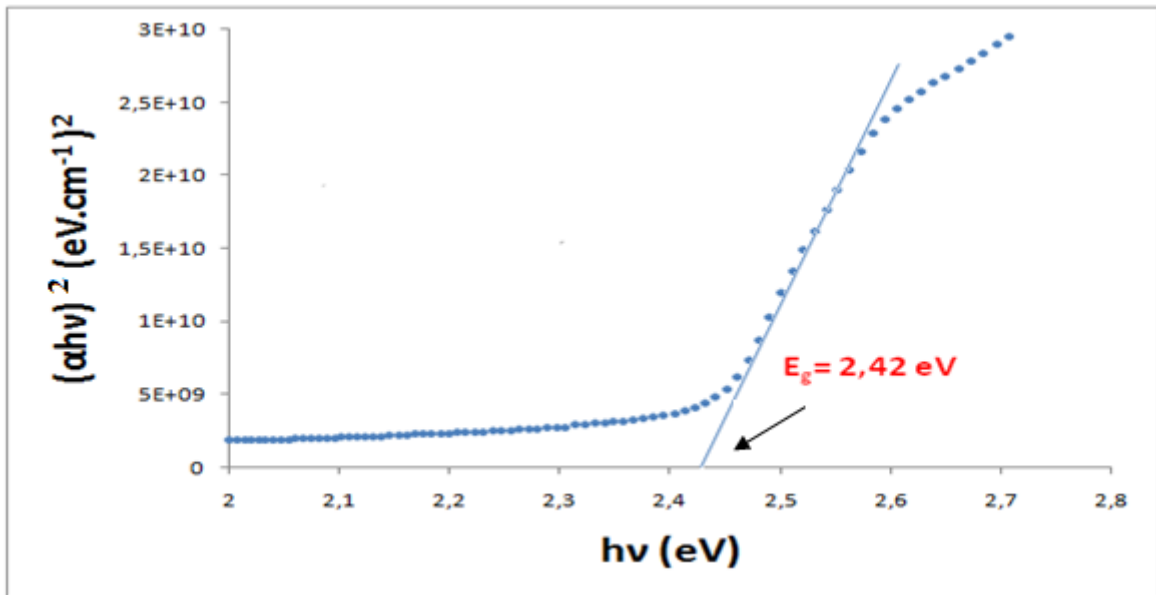
Şekil 5.8 (a)' da 300 °C' de tavlanan CdS absorptans grafiğı verilmiştir. Şekil 5.8 (b)' de ise  $(\alpha h\nu)^2-h\nu$  grafiğı görölmektedir. bu grafikten elde edilen sonuçlara göre yasak enerji aralığı 2,44 eV olarak bulunmuştur. Yasak enerji aralığında artış gözlemlenmiştir.

Şekil 5.9 (a)' da 350 °C' de tavlanan CdS filminin absorptans grafiğı yer almaktadır. Şekil 5.9 (b)' de bulunan  $(\alpha h\nu)^2-h\nu$  grafiğıne göre yasak enerji aralığı 2,44 eV olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen verilerle grafikler çizilmiştir. Çizilen grafiklerden yararlanılarak yasak enerji aralıkları hesaplanmıştır. Tavlama sıcaklığının artmasıyla birlikte çok az miktarda yasak enerji aralığında artış meydana gelmiştir. 300 °C' den sonra ise neredeyse sabitlendiğı gözlemlenmiştir. Bu sonuç Enriquez vd. (2013) yaptığı çalışmalarla uyum içerisindedir.



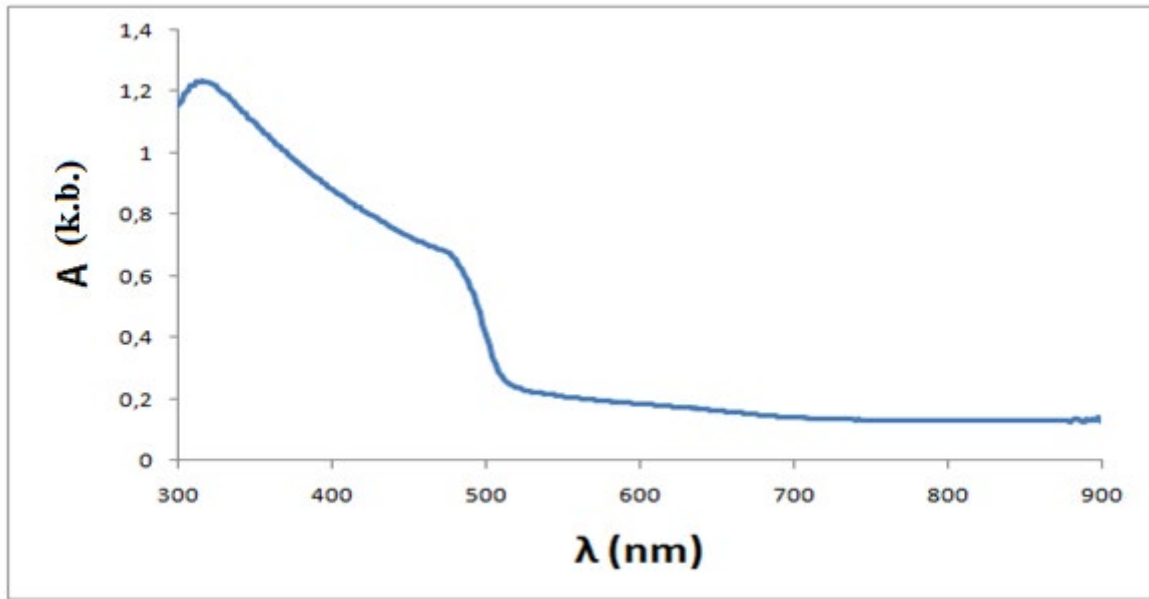
(a)



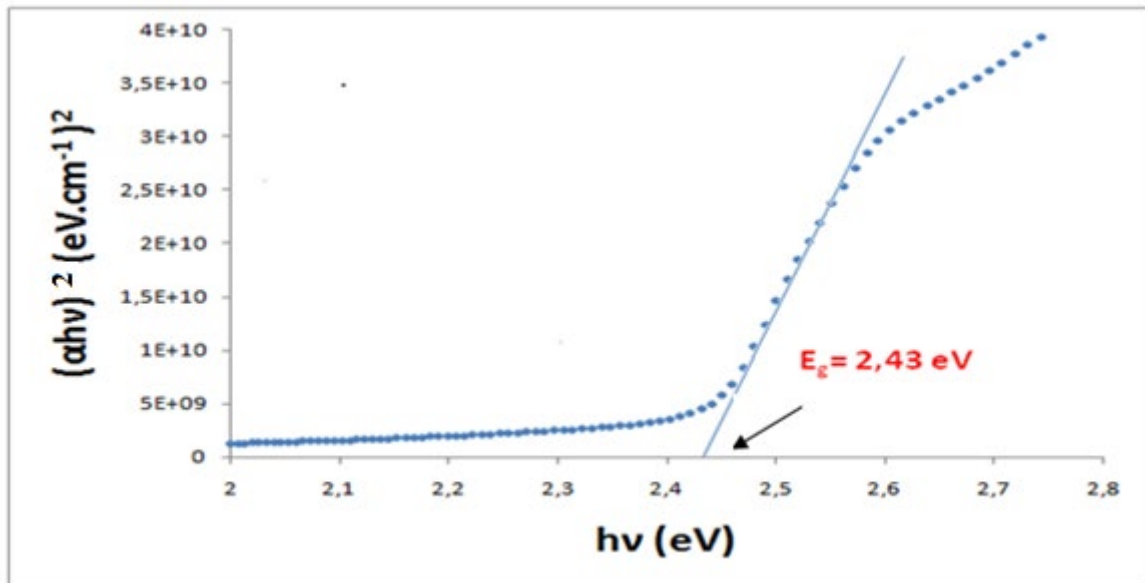
(b)

Şekil 5.6. Tavlanmamış CdS filminin (a) absorbans ve (b)  $(\alpha h\nu)^2$ -  $h\nu$  grafiği.



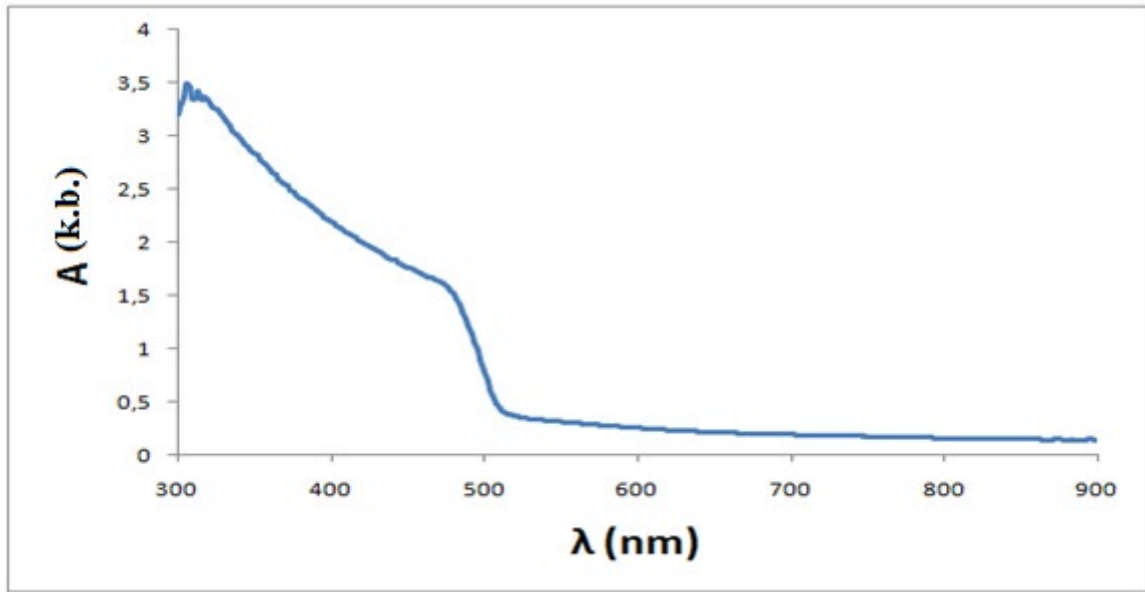


(a)

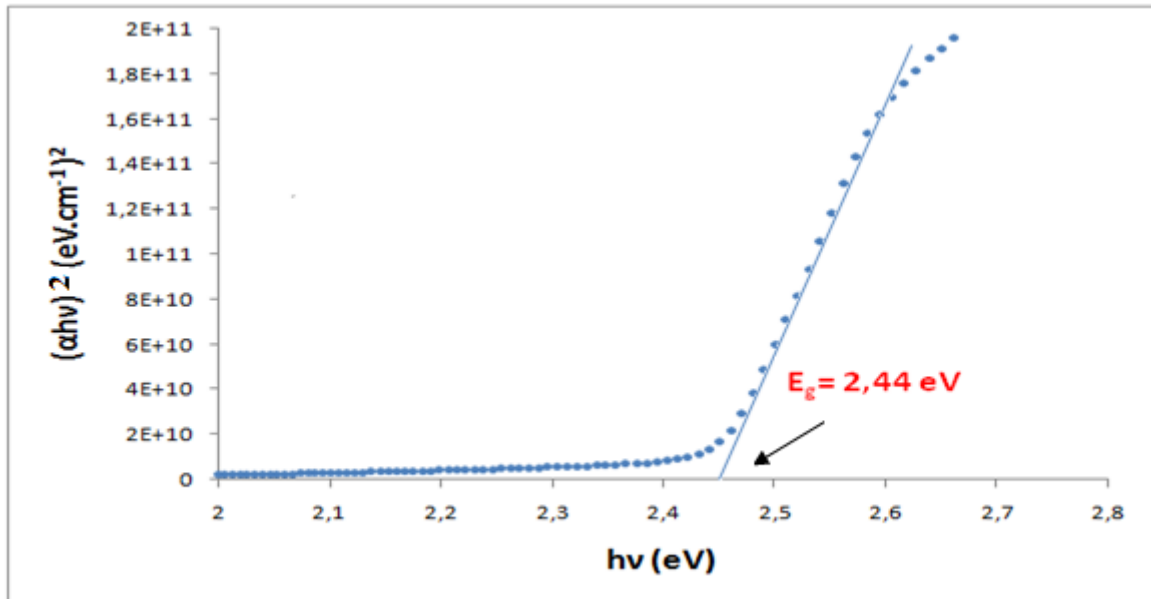


(b)

Şekil 5.7. 250 °C' de tavlanan CdS filminin (a) absorbans ve (b)  $(\alpha h\nu)^2$ -  $h\nu$  grafiği.

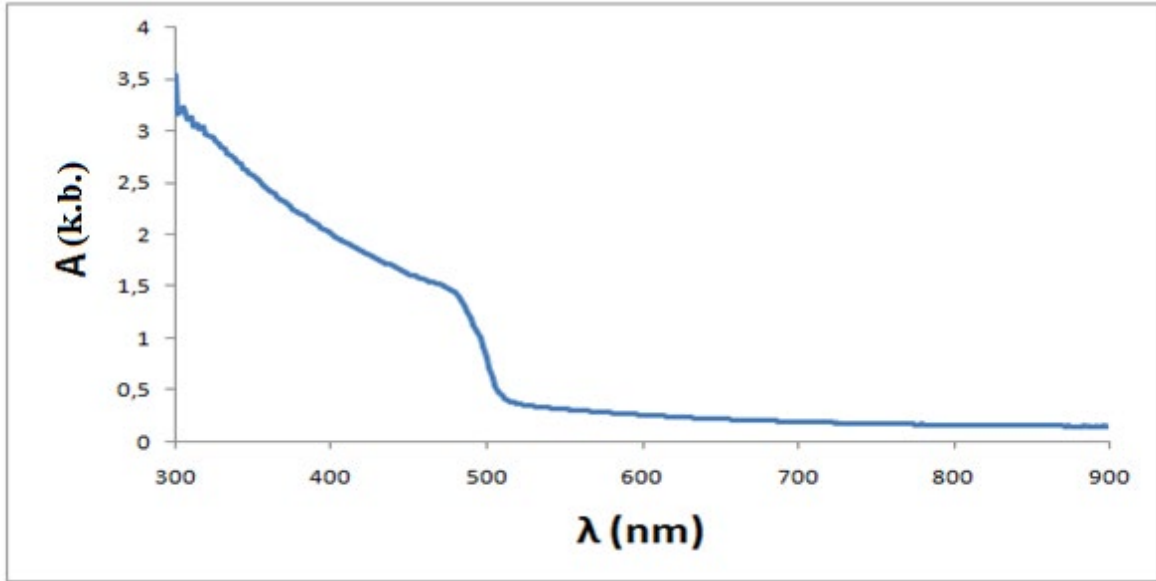


(a)

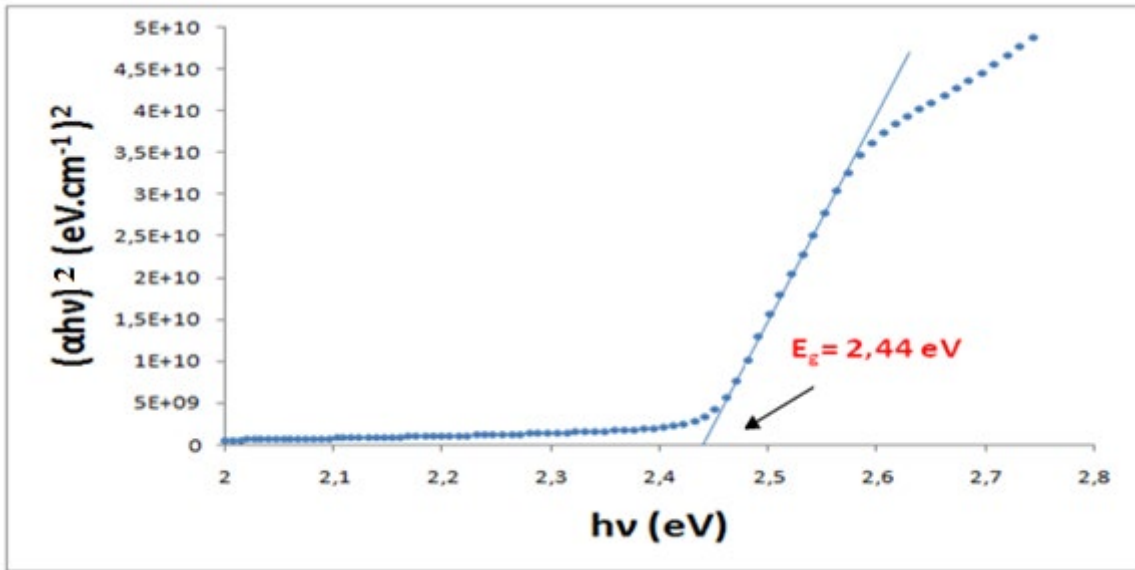


(b)

Şekil 5.8. 300 °C' de tavlanan CdS filminin (a) absorbans ve (b)  $(\alpha h\nu)^2$ -  $h\nu$  grafiği.



(a)

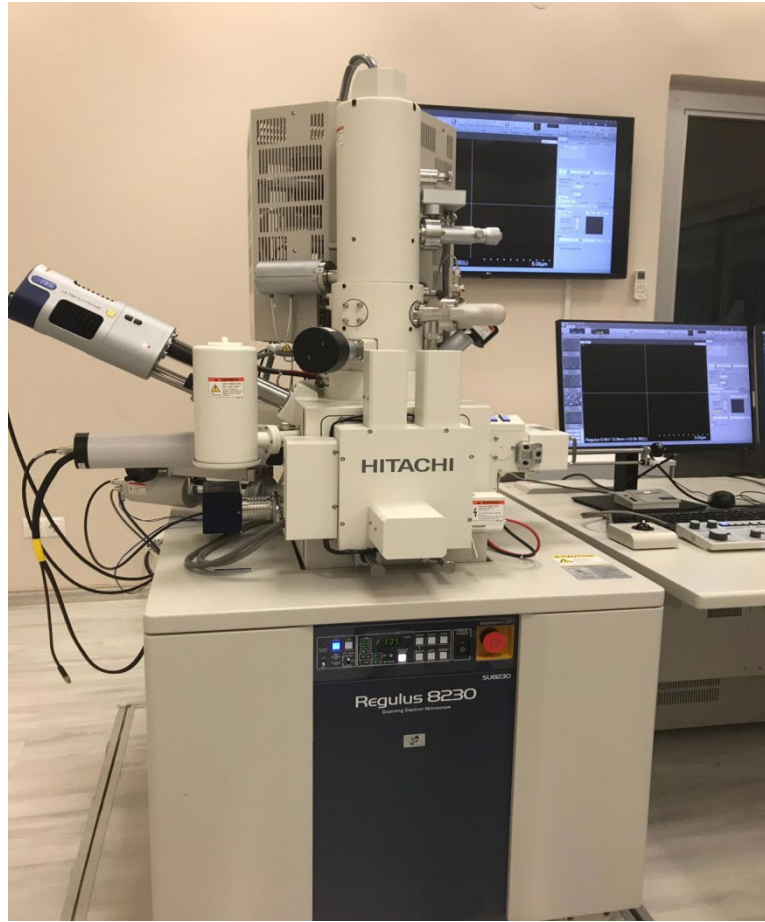


(b)

Şekil 5.9. 350 °C' de tavlanan CdS filminin (a) absorbans ve (b)  $(\alpha h\nu)^2$ -  $h\nu$  grafiği.

### 5.3. CdS Filmlerinin SEM Görüntülerine EDX spektrumları

Kimyasal püskürtme yöntemiyle elde edilen CdS filmlerinin yüzey görüntülerini incelemek için Şekil 5.10' da gösterilen, ESOGÜ-Arum Araştırma Merkezine ait Hitachi Regulus 8230 Emisyon taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Daha iyi görüntü elde edebilmek için filmlerin yüzeyleri altın-paladyum ile kaplanmıştır. Görüntüler EHT voltajı 2.00, 10.00, 25.00 ve 250.00 x büyütme oranlarında elde edilmiştir.



Şekil 5.10. Hitachi Regulus 8230 Emisyon taramalı elektron mikroskobunun fotoğrafı.

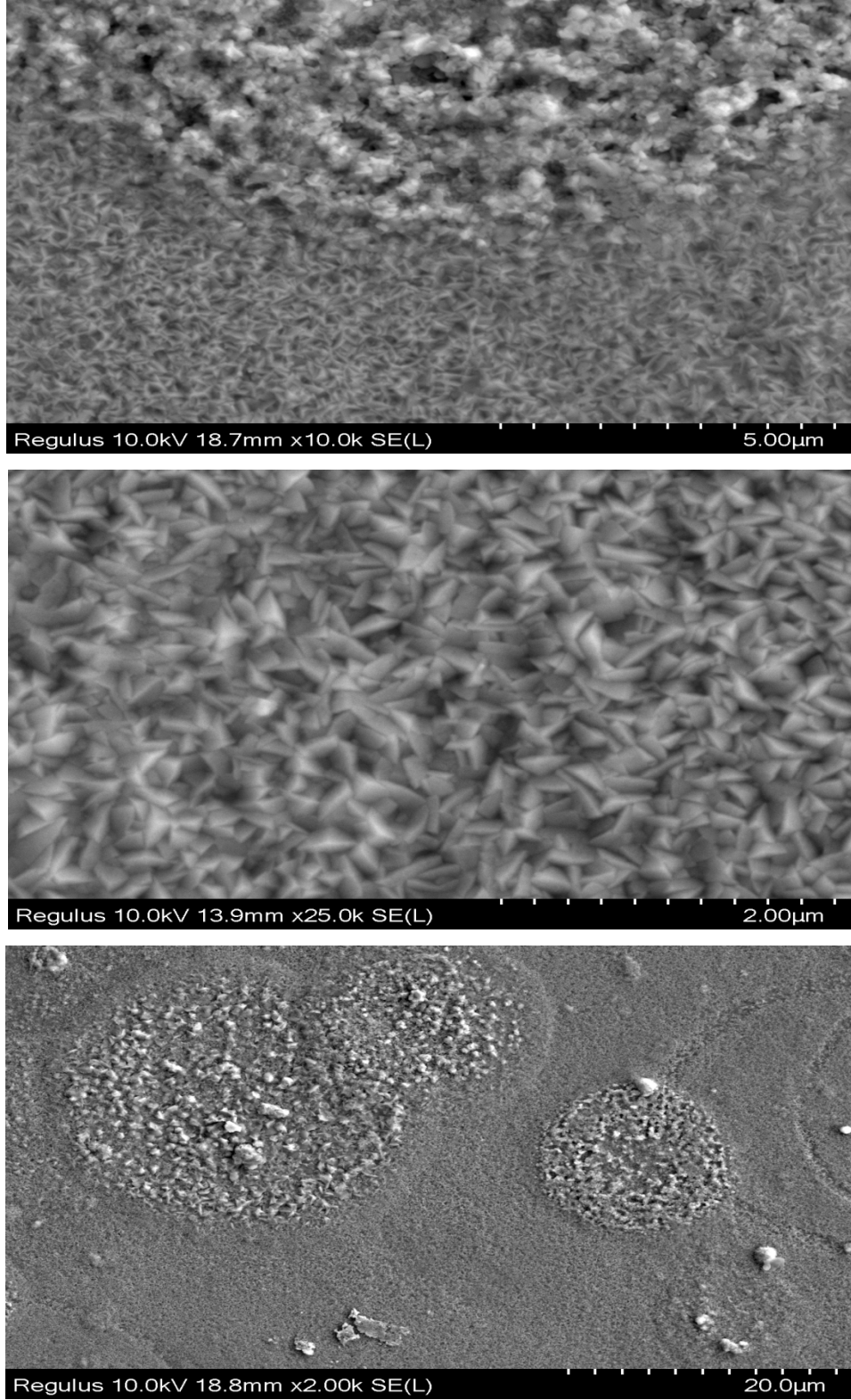
Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de tavlannmamış CdS filmlerinin görüntüleri yer almaktadır. Görüntüde homojen yüzey üzerinde benekler mevcuttur. Bazı görüntülerde büyük daireler gözlenmektedir. Bunun nedeni büyük damlacıkların tabana ulaşmasından dolayı, ani sıcaklık düşmesinden dolayı patlama sonucunda oluşan bölgelerdir. Şekil 5.19’ da tavlannmamış CdS filminin EDX spektrumunda yüksek oranda Cd ve S gözlemlenmektedir.

Şekil 5.13 ve 5.14’ de 250 °C’ de tavlannan CdS filminin görüntüleri yer almaktadır. Üzeride bulunan beyaz beneklerin tavlannmamış CdS film görüntüsüne göre azalma göstermektedir. Şekil 5.20’de verilen EDX spektrumunda ise Cd miktarında Şekil 5.19’ a göre azalma mevcuttur. Şekil 5.15 ve 5.16’ da 300 °C’ de tavlana CdS filminin görüntüsü verilmektedir. Farklı büyüklükteki beyaz beneklerde artma meydana gelmiştir. Benekler homojen şekilde dağılmamıştır. Şekil 5.21’ de verilen EDX spektrumu sonuçlarına göre Cd miktarında çok azda olsa artış görülmektedir. Bunun nedeni film yüzeylerinden EDS alınan noktaların aynı homojenlikte olmamalarıdır.

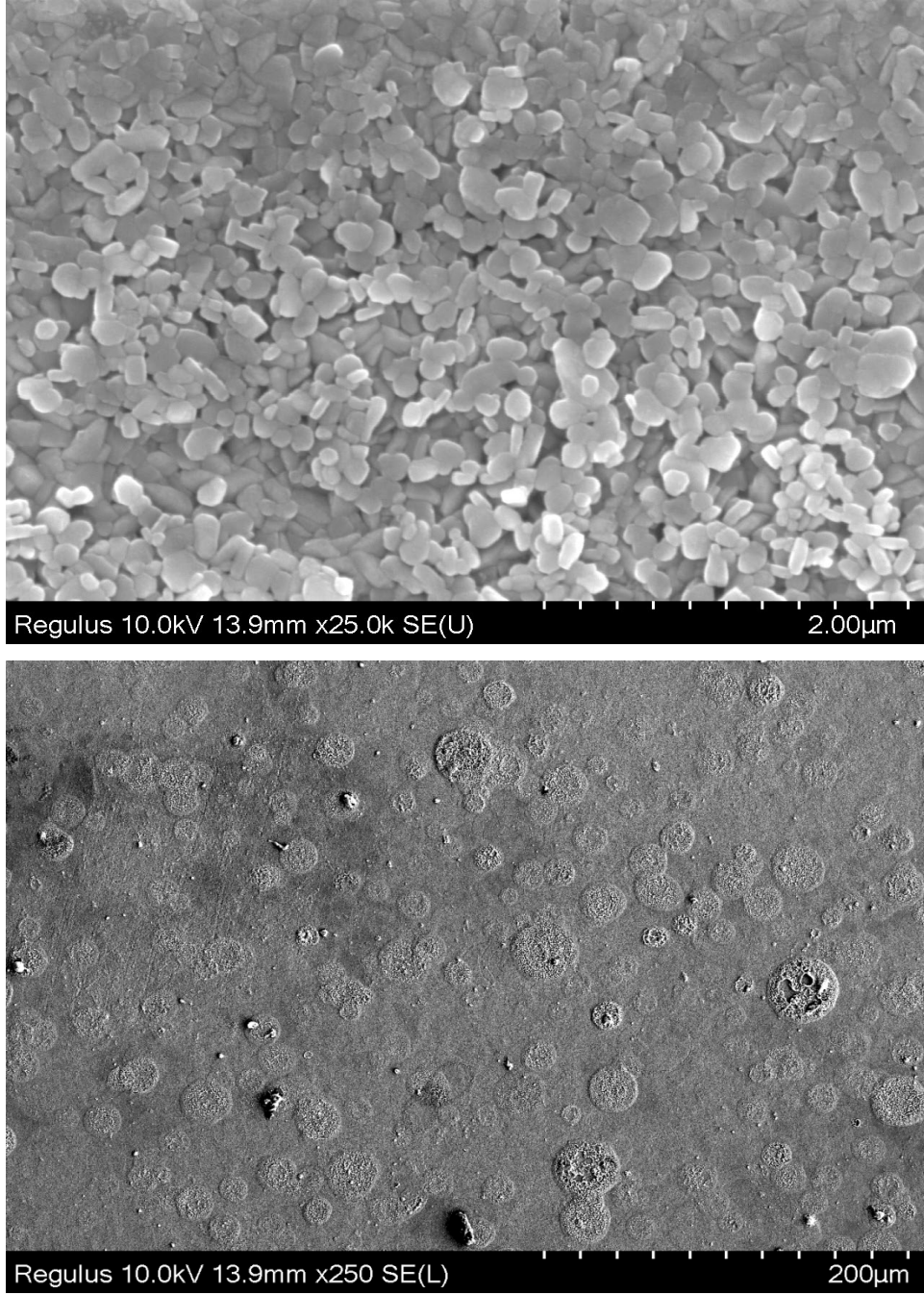
Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’ de 350 °C’ de tavlana CdS filminin görüntüsü yer almaktadır. Diğer görüntülere göre daha kompleks yapıdadır. Şekil 5.22’ de EDX spektrumu verilmiştir. Bu sıcaklıkta tavlammada Cd oranında düşüş ve S oranında artış görülmektedir.

Çizelge 5.2. CdS ince filmlerinin EDX spektrumuna göre Cd ve S oranı.

CdS°C	Cd %	S %
Tavlannmamış	80,17	19,83
250	80,37	19,63
300	80,47	19,53
350	79,89	20,11

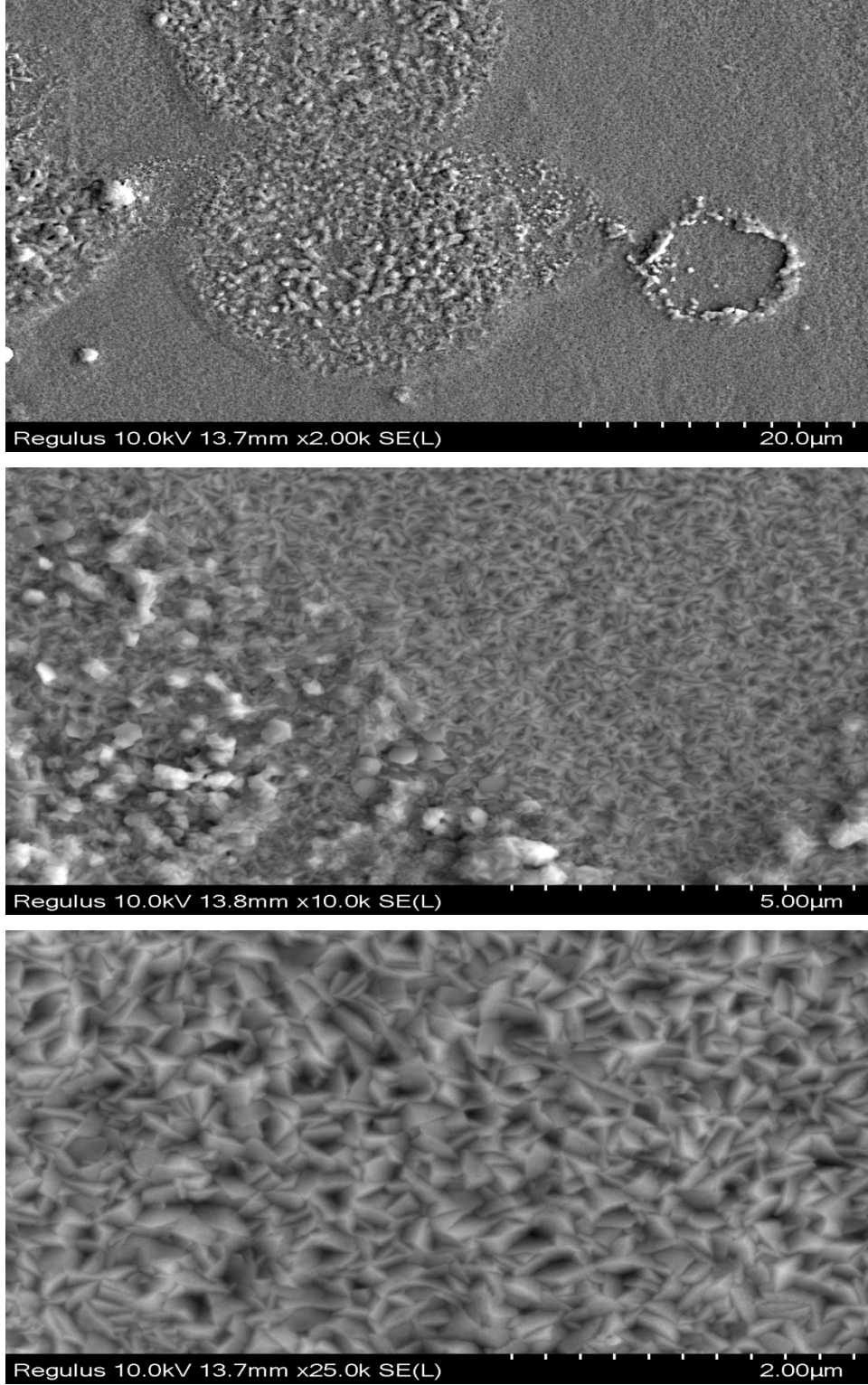


Şekil 5.11. Tavlanmamış CdS filmlerinin 2.00 x, 10.00 x ve 25.00 x için SEM görüntüleri.



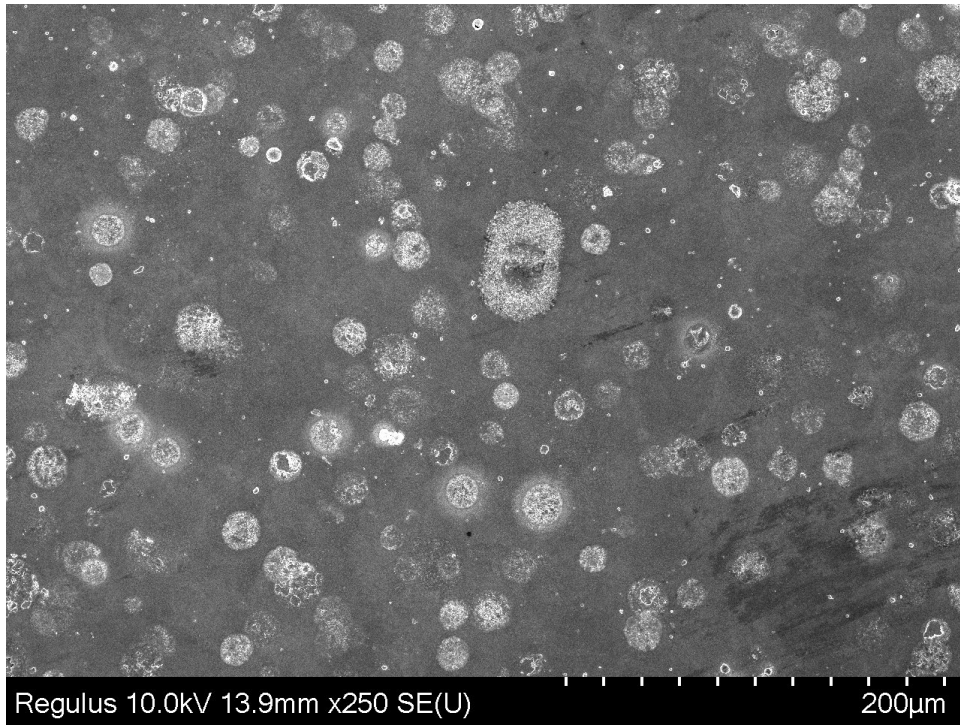
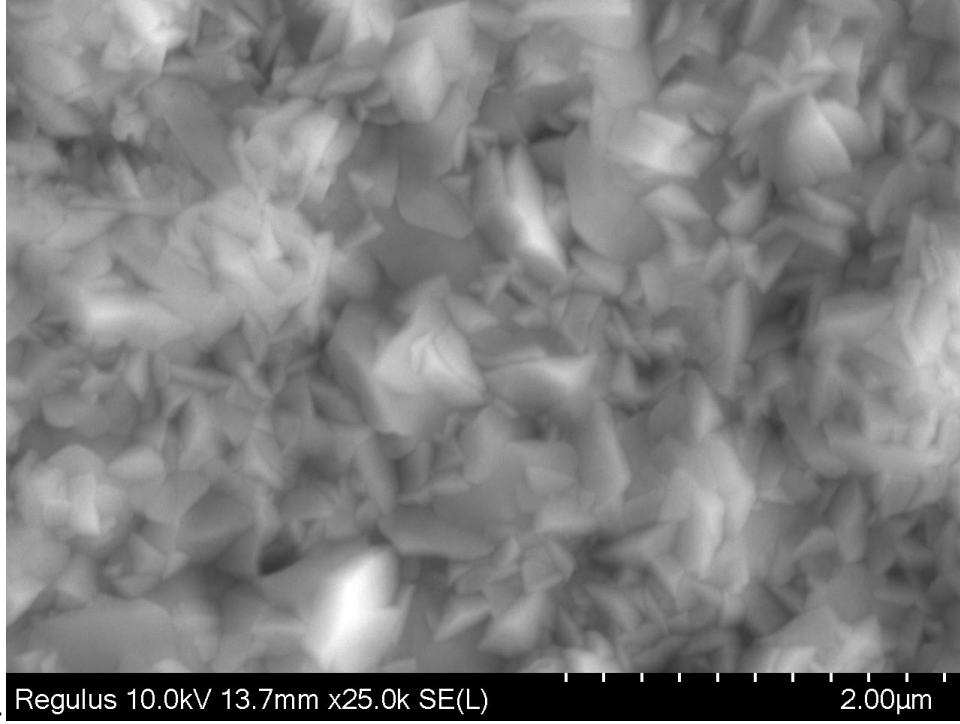
Şekil 5.12. Tavlanmamış CdS filmlerin 25.00 x ve 250.00 x için SEM görüntüleri.



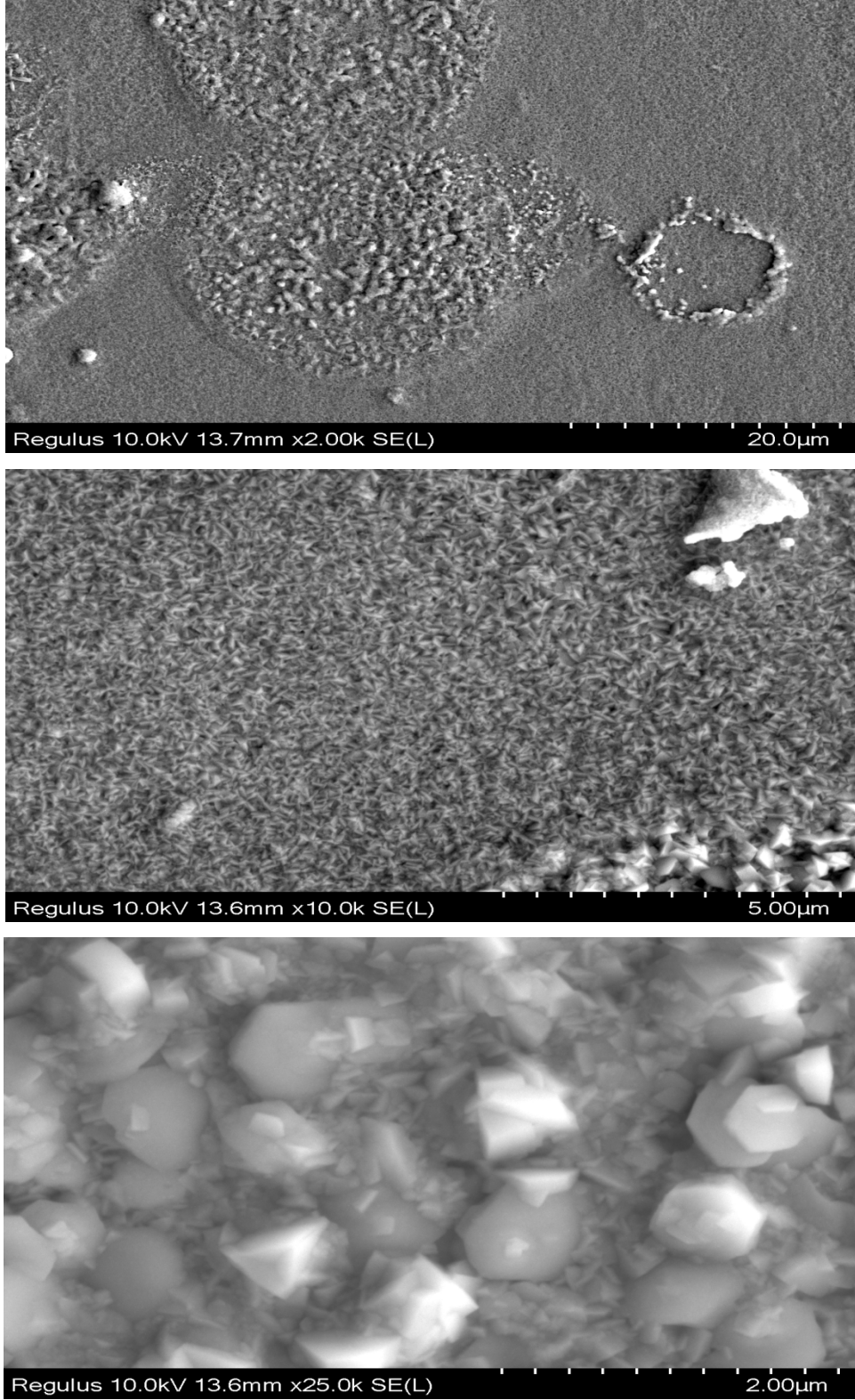


Şekil 5.13. 250 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 2.00 x, 10.00 x ve 25.00 x için SEM görüntüleri.

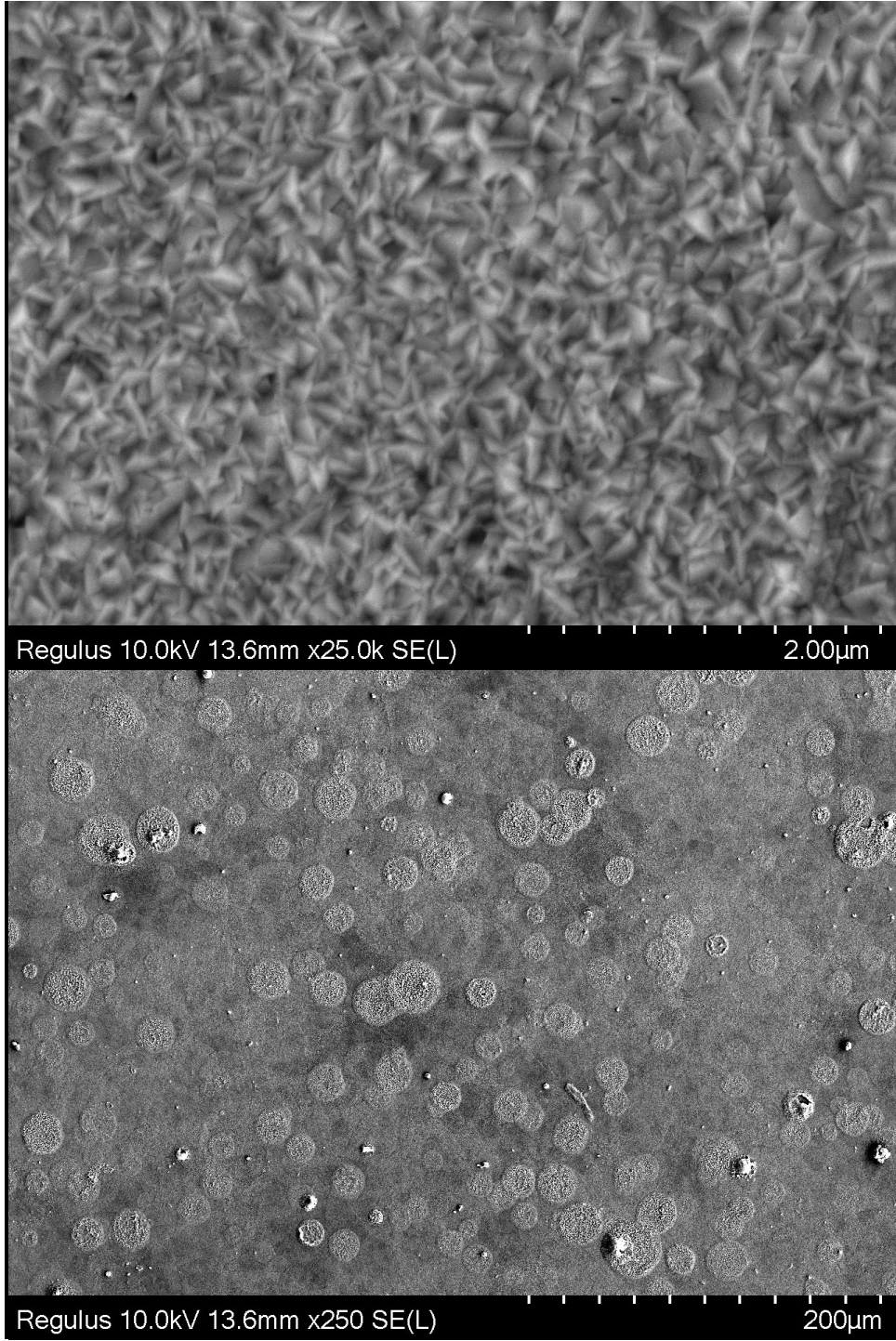




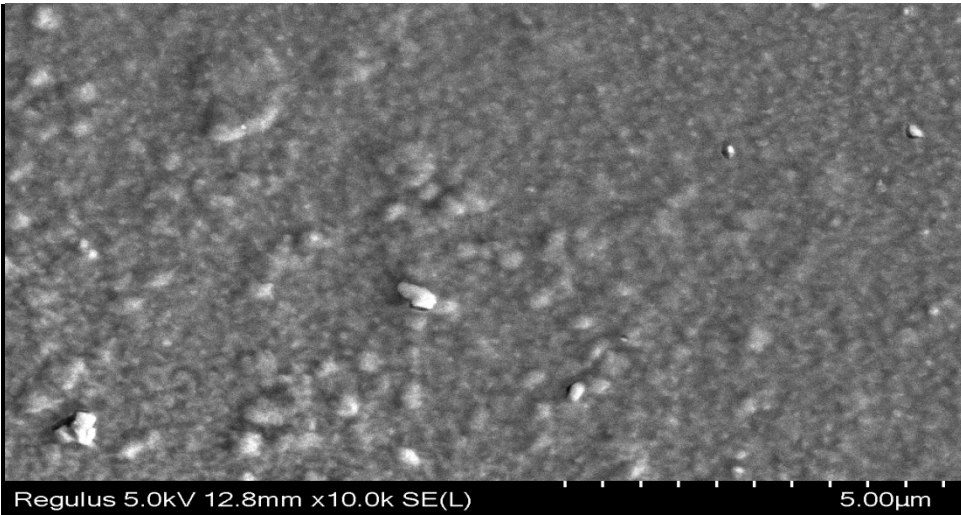
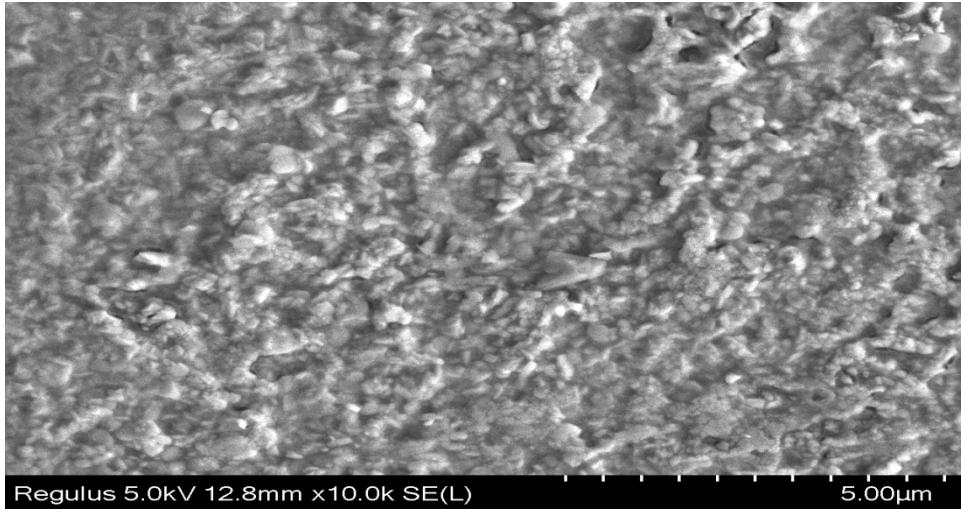
Şekil 5.14. 250 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 25.00 x ve 250.00 x için SEM görüntüleri.



Şekil 5.15. 300 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 2.00 x, 10.00 x ve 25.00 x için SEM görüntüleri.

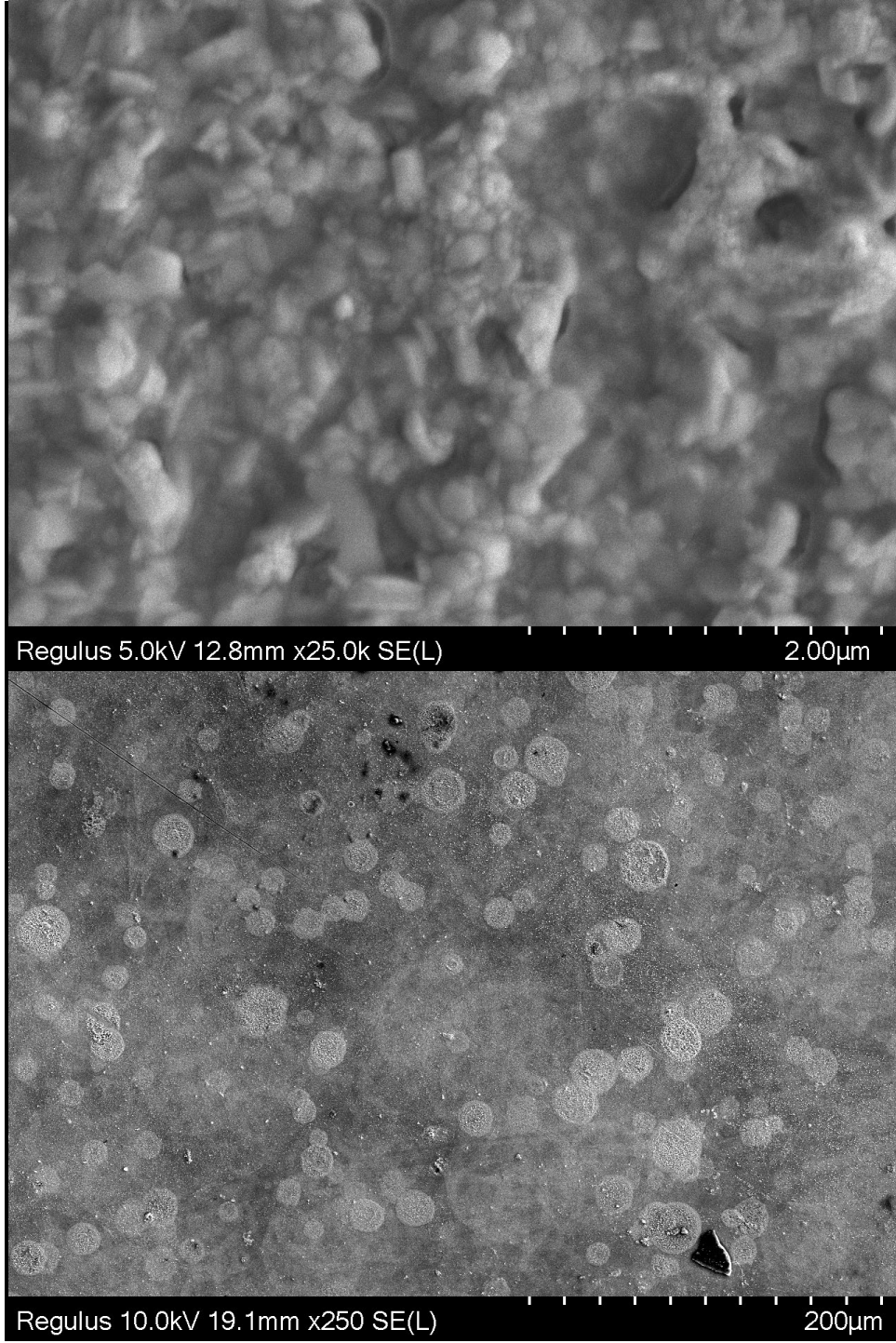


Şekil 5.16. 300 °C’de tavlanan CdS filmlerinin 25.00 x ve 250.00 x için SEM görüntüleri.

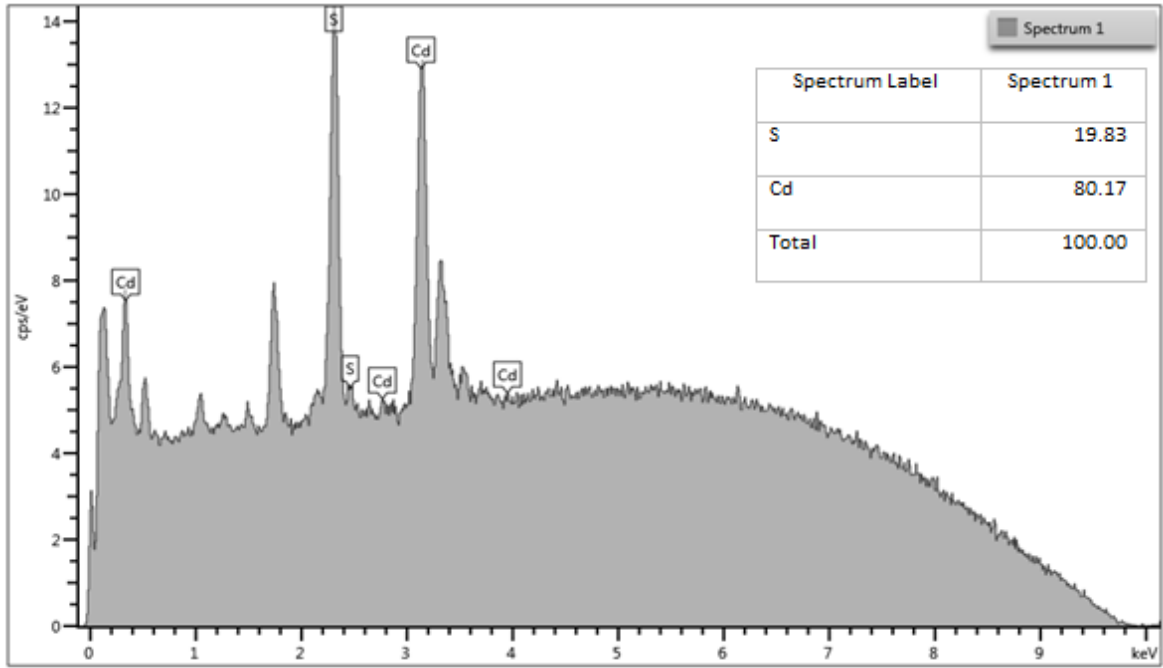


Şekil 5.17. 350 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 2.00 x ve 10.00 x için SEM görüntüleri.

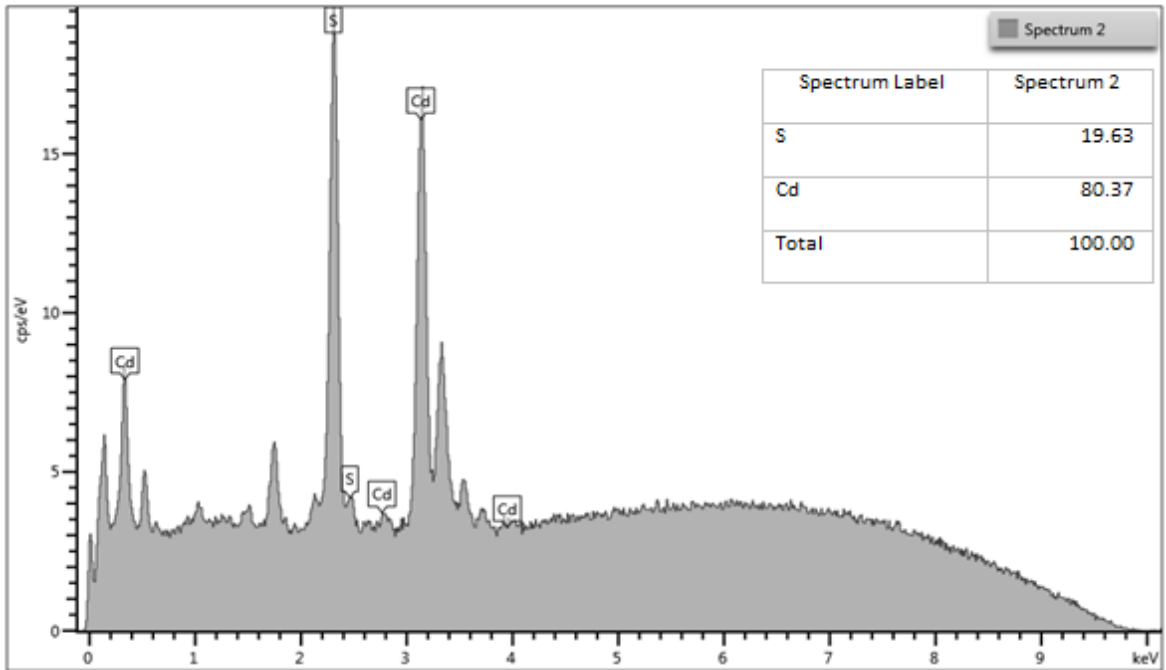




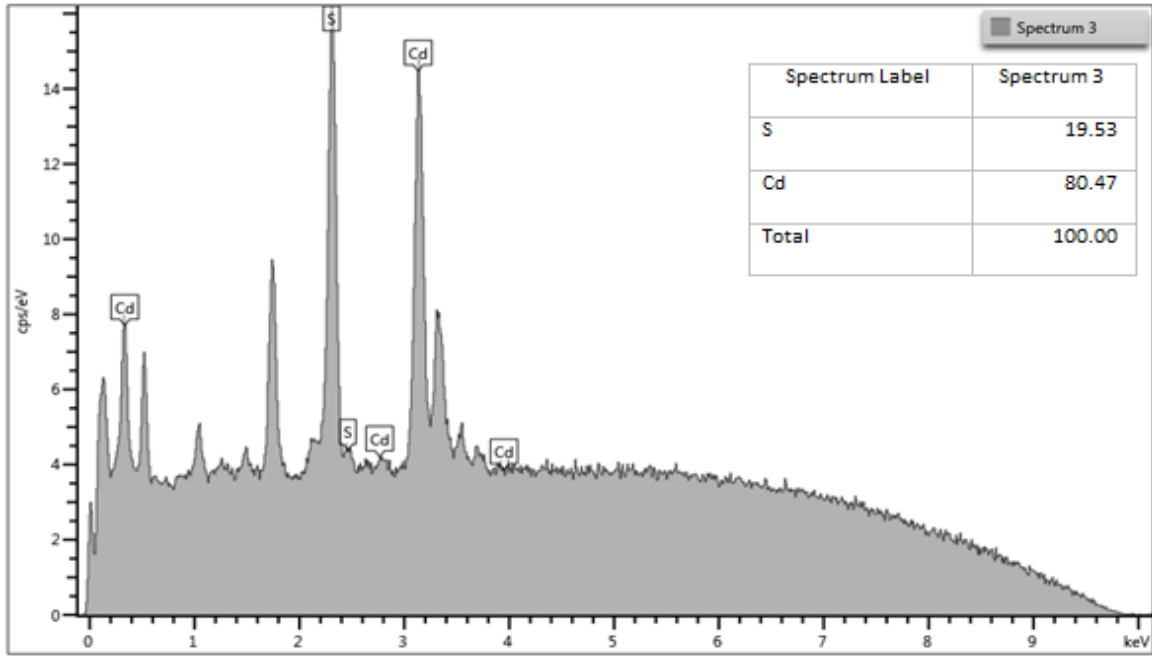
Şekil 5.18. 350 °C' de tavlanan CdS filmlerinin 25.00 x ve 250.00 x için SEM görüntüleri.



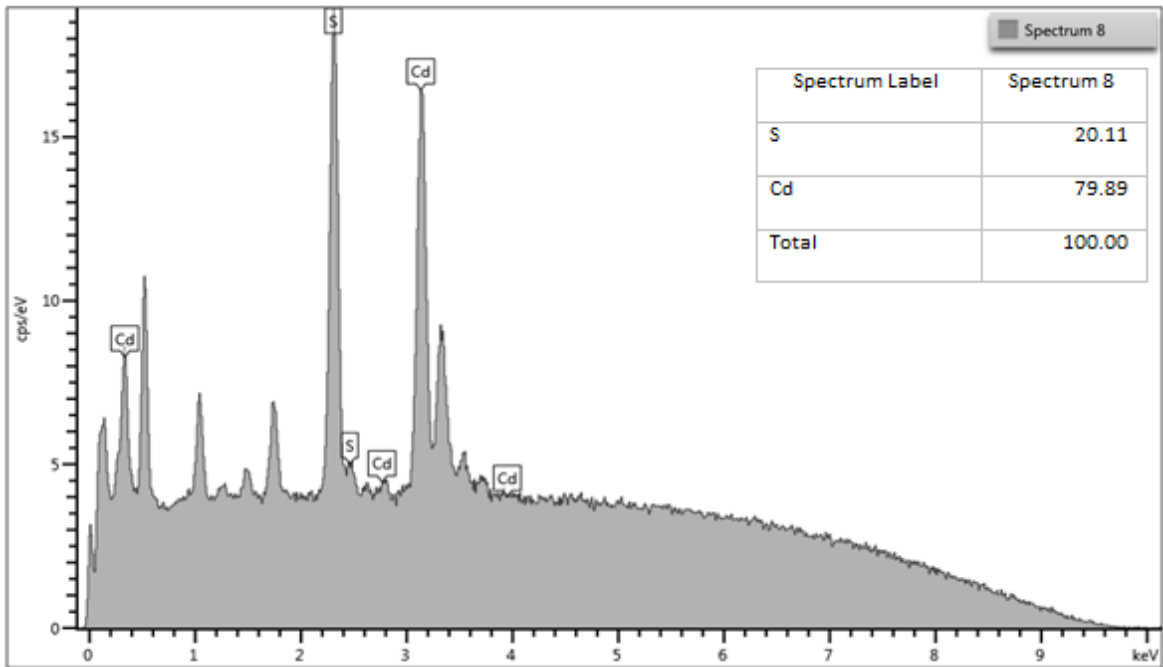
Şekil 5.19. Tavlanmamış CdS filminin EDX spektrumu.



Şekil 5.20. 250 °C' de tavlanan CdS filminin EDX spektrumu.



Şekil 5.21. 300 °C' de tavlanan CdS filminin EDX spektrumu.



Şekil 5.22. 350 °C' de tavlanan CdS filminin EDX spektrumu.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kimyasal püskürtme yöntemiyle elde edilen CdS filmlerinin farklı tavlama sıcaklıklarında yapısal, optiksel, yüzeysel ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kimyasal püskürtme yöntemi ekonomik ve uygulaması kolay bir tekniktir. Bu teknikle elde edilen CdS filmleri 250 °C, 300°C ve 350 °C’ de hava ortamında tavlansmıştır.

CdS ince filmlerinin x-ışını kırınım desenleri toz kırınım metodu kullanılarak  $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$  arasında alınmıştır. Elde edilen kırınım desenlerinden kristalleşmenin nasıl olduğuna bakılmıştır. CdS filmlerinin hepsinin hegzagonal yapıda olduğu görülmüştür. Kırınım desenlerine bakıldığında farklı şiddetlerde pikler gözlemlenmiştir. Filmlerin x-ışını kırınım deseninde kristal yapısının (002) tercihli yönelime sahip kristallerin oluştuğu gözlemlenmiştir. 300 °C’ de tavlanan ince filmlerde ise (101) tercihli yönelime sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen CdS filmlerinin optik metod kullanılarak yasak enerji aralıkları bulunmuştur. CdS filminin literatürdeki bant aralığı değeri  $\sim 300$  K’de 2,42 olarak bilinmektedir. Filmlerin yasak enerji aralıkları 2,42-2,44 eV arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Tavlamanın etkisiyle yasak enerji aralıklarında çok az miktarda olsa beklenen artış meydana gelmiştir. Tavlamanın yasak enerji aralığı değerinin üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir.

CdS filmlerinin SEM görüntüleri taramalı elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir. Filmler 2.00, 10.00, 25.00 ve 250.00 x büyütülerek görüntüleri alınmıştır. EDX spektrumları ile mikro analizleri yapılmıştır. Cds filminin içerisinde istenilen miktarlarda Cd ve S elementleri bulunmaktadır. Tavlama ile Cd oranı çok az miktarda artmış, 350 °C’ de tavlanan ince filmde ise en düşük orana sahiptir. Ayrıca içerisinde çok az miktarda Si ve Au elementleri de gözlemlenmiştir. Au elementi bulunma sebebi yapılan ölçümün Au kaplama



plaka üzerinde yapılmasıdır, Si oranı ise taban olarak kullanılan camın yapısında bulunan SiO<sub>2</sub>' den kaynaklanmaktadır.

CdS ince filmlerinin kalınlıkları elkometre ile ölçülmüştür. Tavlanmamış CdS ince filminin kalınlığı 0,61 µm, 250 °C' de tavlanan filmin kalınlığı 0,96 µm, 300 °C' de tavlanan filmin kalınlığı 1,62 µm ve 350 °C' de tavlanan filmin kalınlığı ise 1,29 µm olarak ölçülmüştür. 350 °C' de tavlanan filmin kalınlığında azalma görülmüştür. Bunun sebebi yüksek sıcaklık nedeni ile buharlaşma olarak düşünülmektedir.

Elde edilen CdS ince filmlerinin özdirençleri dört uç metodu ile ölçülmüştür. Tavlanmamış CdS ince filminin özdirenci  $7,19 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ , 250 °C' de tavlanan filmin özdirenci  $7,60 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ , 300 °C' de tavlanan filmin özdirenci  $8,00 \times 10^5 \Omega \text{cm}$  ve 350 °C' de tavlanan filmin özdirenci ise  $6,73 \times 10^5 \Omega \text{cm}$  olarak ölçülmüştür. Artan tavlama sıcaklığı ile düzgün bir artma ya da azalma gözlemlenmemiştir. Yarıiletkenlerde istenilen düşük özdirenç değeri 350 °C' de tavlanan ince filmlerde ölçülmüştür.

Sonuç olarak; yapılan çalışmada elde edilen CdS filmlerinin deneysel sonuçları literatür ile uyum içerisindedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonim, 2017-<http://megepdersnotu.com/yari-iletkenler/>), 10.03.2019.
- Alejandro, B.C., Prospero A.P., Omar, A., Castelo, G., Claudia, M.A., vd., 2019, Cationic and anionic modification of CdS thin films by surface chemical treatment, *Applied Surface Science*, 676-683, [www.elsevier.com/locate/apsusc](http://www.elsevier.com/locate/apsusc), 10.03.2019.
- Arslan, T., 2015, X-Işınlari Kullanım Alanları, <https://neu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/11/BMT-211-ders-notu-X-Isinlari.pdf>, 05.02.2019.
- Ay, O., 2017, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)-EDS Analizi, <http://www.kuark.org/2017/04/taramali-elektron-mikroskobu-sem-eds-analizi/>, 10/03/2019.
- Aydın, C., 2018, Mn/Ni katkılı Nanoyapılı ZnO Yarıiletken İnce Filmlerin Yüzey Morfolojileri, Optik Sabitleri ve Dispersiyon Enerji Parametreleri, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, (30) 1, 319-328, <http://docplayer.biz.tr/113308332-Mn-ni-katkili-nanoyapili-zno-yariiletken-ince-filmlerin-yuzey-morfolojileri-optik-sabitleri-ve-dispersiyon-enerji-parametreleri.html>, 14.04.2019.
- Aydoğan, Ş., 2014, *Katıhal Fiziği*, Nobel Kitabevi.
- Bairy, R., Jayarama, A., Shivakumar, G.K., Kulkarni S.D., Maidur, S.R., vd, 2019, Effect of Aluminium doping on photoluminescence and third-order nonlinear optical properties of nanostructured CdS thin films for photonic device applications, *Condensed Matter*, 555, 145-151.
- Bilgin, V., Köse, S., Atay, F., Akyüz, İ., 2005, The Effect of Substrate Temperature on the Structural and Some Physical Properties of Ultrasonically Sprayed CdS Films, *Materials Chemistry and Physics*, 94, 103–108.
- Bilgen, Y., 2015, İnce Film Teknikleri, <https://yusufbilgen.wordpress.com/2015/01/16/ince-film-teknikleri/>, 10.03.2019.
- Ekici, H., 2014, X-Işını Difraksiyonu ve Kristal Yapı Tayini, <http://www.kuark.org/2014/08/x-isinlari-difraksiyonu-ve-kristal-yapi-tayini/>, 05.02.2019.
- Enriquez, J.P., 2013, Effect Of Annealing Time And Temperature On Structural, Optical And Electrical Properties Of CdS Films Deposited By CBD, *Chalcogenide Letters*, 10-2, 45-53, [http://chalcogen.ro/45\\_Pantoja.pdf](http://chalcogen.ro/45_Pantoja.pdf).
- Gençyılmaz, O., Atay, F., Akyüz, İ., 2015, The influence of annealing temperature on some physical properties of spray deposited nanostructured CdS thin films, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 30-5, 1300-1949, <http://dx.doi.org/10.17776/csj.69365>.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hamurcu, Y., 2014, Elektrokimyasal Olarak Büyütülen ZnSe İnce Filmlerinin Yapısal, Optiksel ve Elektriksel Özelliklerinin ve Heteroeklem Uygulamalarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, <http://fbe.kilis.edu.tr/dosyalar/belgeler/10045738.pdf>, 12.03.2019.
- Hasnat, A., Podder, J., 2012, Effect of Annealing Temperature on Structural, Optical and Electrical Properties of Pure CdS Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis Technique, *Materials Physics and Chemistry*, 2, 226-231, <http://dx.doi.org/10.4236/ampc.2012.24034>, 26.04.2019.
- Işık, M., Gullu, H.H., Delice, S., Parlak, M., Gasanly, N.M., 2019, Structural and temperature-dependent optical properties of thermally evaporated CdS thin films, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 148-152, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369800118321309>, 12.03.2019.
- Kittel, C., 1996, *Katıhal Fiziğine Giriş*, Bilgi Tek Yayıncılık.
- Kose, S., Atay, F., Bilgin, V., Akyüz, İ., Ketenci, E., 2010, Optical characterization and determination of carrier density of ultrasonically sprayed CdS:Cu films, *Applied Surface Science*, 256, 4299–4303, [www.elsevier.com/locate/apsusc](http://www.elsevier.com/locate/apsusc).
- McKeelvey, J.P., 1966, *Solid State and Semiconductor Physics*, Harper & Row Ltd., London, 512.
- Özcan, C.G., Gubur, H.M., Alpdoğan, S., Zeyrek, B.K., 2016, The investigation of the annealing temperature for CdS cauliflower-like thin films grown by using CBD, *Science+Business*, 10854, [apbs.mersin.edu.tr/files/hmetin/Publications\\_001.pdf](http://apbs.mersin.edu.tr/files/hmetin/Publications_001.pdf), 15.05.2019.
- Pankove, J.J., 1971, *Optical Processes in Semiconductors*, Dover Publications, USA, p 422.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M., Akın, S., 2012, İnce Film Üretim Teknikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 389-401, [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33813962/FULL.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557495160&Signature=0ik6L7Zo%2BBQau7Z1%2F%2B5mH5Y%2FAw%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3DInce\\_film\\_uretim\\_teknikleri\\_Anahtar\\_Keli.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33813962/FULL.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557495160&Signature=0ik6L7Zo%2BBQau7Z1%2F%2B5mH5Y%2FAw%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%20filename%3DInce_film_uretim_teknikleri_Anahtar_Keli.pdf), 22.03.2019.
- Yılmaz, S., 2015, The investigation of spray pyrolysis grown CdS thin films doped with fluorine atoms, *Applied Surface Science*, 357, 873-879, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433215021923>, 10.04.2019.