

**FARKLI KALINLIKLARDA CBD İLE ÜRETİLEN CdS
İNCE FİLMLERİNİN KARAKTERİZASYONU**

BURHAN ŞAHAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
ARALIK-2016**

**FARKLI KALINLIKLARDA CBD İLE ÜRETİLEN CdS
İNCE FİLMLERİNİN KARAKTERİZASYONU**

BURHAN ŞAHAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER
ANA BİLİM DALI**




YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Doç.Dr. Hülya METİN GÜBÜR**

**MERSİN
ARALIK – 2016**

ONAY

Burhan ŞAHAN tarafından Doç. Dr. Hülya Metin GÜBÜR danışmanlığında hazırlanan "Farklı Kalınlıklarda CBD ile Üretilen CdS İnce Filmlerin Karakterizasyonu" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Doç. Dr. Hülya Metin GÜBÜR	
Üye	Doç. Dr. Nurten AKMAN	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Ali Kemal HAVARE	

Yukarıdaki jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06.01.2017 tarih ve 2017/.....2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Ayla ÇELİK
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,


- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions.

- I have obtained all the information and the documents of thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

26 Aralık 2016 / 26 December 2016

 İmza / Signature

Öğrenci Adı ve Soyadı / Student Name and Surname

Burhan SAHAN

ÖZET

Kadmiyum Sülfür (CdS) ince filmleri Kimyasal Depolama Yöntemi ile 80 °C sıcaklıkta cam alttabanlar üzerine depolanmıştır. Kadmiyum sülfat hidrat ve thiourea sulu solüsyonları sırasıyla Cd^{+2} ve S^{-2} iyon kaynağı olarak kullanıldı. Reaksiyon sırasında, amonyak (NH_3H_2O) solüsyonun pH değerini kontrol için kullanıldı. Bu filmlerin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri ile farklı sıcaklıklarda hava ve azot ortamında tavlamanın etkisi X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını enerji dağılımı (EDX), 4'lü prop ve Hall ölçüm metodu kullanılarak belirlenmiştir. Farklı kalınlıklarda üretilen CdS ince filmlerinde, tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Optiksel metot kullanılarak ince filmlerin yasak enerji aralığı (E_g) hesaplandı. Farklı kalınlıklarda üretilen CdS ince filmleri; 300 °C, 450 °C sıcaklıkta hava ve azot ortamında tavlandı. Tavlama sıcaklığının artması ile filmlerin E_g 'nin azaldığı gözlenmiştir. Farklı ortamlarda tavlanan CdS ince filmlerinin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CdS İnce Filmi, Kimyasal Depolama Yöntemi, Tanecik yapı, XRD, SEM, EDX, 4'lü prop metodu, Hall ölçüm metodu, Farklı Kalınlık.

Danışman: Doç. Dr. Hülya METİN GÜBÜR, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Ana Bilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

Cadmium sulfide (CdS) thin films were grown on glass substrates at 80 °C using chemical bath deposition method (CBD). Aqueous solutions such as cadmium sulfate hydrate and thiourea were used as sources of Cd⁺² and S⁻² ions, respectively. During the reactions, ammonia was used to control the pH value of solutions. The morphological, structural and optical properties of the CdS films and annealing effects in air and nitrogen atmospheres at various temperature were investigated using Scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), Hall effect, Four probe and UV-vis spectrophotometer, respectively. The crystallite sizes of CdS thin films produced at different thicknesses were found to increase with annealing temperature. Optical method was used to determine the optical band gap of the films. CdS thin films produced at different thicknesses were annealed in air and nitrogen atmosphere at 300 °C and 450 °C. The band gap were found to decrease with increasing annealing temperature. The morphological, structural and optical properties of CdS thin films annealed in different atmospheres were compared with each other.

Keywords: CdS thin films, Chemical Bath Deposition, Grain Structure, XRD, SEM, EDX, Four prop method, Hall effect method, Different thicknesses.

Advisor: Doç. Dr. Hülya METİN GÜBÜR, Department of Nanotechnology and advanced materials, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Gerek ders aşamasında, gerek tez aşamasında desteğini esirgemeyen, her konuda bir anne gibi yardımcı olan, değerli hocam ve danışmanım Doç.Dr. Hülya METİN GÜBÜR'e çok teşekkür ederim. Tüm eğitim hayatım boyunca maddi, manevi desteğini esirgemeyen, hayatım boyunca en özel ve en güzel anları paylaştığım, her ne olursa olsun arkamda değil yanımda olan, beni bugünlere getiren canım annem Meryem ŞAHAN ve canım babam Ahmet ŞAHAN'a teşekkür ederim. Tezin laboratuvar çalışması aşamasında bana her zaman yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, yoğun çalışmalarımız esnasında bana sabır gösterdiği ve her hocam dediğimde yanımda olduğu için sevgili hocam Arş.Gör. Soner ALPDOĞAN'a teşekkür ederim. Yoğun çalışmalar esnasında yanımda olan, en sıkıntılı ve en mutlu günlerimi paylaştığım aynı zamanda tezin şekilleri ve görüntüleri için Photoshop programı kullanımında bilgisini ve deneyimlerini esirgemeyen sevgili kardeşim Sanat Yönetmeni Ahmet SALTAN'a teşekkür ederim. Tez aşamasında azot ortamında tavlama için yardımcı olan Çukurova Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof.Dr. Ramazan ESEN'e teşekkür ederim. Hall ölçümlerinde yardımcı olan Toros Üniversitesi Optisyenlik bölümünden Öğr. Gör. Birsen KESİK ZEYREK'e teşekkür ederim. 2016-2-TP2-1828 nolu proje kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma için Mersin Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım. X-ışını kırınım deseni (XRD) analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, X-ışını enerji dağınımı (EDX) analizi ve 4'lü prop yöntemi ile elektriksel ölçümünde yardımcı olan Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi (MEİTAM) çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında küçük büyük yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

BABAMIN ANISINA...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR VE SİMGELER	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. İnce Film Üretim Teknikleri	6
3.1.1. Kimyasal Depolama Yöntemi	7
3.2. Kimyasal Depolama Yöntemi ile CdS Yarıiletken İnce Filmlerinin Elde Edilmesi	7
3.3. Yapısal Özellikler	9
3.3.1. X- Işınlarnın Oluşması ve Bragg Yasası	9
3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	11
3.4. Optiksel Özellikler	11
3.4.1. Soğurma Katsayısının Hesaplanması	12
3.4.2. Yasak Enerji Aralığının Bulunması	13
3.4.3. Film Kalınlığının Belirlenmesi	14
3.5. Elektriksel Özellikler	14
3.5.1. Hall Analizi	14
3.5.2. 4'lü Prop Yöntemi	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	16
4.1. Cam Alttabanlar Üzerine Depolanmış CdS İnce Filmi	16
4.1.1. Optiksel Özellikler	16
4.1.2. CdS İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri	25
4.1.3. CdS İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	63

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.2.1. CdS yarıiletken ince filmleri için bileşenler	7
Tablo 4.1.1.1. Üretilen film kalınlıkları	16
Tablo 4.1.1.2. 600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı değışimi	24
Tablo 4.1.1.3. 600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı değışimi	25
Tablo 4.1.2.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	26
Tablo 4.1.2.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	26
Tablo 4.1.2.3. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	28
Tablo 4.1.2.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	28
Tablo 4.1.2.5. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	29
Tablo 4.1.2.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	29
Tablo 4.1.2.7. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	30
Tablo 4.1.2.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	30
Tablo 4.1.3.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	55
Tablo 4.1.3.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	55
Tablo 4.1.3.3. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	56
Tablo 4.1.3.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	56
Tablo 4.1.3.5. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	57
Tablo 4.1.3.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	57
Tablo 4.1.3.7. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	58
Tablo 4.1.3.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1.1. İnce film üretim teknikleri	6
Şekil 3.1.1.1. Kimyasal depolama yöntemi diyagramı	7
Şekil 3.3.1.1. X- ışınlarının özellikleri	9
Şekil 3.3.1.2. Elektromanyetik spektrum	9
Şekil 3.3.1.3. Kristalde X- ışını kırınımı	10
Şekil 3.3.2.1. Taramalı elektron mikroskobu	11
Şekil 3.4.1.1. İnce bir tabakadaki soğurma	12
Şekil 3.4.2.1. Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerji ile değişimi	13
Şekil 3.5.1.1. Hall sistemi çalışma prensibi	14
Şekil 3.5.2.1. 4'lü Prop sistemi çalışma prensibi	15
Şekil 4.1.1.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	17
Şekil 4.1.1.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	17
Şekil 4.1.1.3. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	18
Şekil 4.1.1.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	18
Şekil 4.1.1.5. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	19
Şekil 4.1.1.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	19
Şekil 4.1.1.7. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	20
Şekil 4.1.1.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri	20
Şekil 4.1.1.9. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	21
Şekil 4.1.1.10. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	21
Şekil 4.1.1.11. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	22
Şekil 4.1.1.10. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	23
Şekil 4.1.1.13. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	24
Şekil 4.1.1.14. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	25
Şekil 4.1.1.15. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	26
Şekil 4.1.1.16. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - $h\nu$ grafiği	26

Şekil 4.1.2.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni	25
Şekil 4.1.2.2. 875 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni	28
Şekil 4.1.2.3. 950 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni	29
Şekil 4.1.2.4. 1000 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni	30
Şekil 4.1.2.5. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	32
Şekil 4.1.2.6. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	33
Şekil 4.1.2.7. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	34
Şekil 4.1.2.8. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	35
Şekil 4.1.2.9. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	36
Şekil 4.1.2.10. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	37
Şekil 4.1.2.11. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	38
Şekil 4.1.2.12. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri	39
Şekil 4.1.2.13. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	40
Şekil 4.1.2.14. 600 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	41
Şekil 4.1.2.15. 600 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	41
Şekil 4.1.2.16. 600 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	42
Şekil 4.1.2.17. 600 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	42
Şekil 4.1.2.18. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	43
Şekil 4.1.2.19. 875 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	43
Şekil 4.1.2.20. 875 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	44
Şekil 4.1.2.21. 875 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	44
Şekil 4.1.2.22. 875 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	45
Şekil 4.1.2.23. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	45

Şekil 4.1.2.24. 950 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	46
Şekil 4.1.2.25. 950 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	46
Şekil 4.1.2.26. 950 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	47
Şekil 4.1.2.27. 950 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	47
Şekil 4.1.2.28. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlansayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	48
Şekil 4.1.2.29. 1000 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	48
Şekil 4.1.2.30. 1000 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	49
Şekil 4.1.2.31. 1000 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	49
Şekil 4.1.2.32. 1000 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü	50
Şekil 4.1.3.1. 600 nm kalınlığında tavlansamamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	51
Şekil 4.1.3.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	51
Şekil 4.1.3.3. 875 nm kalınlığında tavlansamamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	52
Şekil 4.1.3.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	52
Şekil 4.1.3.5. 950 nm kalınlığında tavlansamamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	53
Şekil 4.1.3.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	53
Şekil 4.1.3.7. 1000 nm kalınlığında tavlansamamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	54
Şekil 4.1.3.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri	54

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltma / Simge	Tanım
MEİTAM	Mersin Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi
CBD	Kimyasal Depolama Yöntemi
CdS	Kadmiyum Sülfür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Kırınımı
FWHM	Yarı Maksimum Genişlik
EDX	X-Işını Enerji Dağılımı
μ	Mobilite
σ	İletkenlik
λ	Dalga Boyu
E_g	Yasak Enerji Aralığı
%T	Optik Geçirgenlik
K	Kelvin
α	Soğurma Katsayısı
β	Maksimum Piki Yarı Genişliği
δ	Dislokasyon Yoğunluğu
ρ	Özdirenç

1. GİRİŞ

Günümüzde kullandığımız elektronik cihazların üretimini mümkün kılan en önemli teknolojileri sıralayacak olursak, yarıiletken teknolojisinin bu listenin en üst sıralarında yer alacağını söyleyebiliriz. Bütün mikro işlemcilerin temel yapıtaşı olan yarıiletkenler, transistörlerde, düz ekran televizyonlarda, güneş panellerinde ve bilgisayar donanımlı tüm cihazlarda karşımıza çıkıyor. Yarıiletken özelliği taşıyan malzemelerin çoğu teknolojik uygulamalarda kullanılması için, bir tabaka üzerine ince film halinde biriktirilmesi gerekiyor. Aynı zaman da ince filmlerin, optiksel, yapısal ve elektriksel özelliklerinin aydınlatılması gelecek açısından çok önemlidir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için birçok fiziksel ve kimyasal yöntem bulunuyor. Akademik ve ticari boyutta yarıiletken ince filmler, ultrasonik kimyasal püskürtme, kimyasal buhar çöktürme, vakumda buharlaştırma, elektrokimyasal depolama, kimyasal depolama, plazma vb. teknikler kullanılarak tek kristal, polikristal ve amorf yapıya sahip malzemeler elde edilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Bu üretim teknikleri kullanılarak, bilimsel çalışmalarda maliyeti düşük ve geniş yüzeyler üzerine ince film olarak kaplanması tercih edilmektedir. Araştırma laboratuvarlarında II-VI bileşiklerinden oluşan yarıiletkenlerden olan CdS, CdSe, ZnS, CdTe vb. ince film üretilmelerine ve karakterizasyonunu belirleme çalışmaları devam etmektedir. Bu malzemeler kullanılarak elde edilen fotovoltaiik güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılmaktadır. Özellikle CdS yarıiletken ince filmleri, günümüzde ince film fotovoltaiik güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılmaktadır. CdS ince filmlerinin yasak enerji aralığı yaklaşık 2.42 eV seviyesindedir. Pencere materyali olarak tercih edilen CdS ince filmleri güneş ışınlarını yüksek oranda geçirir ve öz direnci de düşüktür. Bundan dolayı CdS yarıiletken ince filmler üzerine farklı malzemeler katılarak bu karakteristik özellikleri değiştirilmektedir.

Bu çalışmada, II-VI bileşiklerinden oluşan yarıiletken CdS, cam alttabanlar üzerine kimyasal depolama yöntemi kullanılarak elde edildi. Farklı kalınlıklarda üretilen CdS ince filmlerinin, optiksel özellikleri belirlendikten sonra, yapısal ve elektriksel özellikleri farklı sıcaklıklarda hava ve azot ortamında tavlansarak bu özellikleri karşılaştırıldı.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Metin H. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [1], yarıiletken CdS ince filmleri 60 °C sıcaklık altında cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. Üretilen CdS ince filmleri farklı sıcaklıklarda azot ortamında tavlansmıştır. XRD sonuçlarına göre tavlansmamış filmlerin polikristal yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Tavlama maruz kalan CdS yarıiletken ince filmlerde hekzagonal fazın baskın olduğu belirlenmiştir. Tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı, yasak enerji aralığının 2.44 eV'den 2.28 eV'ye azaldığı bulunmuştur. Üretilen filmlerin elektriksel iletkenliği sıcaklığa bağlı olarak artmıştır ve 423 K'de tavlansan filmlerin yüksek iletkenlik gösterdiği görülmüştür. Bu filmlerin optiksel özellikleri incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile geçirgenliğin azaldığı, depolama süresinin artması ile film kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Filmlerin termoluminesans yoğunluğu ⁹⁰Sr/⁹⁰Y β- kaynağı ile filmler aydınlatıldıktan sonra ölçülmüş ve tuzak derinliği hesaplanmıştır. Hesaplamalar incelendiğinde tuzak derinliğinin 383 K'de 0.257 eV, 473 K'de 0.372 eV ve 608 K'de 0.752 eV olmak üzere üç farklı sonuç verdiği bulunmuştur.

Metin H. ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada [2], CdS yarıiletken ince filmleri 9.4 pH ve 70 °C sıcaklık altında kimyasal depolama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri azot ortamında 423 K, 523 K, 623 K, 723 K ve 823 K olmak üzere farklı sıcaklıklarda tavlansmıştır. XRD sonuçlarına göre yapılan hesaplamalarda tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı bulunmuştur. Bu filmlerin optiksel özellikleri incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının 2.42 eV'dan 2.28 eV'a düştüğü, geçirgenliğin ise azaldığı görülmüştür. Depolama süresinin artması ile film kalınlığının arttığı, yasak enerji aralığının azalması ile 623 K'ye kadar urbach enerjisi de buna paralel olarak azalmıştır, fakat 623 K sıcaklıktan sonraki sıcaklıklarda enerjinin tekrardan artma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. CdS yarıiletken ince filmleri 623 K sıcaklıkta kübik yapıdan hekzagonal yapıya geçmiş ve aynı zamanda aktivasyon enerjisinin azaldığı belirlenmiştir.

Metin H. ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada [3], CdS yarıiletken ince filmleri üretilirken kadmiyum sülfat Cd²⁺ iyon kaynağı olarak thiourea ise S²⁻ iyon kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu kimyasallardan belirli oranlarda alınarak kimyasal depolama yöntemi ile cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri farklı sıcaklıklarda hava ortamında tavlansmıştır ve özellikle bu çalışmada üretilen CdS yarıiletken ince filmlerin üzerine tavlamanın etkisinin incelendiği gözlemlenmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin karakterizasyonu XRD, SEM, UV spektrometre ve dört nokta iletkenlik cihazları ile belirlenmiştir. Tavlama sıcaklığının artması ile elektriksel direnç, aktivasyon enerjisi ve yasak enerji aralığının azaldığı görülmüştür. Ancak elektriksel direncin 573 K ile 773 K sıcaklıkları arasında arttığı bulunmuştur.

Metin H. ve Esen R. tarafından yapılan çalışmada [4], CdS yarıiletken ince filmleri 60 °C sıcaklık altında kimyasal depolama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri hava ortamında tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının azaldığı görülmüştür. Bu CdS yarıiletken ince filmleri için en iyi tavlama sıcaklığının 300 °C olduğu yapılan çalışmada belirtilmiştir. CdS filmlerinin optiksel özelliklerinin zarf metodu kullanılarak, kırılma indisinin tavlama sıcaklığı ve dalga boyuna bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. XRD sonuçlarına göre üretilen CdS yarıiletken ince filmleri üzerinde tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı bulunmuştur. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin optiksel özelliklerinin film kalınlığına bağlı olduğu belirlenmiştir.

Metin H. ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada [5], kimyasal depolama yöntemi kullanılarak kalay tin okside iletken cam üzerine CdS yarıiletken ince filmleri depolanmıştır. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri azot ortamında tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının azaldığı görülmüştür. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı 2.45 eV iken tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığı azalmıştır. 623 K sıcaklıkta tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının 2.36 eV değerine düştüğü görülmüştür. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin 395 K ile 515 K arasında aktivasyon enerjisinin 0.114 eV olduğu, 515 K ile 585 K arasında aktivasyon enerjisinin 0.033 eV olarak farklı iki değer gösterdiği ve tavlama sıcaklığının artması ile aktivasyon enerjisinin azaldığı belirlenmiştir.

Metin H. ve Esen R. tarafından yapılan başka bir çalışmada [6], CdS yarıiletken ince filmleri 60 °C sıcaklık altında kimyasal depolama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin kristal yapısı ve tanecik büyüklüğü XRD sonuçlarına göre incelenmiştir. CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı tavlama sıcaklığının artması ile azaldığı görülmüştür. Kimyasal depolama yöntemi ile üretilen CdS yarıiletken ince filmleri için en iyi tavlama sıcaklığının 350 °C olduğu yapılan bu çalışmada belirlenmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri üzerine tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Farklı kalınlıkta elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerinin optiksel özellikleri filmlerin kalınlığına bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Kalınlık arttıkça yasak enerji aralığının azaldığı ve buna bağlı olarak geçirgenliğin azaldığı bu çalışmada incelenmiştir.

Pin-Chuan Yao ve Chun-Yu Chen tarafından yapılan çalışmada [7], CdS yarıiletken ince filmleri için hazırlanan solüsyonun %10 veya %20'si alkol olacak şekilde cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. Alkol olarak etanol kullanılmış ve filmin cam yüzeye daha iyi kaplanması için alkolün rolü araştırılmıştır. Alkol banyosunda depolanan filmler üzerindeki küçük CdS taneciklerinin daha çok birbirine yapıştığı görülmüştür. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin XRD sonuçları incelendiğinde kübik yapı ve hegzagonal yapının oluştuğu ve dolayısı ile yapının

polikristal yapıda olduğu bulunmuştur. Alkol banyosunda depolanan filmler için raman spektrumuna bakıldığında filmlerin yüksek derecede kristalite özellik gösterdiği belirlenmiştir. %10 alkol banyosunda üretilen ve tavlama ortamında CdS yarıiletken ince filmlerinin geçirgenliğinin yüksek olduğu bulunmuştur.

Maticiuc N. ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [8], CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi ile elde edilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmler CdTe ile heteroeklem oluşturmuş, hava ve hidrojen ortamı olmak üzere iki ayrı ortamda tavlama yapılmıştır. CdS-CdTe güneş hücreleri kuantum etkisi ölçümleri, SEM, XRD ve UV spektrometre cihazları ile karakterize edilmiştir. Üretilen filmlerde tavlama ortamının film kalınlığını etkilediği bulunmuştur. Tavlama sıcaklığının artması ile üretilen filmlerin tanecik büyüklüğünün arttığı ve yasak enerji aralığının azaldığı belirtilmiştir.

Jian kang Li tarafından yapılan çalışmada [9], CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama tekniği kullanılarak kalay tin okside cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. Reaksiyon sırasında hazırlanan solüsyonun pH kontrolü amonyak ($\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$) ile sağlanmıştır. CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal ve optiksel özellikleri SEM, XRD, UV spektrometre cihazları kullanılarak belirlenmiştir. pH'nin 10.5 olduğu değerinde CdS yarıiletken ince filmlerinin en iyi kristal yapıyı gösterdiği gözlemlenmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri üzerine tavlama sıcaklığının artırılması ile tanecik büyüklüğünün arttığı, geçirgenliğin ise azaldığı görülmüştür.

Hong Zhan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [10], CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi kullanılarak kalay tin okside cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. Üretilen filmlerin üzerine tavlama sıcaklığı ve solüsyonun pH değişimine bağlı olarak CdS yarıiletken ince filmlerin yapısı incelenmiştir. Solüsyonun pH kontrolü $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak sağlanmıştır. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerin yapısal ve optiksel özellikleri SEM, XRD, UV spektrometre cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Solüsyonun pH'nin 10.5 değerine ayarlanması ile en iyi kristal yapının elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca bu filmlerin tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı XRD sonuçları kullanılarak belirlenmiştir.

Faisal R. Ahmad ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [11], CdS yarıiletken ince filmleri via kimyasal depolama yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri hava ortamında tavlama yapılmıştır. Tavlama ortamında CdS yarıiletken ince filmlerinin elektriksel özellikleri Vander Pauw Hall etkisi ölçüm metodu kullanılarak belirlenmiştir. Düşük sıcaklıkta fotoluminesans ölçümleri alınarak üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin çeşitli alt enerji seviyeleri belirlenmiş ve belirlenen enerji seviyelerinin filmlerin taşıyıcı konsantrasyonunda önemli rol oynadığı görülmüştür. CdS yarıiletken ince filmlerinin farklı tavlama sıcaklıklarında kristal özellikleri ve

optiksel geçirgenlikleri tartışılmıştır. Tavlama sıcaklığının artması ile üretilen CdS yarıiletken ince filmlerin kalınlığının arttığı ve yasak enerji aralığının azaldığı görülmüştür..

Limei Zhou ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [12], CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi kullanılarak farklı sıcaklıklarda cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. CdS yarıiletken ince filmleri üretilirken asidik kadmiyum, amonyak ve amonyum asetat kimyasallarından belirli oranlarda kullanılarak solüsyon hazırlanmıştır. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri XRD, SEM, 4'lü prop ve UV spektrometre kullanılarak karakterize edilmiştir. CdS yarıiletken ince filmlerinin kalınlığı 70 °C ile 90 °C sıcaklıkları arasında 60 nm ile 110 nm arasında değiştiği, filmlerinin depolama sıcaklığı arttıkça geçirgenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Fangyang Liu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [13], CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi kullanılarak cam yüzeyler üzerine depolanmıştır. CdS yarıiletken ince filmlerinin 55 °C, 60 °C, 65 °C, 70 °C, 75 °C, 80 °C ve 85 °C olmak üzere farklı depolama sıcaklıklarında filmlerin kristal yapısına, optiksel özelliklerine, elektriksel özelliklerine bakılarak farklılıklar incelenmiştir. Tavlama sıcaklığının artması ile CdS yarıiletken ince filmlerinin kristal yapısı kübik fazdan hekzagonal faza geçtiği belirlenmiştir. CdS yarıiletken ince filmlerinin tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının 2.56 eV'den 2.38 eV'ye düştüğü, bu filmlerinin 55 °C ve 70 °C gibi düşük sıcaklıklarda alt yasak enerji aralığının 2.32 eV olduğu gözlemlenmiştir. Tüm CdS yarıiletken ince filmlerinin n tipi özellik gösterdiği ve taşıyıcı konsantrasyonunun 10^{12} - 10^{13} cm⁻³ olduğu, 85 °C' de üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin düşük direnç ve yüksek mobilite gösterdiği gözlemlenmiştir.

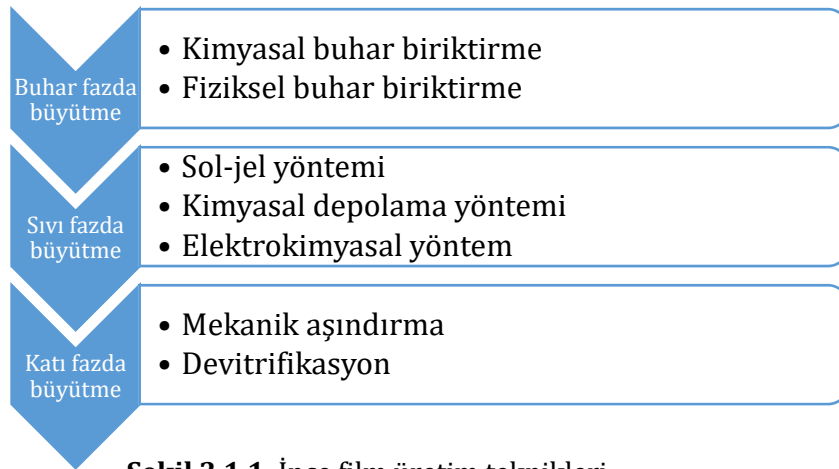
P. P. Hankare ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [14], CdS yarıiletken ince filmleri süksinik asit ile kompleks oluşturularak CBD ile üretilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal karakterizasyonu için XRD cihazı ile ölçüm alınmış ve bu XRD verilerine göre CdS yarıiletken ince filmlerinin kübik fazda olduğu tespit edilmiştir. CdS yarıiletken ince filmleri yüksek emilim göstermiş ve yasak enerji aralığının 2.58 eV olduğu, bu filmlerinin iletkenliği 10^{-7} (Ω cm)⁻¹ olduğu gözlemlenmiştir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Üretilen filmlerin yapısal, optiksel, elektriksel özellikleri incelenmiştir. Üretilen bu filmler hava ve azot ortamı olmak üzere iki ayrı ortamda tavlansmıştır ve tavlamanın yapısal, optiksel, elektriksel özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Filmlerin yapısal özellikleri SEM, XRD, EDX ve elektrisel özellikleri 4'lü prop yöntemi ile ölçümü Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezinde (MEİTAM) belirlenmiştir. Üretilen filmlerin elektriksel özellikleri Hall yöntemi kullanılarak Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Plazma Destekli Üretim Laboratuvarında belirlenmiştir. Bu filmlerin optiksel özellikleri UV spektrometre kullanılarak Mersin Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yarıiletken İnce Film Laboratuvarında belirlenmiştir.

3.1. İnce Film Üretim Teknikleri

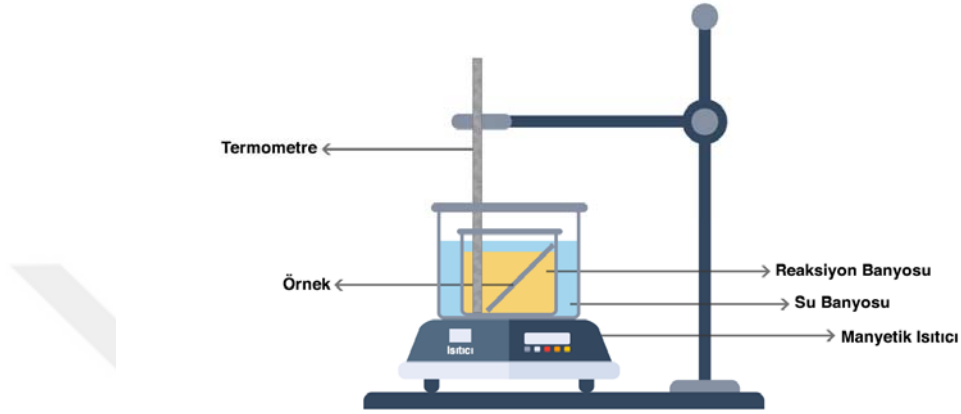
İnce filmler çeşitli üretim teknikleri kullanılarak kaplanılacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmin oluşumuna yardımcı olan yüzey üzerine dizilmesi ile oluşur ve oluşan bu ince filmler kalınlıkları 1 µm'nin altında olan malzemelerdir. Herhangi bir yüzey üzerine ince film büyütülmesi üç adımda gerçekleşir. İlk olarak kimyasal solüsyon içerisinde atom, molekül veya iyon grupları oluşur, daha sonraki adımda ise oluşan bu atom, molekül ve iyon grupları uygun alttaban üzerine hareket ederler ve son aşamada alttaban üzerinde birikme sağlanmış olur. İnce film üretim teknikleri malzeme yüzeyinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmesine olanak sağlar. İnce film üretim teknikleri Şekil 3.1.1.'de gösterildiği gibidir. Sönmezoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yöntemler ile ilgili bilgiler detaylı bir şekilde anlatılmıştır [15-16].



Şekil 3.1.1. İnce film üretim teknikleri

3.1.1. Kimyasal depolama yöntemi

Kimyasal depolama yöntemi, temel olarak çözeltideki iyonların yavaşlatılması esasına dayanır. Kimyasal depolama yöntemi için gerekli olan malzemeler; ısıtıcı tabla, su banyosu, reaksiyon banyosu, alttaban, termometre ve pH metredir. Kimyasal depolama yönteminin diyagramı Şekil 3.1.1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.1.1. Kimyasal depolama yöntemi diyagramı

Kimyasal depolama yönteminde ilk olarak alttaban temizlenir ve temizlenen alttaban hazırlanan solüsyonun içine daldırılarak ince film oluşturulur. Kimyasal depolama yönteminde ince filmin kalitesine ve kalınlığına etki eden parametreler; pH değeri, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresidir. Kimyasal depolama yönteminin ucuz, tehlikesiz, hızlı olması ve geniş yüzeylere uygulanabiliyor olması bu yöntemin avantajını oluşturmaktadır [15].

3.2. Kimyasal Depolama Yöntemi ile CdS Yarıiletken İnce Filmlerinin Elde Edilmesi

Kimyasal depolama yöntemi ile CdS yarıiletken ince filmleri kadmiyum sülfat ($CdSO_4$), hidrazin (N_2H_4), amonyak (NH_3), thiourea (NH_2CSNH_2) kimyasallarının sulu çözeltileri ve ultra saf su karışımından oluşan çözeltilerden elde edilmiştir. CdS yarıiletken ince filmlerini oluşturmak için 100 ml'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Bu çözeltinin bileşenleri Tablo 3.2.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.2.1. CdS yarıiletken ince filmleri için bileşenler

Çözelti	Molarite (M)	Miktar (mL)
Kadmiyum Sülfat çözeltisi	0,015	10
Hidrazin çözeltisi	0,5	10
% 25'lik Amonyak	-----	5
Ultra saf su	-----	65
Thiourea çözeltisi	1	10

İlk aşamada alttaban olarak 76 mm x 26 mm boyutlarındaki cam lamelin temizleme işlemi yapılmıştır. Cam lamelin temizlenmesi işlemi beş adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda cam lameller deterjanlı su ile yıkanıp kurutulmuştur. İkinci adımda cam lameller potasyum bi kromat ve sülfirik asit ile hazırlanan çözelti içerisinde daldırılıp 5 dakika beklendikten sonra yıkanıp kurutulmuştur. Üçüncü adımda cam lameller etanol alkolü içerisinde daldırılıp beş dakika beklendikten sonra kurutulmuştur. Dördüncü adımda cam lameller metanol alkolü içerisinde daldırılıp beş dakika beklendikten sonra kurutulmuştur. Son olarak beşinci adımda ise cam lameller propanol alkolü içerisinde daldırılıp beş dakika beklendikten sonra kurutulup hazırlanan solüsyona daldırmaya hazır hale getirilmiştir.

Tablo 3.2.1.'de verilen miktarlar ile karışımlar 100 ml'lik beher içinde hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti 80 ± 2 °C'lik su banyosu içerisinde konularak ısıtıcı tabla üzerine yerleştirilmiştir.

Daha sonra hazırlanan cam lamel çözelti içerisinde 45° 'lik açı ile yerleştirilmiştir. Çözelti 80 ± 2 °C'lik su banyosu içerisinde bir saat bekletilip cam lamel üzerine CdS yarıiletken ince filmlerinin depolanması sağlanmıştır. CdS yarıiletken ince filmlerinin optik özelliklerinin ölçülmesi için cam alttabanların iki yüzünde oluşan filmin, bir tarafı %13 konsantrasyonlu hidroklorik asit ve ultra saf su ile hazırlanan sulu çözelti ile temizlenmiştir.

CdS yarıiletken ince filmleri oluşurken meydana gelen reaksiyonlar;



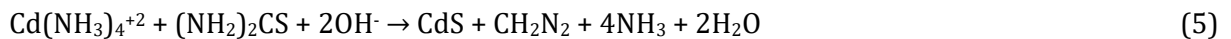
Hidrazin kadmiyum ile kompleks oluşturup oluşan kompleksten kontrollü bir şekilde Cd ayrılmasını sağlar.



Amonyak sulu ortamda OH^- iyonu oluşturarak, thiourea'dan S^{-2} iyonu açığa çıkarmak için kullanılmıştır.



Açığa çıkan S^{-2} iyonu kadmiyum kompleksinden kontrollü bir şekilde açığa çıkan Cd^{+2} iyonu ile CdS oluşturmaktadır. Ortamdaki toplam reaksiyon ise;



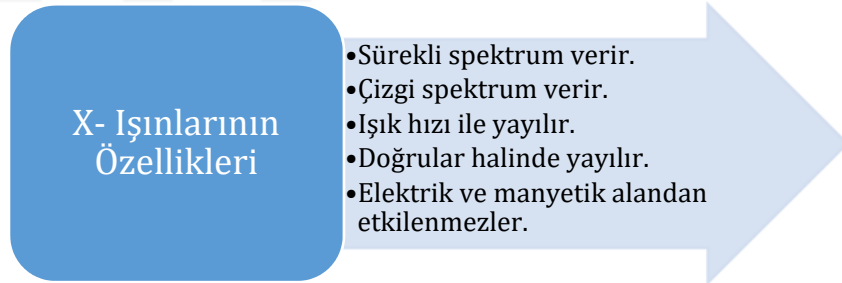
CdS yarıiletken ince filmleri 3 saat, 6 saat, 9 saat ve 14 saat depolanarak dört farklı kalınlıkta elde edildi. Farklı kalınlıklarda üretilen CdS yarıiletken ince filmleri azot ve hava ortamı olmak üzere iki ayrı ortamda, 300 °C ile 450 °C sıcaklıklarda tavlansmıştır. CdS yarıiletken ince filmleri tavlandıktan sonra yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerine bakılmıştır.

3.3. Yapısal Özellikler

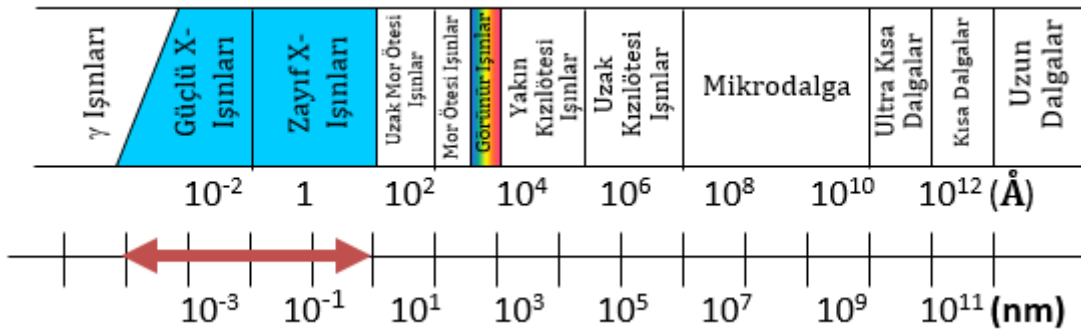
CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özelliklerini belirlemek için X-ışınları kırınım cihazı ve taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Kullanılan bu cihazların tarihçesi ve temel ilkeleri aşağıda anlatılmıştır.

3.3.1. X- Işınlarnın Oluşması ve Bragg Yasası

Günümüzde görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturan X-ışınları 1895 yılında Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiştir. 1901 yılında ise ilk defa verilmeye başlanan Nobel Fizik ödülüne bu çalışmasından dolayı layık görülmüştür. Röntgen bir Crooks tüpünü indiksiyon bobinine bağlayarak, tüpten yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde tüpten oldukça uzakta durmakta olan cam bir kavanoz içindeki baryumlu platinsiyanür kristallerinde bir takım pırıltıların oluştuğunu gözlemiş; bu tür pırıltılara neden olan ışınları, o ana kadar bilinmemesinden dolayı "X-ışınları" adını vermiştir. X-ışınlarının özellikleri Şekil 3.3.1.1.'de verilmiştir. X-ışınlarının elektromanyetik spektrumdaki aralığı Şekil 3.3.1.2.'de gösterilmiştir.

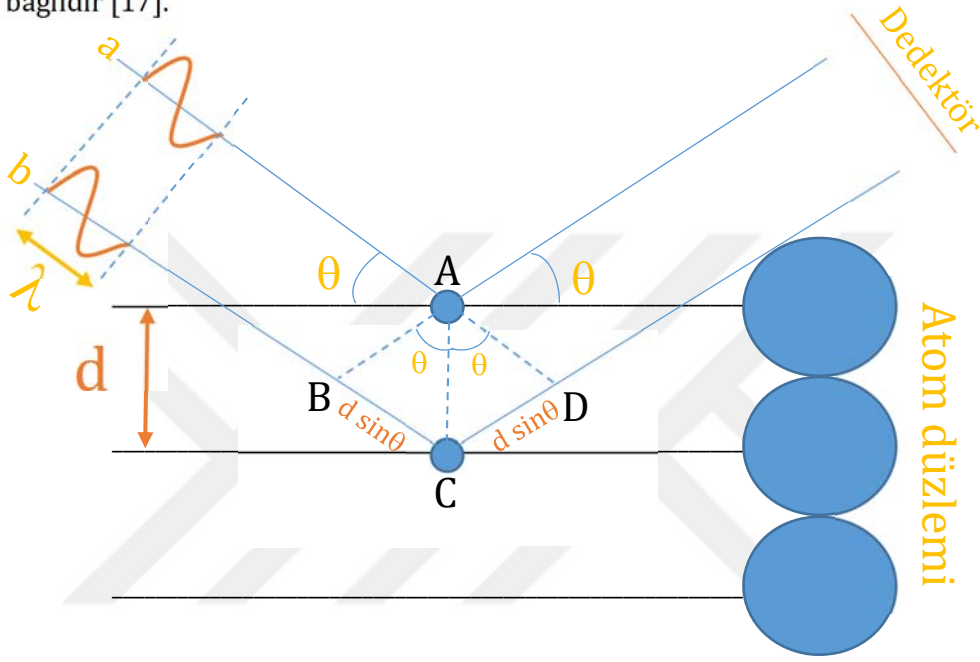


Şekil 3.3.1.1. X-ışınlarının özellikleri



Şekil 3.3.1.2. Elektromanyetik spektrum

Difraksiyona uğramış bir X-ışını demeti birbirini kuvvetlendiren çok sayıda saçılmış ışıklardan meydana gelmektedir. Difraksiyon tamamen bir saçılma olayıdır. Atomlar gelen X-ışınlarını her doğrultuda saçarlar. Aynı fazda olan bazı demetler birbirlerini kuvvetlendirerek difraksiyon demeti oluştururlar. Bragg yasasına göre, tek renkli bir X-ışını demeti bir kristalin yüzeyine düştüğünde, o kristaldeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılırlar. Her düzlem, X-ışınlarının sadece küçük bir oranını yansıtır ve yansıma sadece gelme açısının uygun olduğu değerlerde gerçekleşir. Gelme açısının uygun olduğu değerler ışının dalga boyuna ve kristalin örgü sabitine bağlıdır [17].



Şekil 3.3.1.3. Kristalde X-ışını kırınımı

Şekil 3.3.1.3.'de sayfa düzlemine ilerleyen X-ışını demeti, düz ayna gibi davranan paralel yüzeylerden yansıtılır. Yansıyan bu ışınlar üst üste geldiklerinde ve aralarındaki yol farkı X-ışının tam katı olduğunda, kuvvetlendirici girişim meydana gelir. Bu durumda optiksel yol farkı eşitlik (6) gibi olmalıdır.

$$\text{Optiksel yol farkı} = n\lambda, (n=1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

Şekil 3.3.1.3.'de ışınların gelme açısı ile yansıma açısının birbirine eşit olduğunu kabul ederek, $|BC| = |DC|$ alınmaktadır. Düzlemler arası uzaklık d 'dir. Şekil 3.3.1.3.'de a ve b ışınları arasındaki optiksel yol farkı eşitlik (7) gibidir.

$$\text{Optiksel yol farkı} = n\lambda = 2d\sin\theta, (n=1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

Elde edilen bu bağıntı Bragg yasası olarak bilinir. Bragg yasası, William Lawrence Bragg ve babası William Henry Bragg tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmalarından dolayı William Lawrence Bragg ve William Henry Bragg 1915 yılında Nobel fizik ödülüne layık görülmüştür.

3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İlk elektromanyetik lens 1926'da Hans Busch tarafından geliştirildi. Bir takım başarısız denemelerin ardından 1931 yılında Alman fizikçi Ernst Ruska ve elektrik mühendisi Max Knoll x400 büyütme gücüne sahip bir elektron mikroskobu prototipi oluşturdu. Bu cihaz elektron mikroskobunun temel prensibini ortaya koymuştur [18-19-20].

SEM, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numudedeki atomlar ile etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. Taramalı elektron mikroskobunda görüntü, elektron demetlerinin Raster tarama düzeni ile yüzeyi tarar ve demetin konumu algılanan sinyal ile eşleştirilerek görüntü oluşturulur. Taramalı elektron mikroskobunun kısaca çalışma prensibi budur ve araştırmamızda kullandığımız taramalı elektron mikroskobu Şekil 3.3.2.1.'de gösterilmiştir [18-19-20].



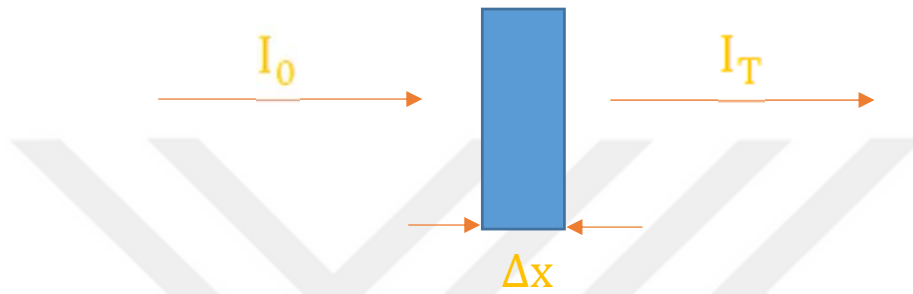
Şekil 3.3.2.1 Taramalı elektron mikroskobu

3.4. Optiksel Özellikler

CdS yarıiletken ince filmlerin optiksel özelliklerini belirlemek için UV spektrometre cihazı kullanılmıştır. Araştırma esnasında bu cihazdan alınan sonuçlar ile hesaplama yöntemleri aşağıda anlatılmıştır.

3.4.1. Soğurma Katsayısının Hesaplanması

Tek renkli ışık demetinin soğurucu özelliğine sahip numune üzerine düşürüldüğünü düşünelim ve gelen ışığın bir kısmının yüzeyden, diğer bir kısmının da ışığın numuneden ayrıldığı yüzeyden yansıdığı gerçeğini ihmal edelim. Böylece gelen ışığın şiddeti I_0 ve ortamdaki geçen ışığın şiddeti I_T olmak üzere iki farklı değer elde etmiş oluruz. Numunenin çok ince olduğunu düşünürsek ışık Δx kalınlıktaki bölgeden geçtikten sonra gelen ışığın şiddetinin $-\Delta I$ kadar azaldığını gözlemleriz. Bu durumu Şekil 3.4.1.1.'de gözlemleyebiliriz. Bu azalma ilk şiddet ve Δx 'e bağlıdır. Bu bağılık (8) denkleminde gösterilmiştir [21].



Şekil 3.4.1.1. İnce bir tabakadaki soğurma

$$-\Delta I = I_T - I_0 = I_0 \alpha \Delta x \quad (8)$$

α soğurma katsayısıdır ve soğurucu ortamın ve ışığın dalga boyunun karakteristiğini gösterir. Işık iki ya da daha fazla ince Δx kadar ince tabakadan geçtiğini düşünelim. Soğurma katsayısı, verilen materyalin karakteristiğini gösterecek ve gelen ışın şiddetinden bağımsız olacaktır. Böylece Δx kalınlığındaki plakanın arkasına yerleştirilen ikinci plaka ile ilk plakadan geçen ışığın şiddeti azalacaktır. Fakat mutlak kayıp oranı azda olsa her iki tabakadan ışığın kayıp oranı eşit olacaktır. Bu N tabakada olsa geçerli olur. Bu durumda soğurma katsayısı denklem (9) gibi olur [21].

$$\alpha = \frac{-\Delta I}{I_0 \Delta x} \quad (9)$$

Burada α soğurucu materyalin her birim kalınlıktan kaynaklanan azalma oranını veya soğuruculuğunu göstermektedir. Katmanları dx gibi çok küçük kalınlıklara indirgersek, ışık her katmanı geçerken soğurulan ilk ışık şiddeti oranının kesri olan $\frac{dI}{I_0}$ oranı denklem (10) gibi olur [21].

$$\frac{dI}{I_0} = -\alpha dx \quad (10)$$

Eşitliğin her iki tarafı integre edilirse eksponansiyel soğurma yasası elde edilir, Lambert tarafından tarafından geliştirilmiştir ve yasa denklem (11) gibidir [21].

$$I_T = I_0 e^{-\alpha x} \quad (11)$$

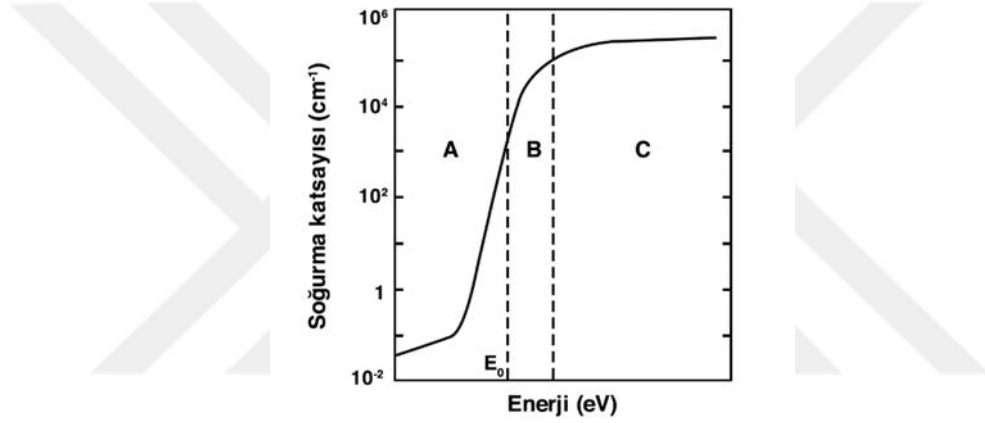
Buradan soğurma için Beer – Lambert yasası denklem (12) gibi olmalıdır.

$$\alpha = \frac{1}{I(\lambda)} \frac{dI(\lambda)}{dx} \quad (12)$$

Burada $I(\lambda)$ ışık şiddetini, x ortam içinde gidilen yolu ve α soğurma katsayısını göstermektedir.

3.4.2. Yasak Enerji Aralığının Bulunması

Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerjiye göre değişimi Şekil 3.4.2.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.4.2.1. Amorf bir yarıiletkenin soğurma katsayısının enerji ile değişimi

Burada işaretlenen A bölgesi enerji aralığındaki yapı kusurlarının oluşturduğu elektron enerji durumuna bağlı soğurma olup $\alpha < 1 \text{ cm}^{-1}$ dir. B bölgesi Urbach kuyruğu denilen değerlik ve iletkenlik bandı elektron enerji durumlarının uzantılarının oluşturduğu $1 < \alpha < 10^4$ bölgesidir. Bu bölgeler arasındaki sınırlar keskin değildir ve iç içe girmiş haldedir. Yarıiletkenin yasak enerji aralığı B bölgesine düşer. C bölgesi banttan banda geçişlerin oluşturduğu bölge olup fotoiletkenlik yöntemiyle bile tamamı ölçülemeyen $10^4 \text{ cm}^{-1} < \alpha$ bölgesidir. Filmlerin optiksel yasak enerji aralığının hesaplanması denklem (13)'e göre yapılmıştır [21].

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^n / h\nu \quad (13)$$

Bu denklemde A bir sabit, α soğurma katsayısı, $h\nu$ fotonun enerjisi ve n bir sabit olup direk bant aralığına sahip yarıiletkenler için $\frac{1}{2}$ değerini almaktadır.

3.4.3 Film Kalınlığının Belirlenmesi

Film kalınlığı dalga boyuna karşı geçirgenlik grafiklerine bakılarak ardışık iki tepe noktası değerleri bize λ_1 ve λ_2 dalga boyu değerlerini verdi. Denklem (14) kullanılarak film kalınlıkları belirlenmiştir.

$$x = \left\{ \left[\frac{n(\lambda_1)}{\lambda_1} - \frac{n(\lambda_2)}{\lambda_2} \right] \right\}^{-1} \quad (14)$$

Denklem (14)'e bakıldığında n kırıcılık indisi, λ_1 ve λ_2 değerleri bilindiğinde film kalınlığı hesaplanabilir [21].

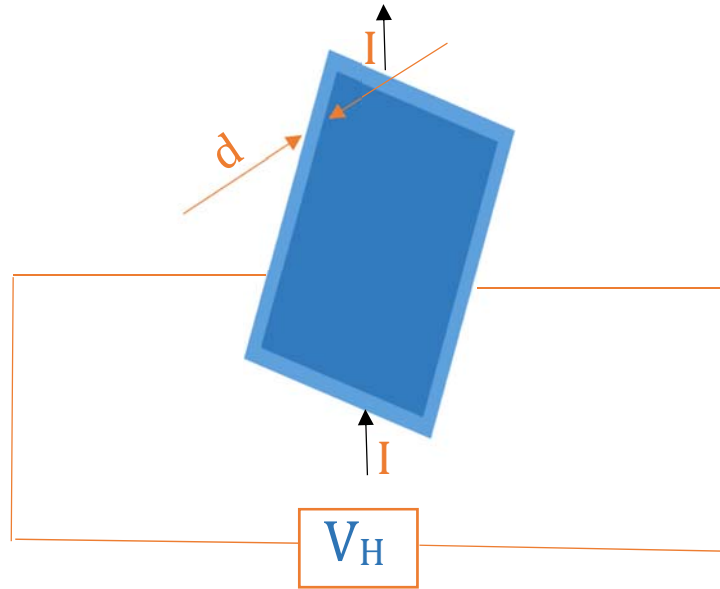
3.5. Elektriksel Özellikler

CdS yarıiletken ince filmlerin elektriksel özellikleri Hall ölçüm cihazı ve 4-nokta iletkenlik cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kullanılan bu cihazların temel ilkeleri aşağıda anlatılmıştır.

3.5.1 Hall Analizi

Hall sistemi yarıiletken ve iletken malzemelerin katkı tipi, mobilite, direnç ve taşıyıcı yoğunluklarını ölçmek için kullanılan bir elektriksel ölçüm metodudur. Bu cihazda ölçüm yapılabilmesi için üretilen malzemenin ohmik özellikte olması gerekir. Üretilen malzeme üzerine metal kontak yapılarak malzeme özelliğine göre akım verilmelidir [22].

Hall etkisi elektrik ve manyetik alan altında kalan yük taşıyıcılarının hareketini inceler. Şekil 3.5.1.1.'i göz önüne alarak bu durumu inceleyeceğiz.

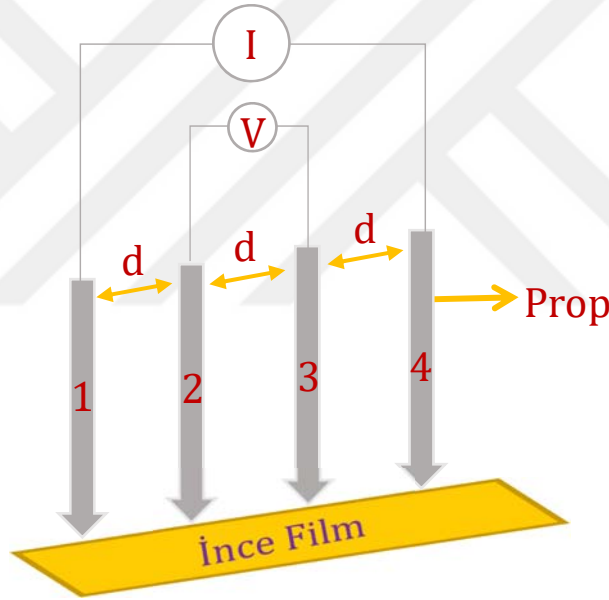


Şekil 3.5.1.1. Hall sistemi çalışma prensibi

Manyetik alan etkisi altında kalmış malzemeye voltaj uygulanarak akım verilir ve manyetik alan sonucu hareket eden yükler Lorentz kuvveti etkisi altında kalır. Yük taşıyıcısının cinsine bağlı olarak yükler malzemede kutuplanır ve kutuplanma sonucunda elektrik alan oluşur. Yük dağılımı devam ettiği sürece manyetik kuvvete zıt bir elektrik alandan kaynaklanan kuvvet oluşur. Bu durumda elektrik alan manyetik kuvveti dengelediğinde yük dağılımı durur ve bu yük farkından dolayı oluşan voltaja Hall voltajı denir. Hall voltajının negatif işaretli olması veya pozitif işaretli olması durumuna göre malzemenin katkı tipi belirlenir [22].

3.5.2. 4'lü Prop Yöntemi

Bu yöntem ilk olarak 1916 yılında Wenner tarafından, dünyanın öz direncini ölçmek amacıyla tasarlandı ve bu ölçüm yöntemi Wenner metodu olarak bilinir. 4'lü prop yöntemi 1954 yılında Valdes tarafından yarıiletken silisyum öz direnç ölçümleri için kabul edilmiştir. 4'lü prop yöntemini Şekil 3.5.2.1.'de inceleyeceğiz [23].



Şekil 3.5.2.1. 4'lü prop sistemi çalışma prensibi

4'lü prop yönteminde 1 ve 4 numaralı prop akım kaynağı olarak, 2 ve 3 numaralı prop ise gerilimi ölçmede kullanılır. Gerilim farkını ölçmek için kullanılan proplardan akım geçmeyeceği için bu proplar üzerinde ve bağlantı ara yüzeyleri üzerinde gerilim düşmesi olmayacaktır. Bu uçlardan elde edilecek gerilim farkı sadece ince filmde akım geçmesi nedeniyle oluşacak gerilim farkıdır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta gerilimin ölçüldüğü, bu 2 ve 3 numaralı proplar arasındaki ince film direncinin gerilim değerini ölçen cihazın iç direncine göre çok küçük olması gerektiğidir. Aksi durumda ölçüm cihazından da akım geçeceği için cihaz ve ince film paralel bağlı iki direnç gibi çalışacaktır. Bu durum, ölçümün hatalı olmasına yol açar [24].

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Cam Alttabanlar Üzerine Depolanmış CdS İnce Filmi

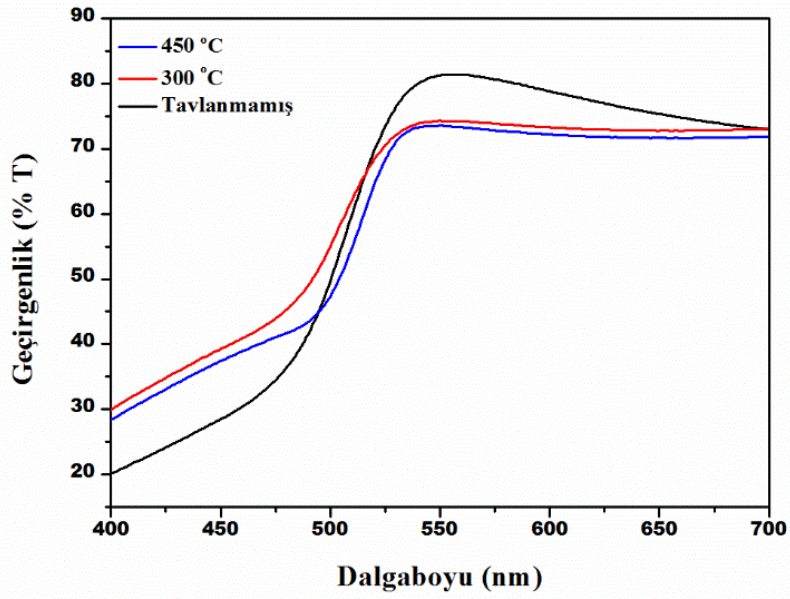
4.1.1. Optiksel Özellikler

CdS yarıiletken ince filmlerinin optiksel özelliklerini belirleyebilmek için farklı depolama sürelerinde 4 farklı kalınlıkta 24 adet film elde edilmiştir. Elde ettiğimiz CdS yarıiletken ince filmleri hava ve azot ortamı olmak üzere iki farklı ortamda tavlansmıştır. Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerin geçirgenlikleri (%T), UV-Visible spektrofotometre ile oda sıcaklığında alınmıştır. Filmlerin optiksel geçirgenlik değerlerinin alttaban soğurmasından bağımsız olması için ilk olarak cam yüzeyden cam yüzeye geçirgenlik ölçümü alınmıştır. Üretilen filmlerin kalınlığı denklem (14)'e göre hesaplanmıştır. Film kalınlıkları Tablo 4.1.1.1.'de verilmiştir.

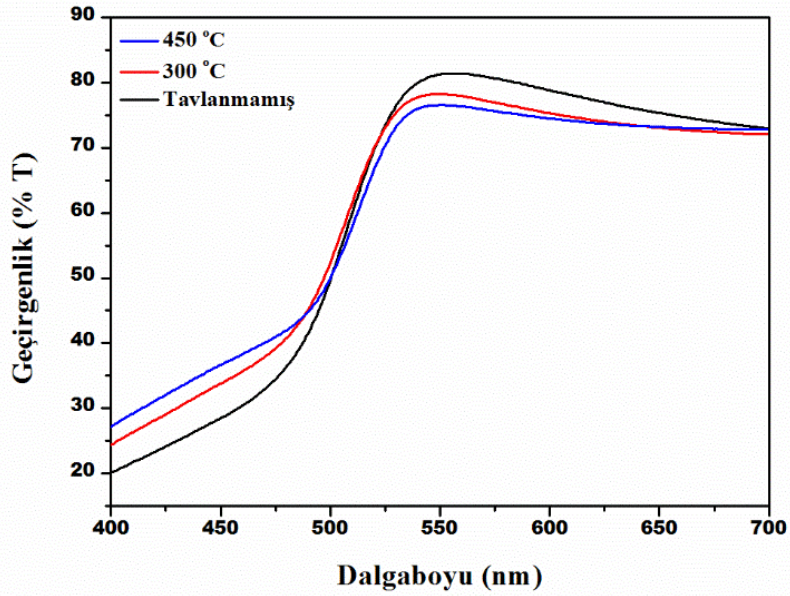
Tablo 4.1.1.1. Üretilen film kalınlıkları

Depolama Süresi(Saat)	KALINLIK (nm)
3	600
6	875
9	950
14	1000

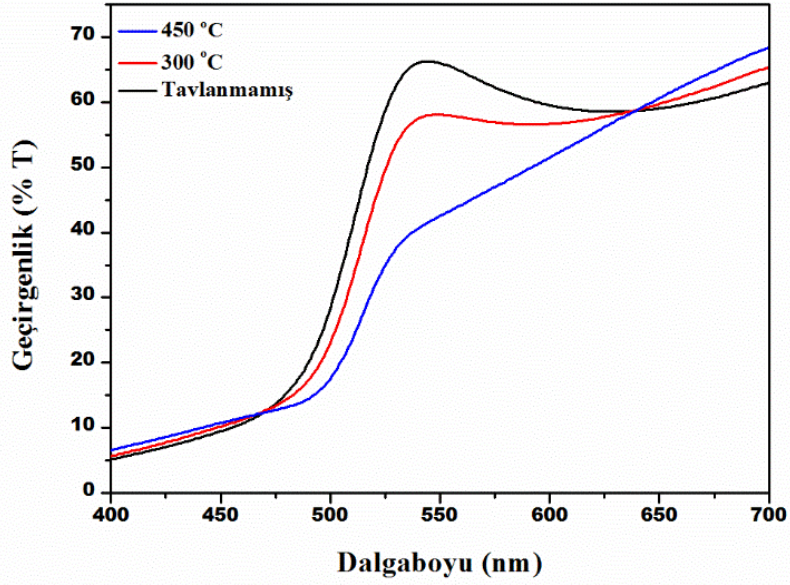
Üretilen CdS yarıiletken ince filmler 300 °C ve 450 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta hava ve azot ortamında 1 saat tavlansmıştır. Böylece CdS yarıiletken ince filmlerin optiksel özellikleri üzerine tavlamanın etkisi incelenmiştir. 600, 875, 950 ve 1000 nm kalınlığında üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin, tavlansmamış, 300 °C'de ve 450 °C'de hava ve azot ortamında tavlansmış filmlerin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri, sırasıyla Şekil 4.1.1.1., Şekil 4.1.1.2, Şekil 4.1.1.3., Şekil 4.1.1.4., Şekil 4.1.1.5., Şekil 4.1.1.6., Şekil 4.1.1.7. ve Şekil 4.1.1.8. verilmiştir. Şekiller incelendiğinde hava ile azot ortamında tavlansan filmlerinin tavlama sıcaklığının artmasına bağlı olarak geçirgenliklerinin azaldığı görülmüştür.



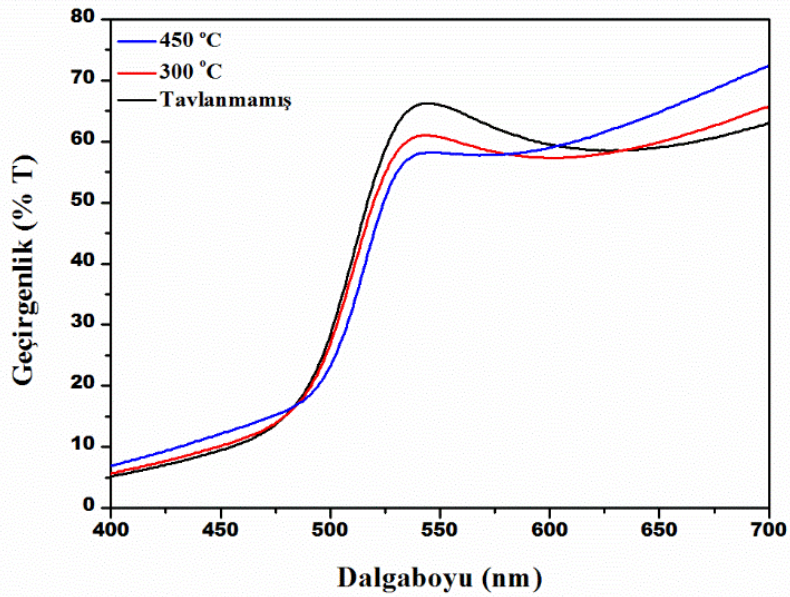
Şekil 4.1.1.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



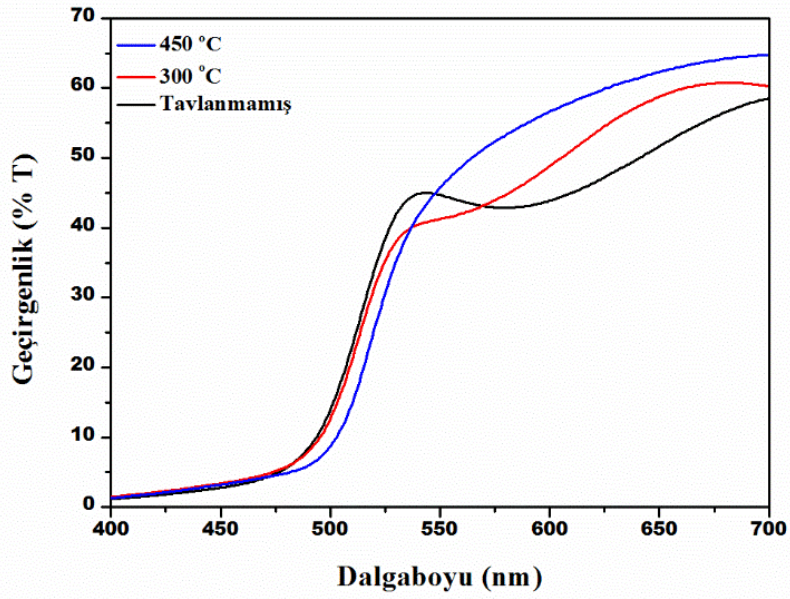
Şekil 4.1.1.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



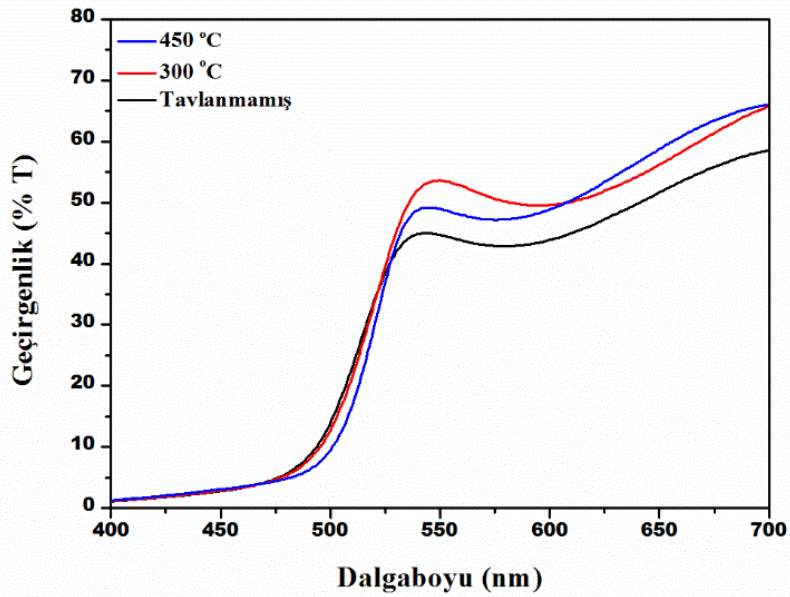
Şekil 4.1.1.3. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



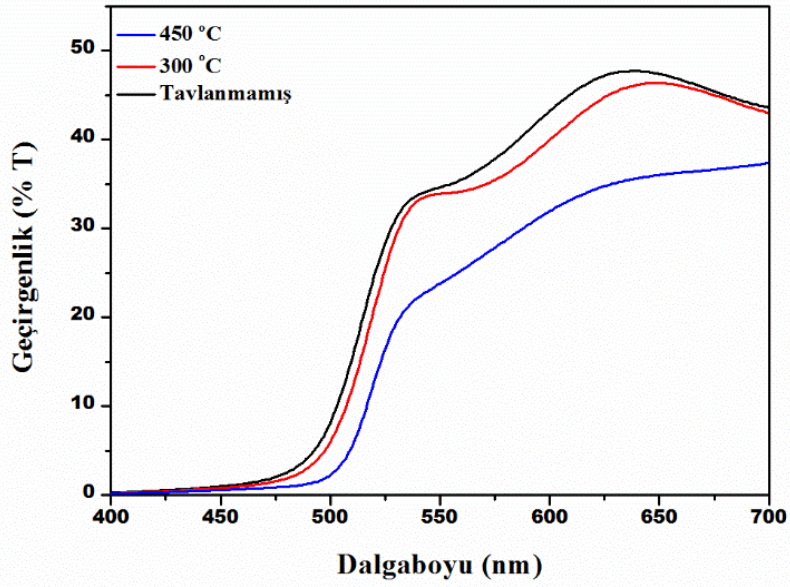
Şekil 4.1.1.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



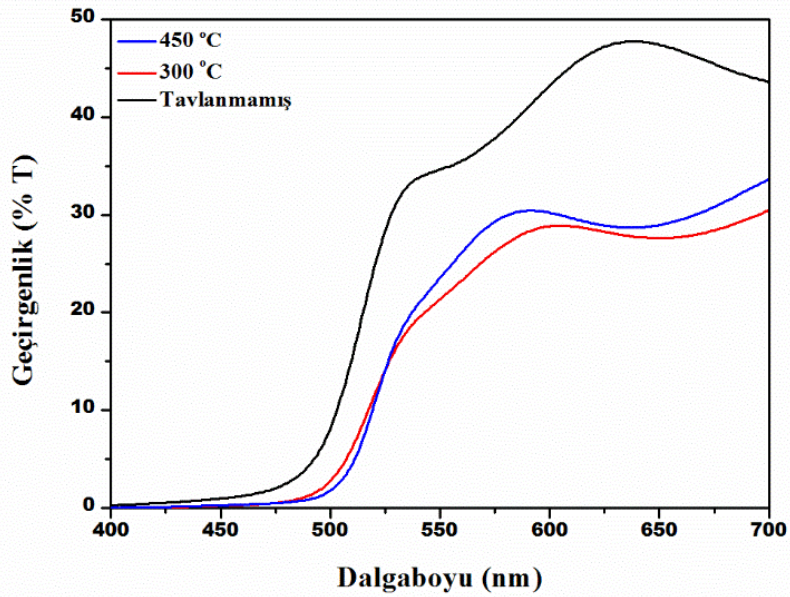
Şekil 4.1.1.5. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



Şekil 4.1.1.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



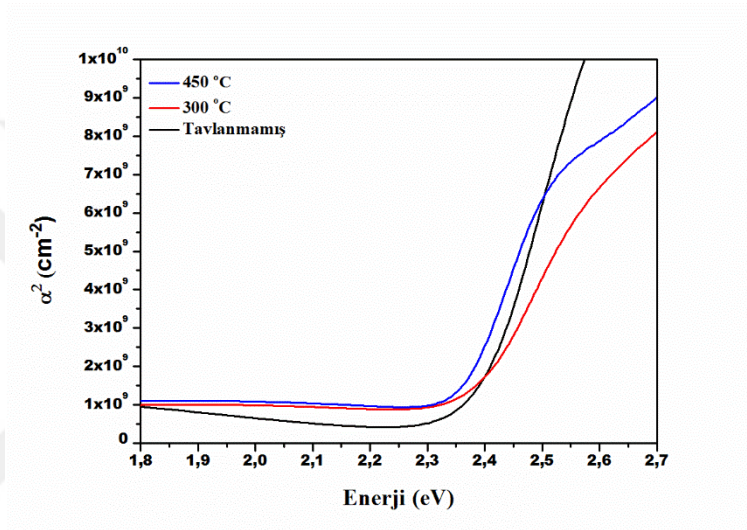
Şekil 4.1.1.7. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri



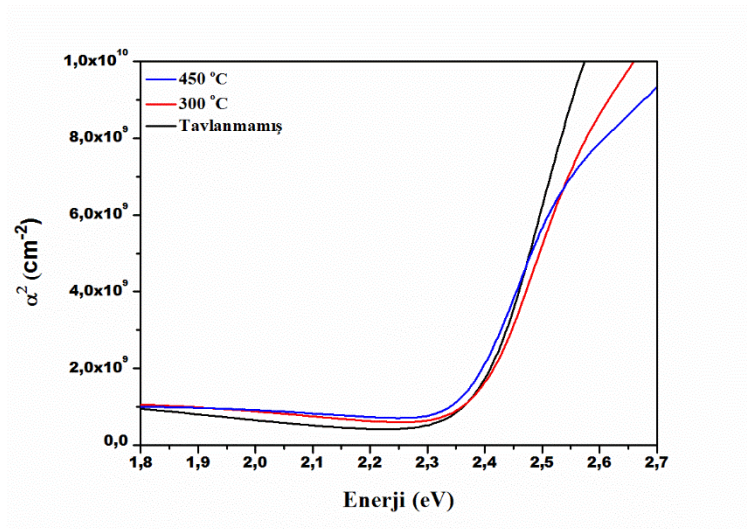
Şekil 4.1.1.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafikleri

Yarıiletkenlerin soğurma katsayısı (α) ile yasak enerji aralığı arasında denklem (13) gibi bir bağıntı vardır. Yasak enerji aralığını bulabilmemiz için öncelikle $\alpha^2 - hv$ grafiği çizilir ve bu grafiğin eğiminin hv eksenini kestiği yer üretilen filmlerin yasak enerji aralığını verir. 600 nm, 875

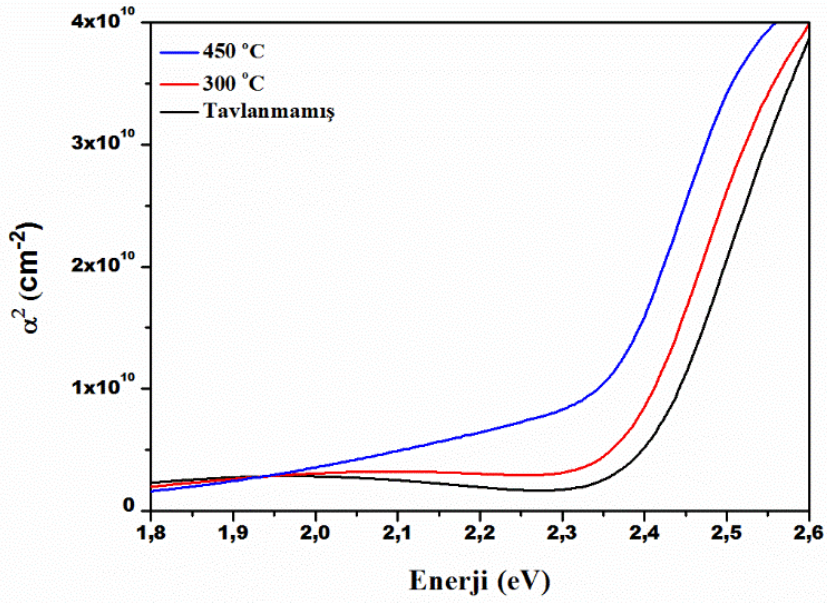
nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında üretilen tavlansız, 300 °C ve 450 °C'de hava ortamında tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - hv grafikleri sırası ile Şekil 4.1.1.9., Şekil 4.1.1.11., Şekil 4.1.1.13. ve Şekil 4.1.1.15.'te, ayrıca sıcaklığa bağlı yasak enerji aralığı değişimleri de Tablo 4.1.1.2.'de verilmiştir. 600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında üretilen tavlansız, 300 °C ve 450 °C'de azot ortamında tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - hv grafikleri sırası ile Şekil 4.1.1.10., Şekil 4.1.1.12., Şekil 4.1.1.14. ve Şekil 4.1.1.16.'da, ayrıca sıcaklığa karşı yasak enerji aralığı değişimi de Tablo 4.1.1.3.'de verilmiştir. Tablolar incelendiğinde hava ortamı ile azot ortamında tavlansız filmlerinin tavlama sıcaklığının artmasına bağlı olarak yasak enerji aralığının azaldığı görülmüştür.



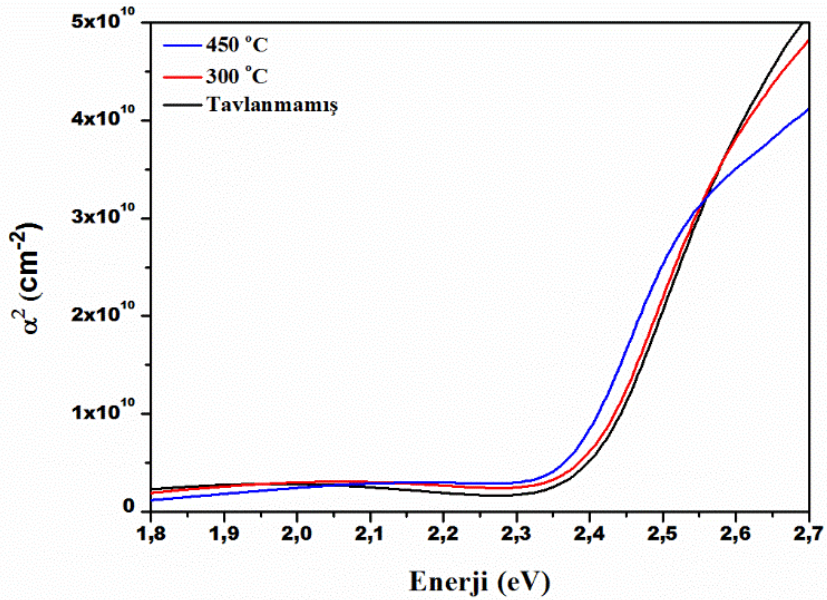
Şekil 4.1.1.9. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlansız ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - hv grafiği



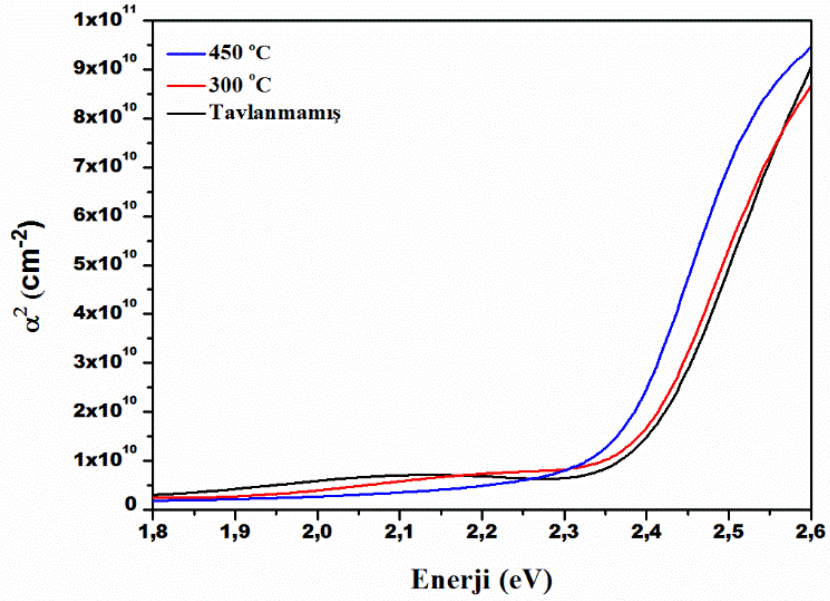
Şekil 4.1.1.10. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlansız ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - hv grafiği



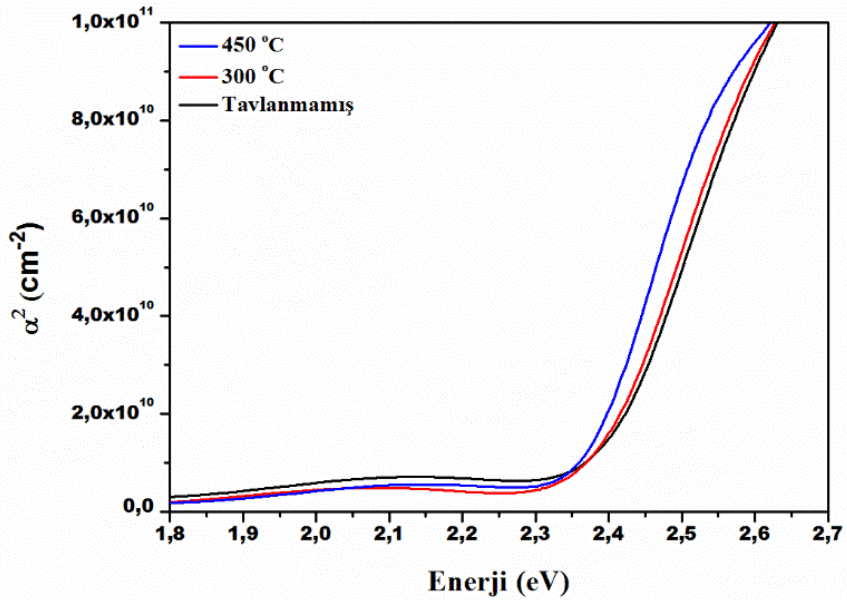
Şekil 4.1.1.11. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlanmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin $\alpha^2 - h\nu$ grafiği



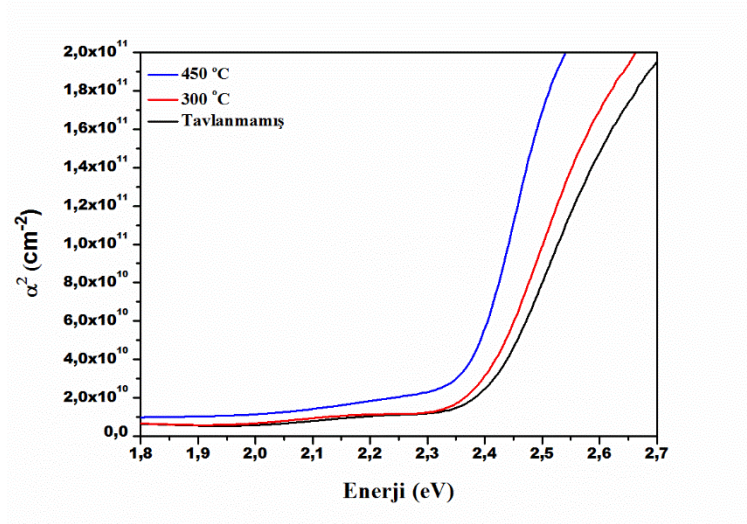
Şekil 4.1.1.12. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlanmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin $\alpha^2 - h\nu$ grafiği



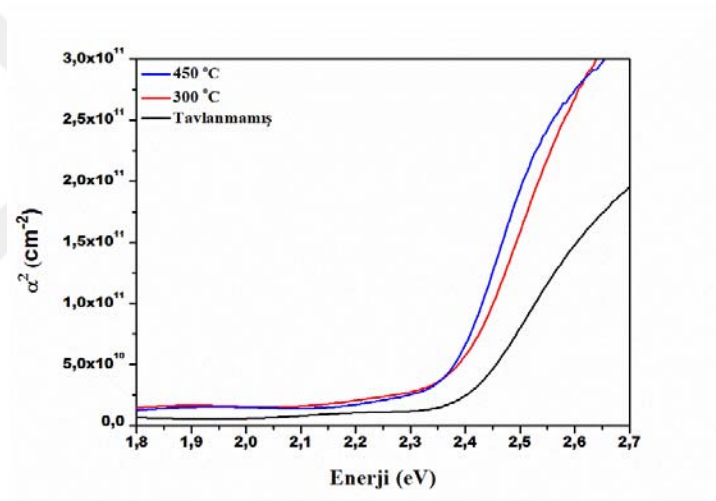
Şekil 4.1.1.13. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - hv grafiği



Şekil 4.1.1.14. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin α^2 - hv grafiği



Şekil 4.1.1.15. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin $\alpha^2 - h\nu$ grafiği



Şekil 4.1.1.16. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin $\alpha^2 - h\nu$ grafiği

Tablo 4.1.1.2. 600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı değişimi

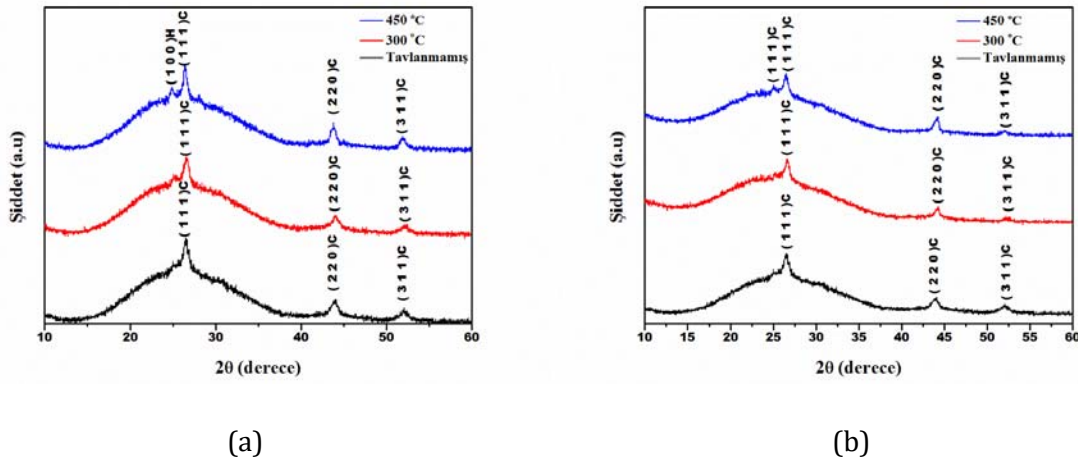
Kalınlık Sıcaklık	600 nm	875 nm	950 nm	1000 nm
Tavlınmamış	2.40 eV	2.41 eV	2.40 eV	2.40 eV
300 °C	2.38 eV	2.37 eV	2.38 eV	2.39 eV
450 °C	2.35 eV	2.33 eV	2.36 eV	2.36 eV

Tablo 4.1.1.3. 600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı değışim

Kalınlık Sıcaklık	600 nm	875 nm	950 nm	1000 nm
Tavlansamış	2.40 eV	2.41 eV	2.40 eV	2.40 eV
300 °C	2.38 eV	2.39 eV	2.37 eV	2.37 eV
450 °C	2.35 eV	2.36 eV	2.36 eV	2.35 eV

4.1.2. CdS İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri

CdS yarıiletken ince filmlerinin XRD, SEM ve EDX görüntüleri araştırılmıştır. Tavlansayan, hava ve azot ortamında belirli sıcaklıklarda tavlanan CdS yarıiletken ince filmlerinin optiksel özellikleri incelendikten sonra X-ışını kırınım desenleri Rigaku marka X-ışını difraktometresi ile ölçülmüştür. CdS yarıiletken ince filmlerinin ölçümleri 40 kV ve 30 mA'ya ayarlanmış nikel filtreden $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ CuK α radyasyonunda $20 \leq 2\theta \leq 70^\circ$ aralığında 0.02° adımlar ile yapılmıştır. Hava ve azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerin XRD desen ataması 00-043-0985, 00-047-1179, 01-074-5617, 01-074-9664, 01-074-9665, 01-079-6256, 01-079-7043, 01-080-4441, 01-082-4658 numaralı standart pdf kartları kullanılarak bulunmuştur.



Şekil 4.1.2.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni

600 nm kalınlığında üretilen tavlansamış, 300 °C ve 450 °C'de hava ve azot ortamında tavlansamış CdS yarıiletken ince filmlerinin 2θ -Şiddet grafikleri Şekil 4.1.2.1'de verilmiştir. Şekil

4.1.2.1. incelendiğinde üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinde kübik yapının baskın olduğu, hava ve azot ortamında tavlama sıcaklığının artması ile filmin yapısı bozulmadığı görülmüştür. Şekil 4.1.2.1. incelendiğinde hava ortamında 450 °C'de tavllanmış filmin (100)H olan pikinin, azot ortamında 450 °C'de tavllanmış filmde (111)C pikine dönüştüğü ve tavlama sıcaklığının artması ile filmlerin kırınım desenlerinin çok fazla değişmediği belirlenmiştir. Ayrıca tavlama sıcaklığının artması ile piklerin şiddeti artmış, bu da tavlama işleminden beklediğimiz kristal tanecik büyüklüğünün artması ve daha düzenli bir yapı öngörüsü ile uyusmaktadır.

Tablo 4.1.2.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlınmamış	1.06	13.39	5.58	2.50	2.59
300 °C	1.01	14.09	5.04	2.14	2.46
450 °C	0.84	16.95	3.48	1.23	2.05

Tablo 4.1.2.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlınmamış	1.06	13.39	5.58	2.50	2.59
300 °C	1.02	13.85	5.21	2.25	2.50
450 °C	0.89	16.02	3.90	1.46	2.16

Üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinde (111)C piki kullanılarak, filmlerin yarı maksimum genişliği (FWHM), tanecik büyüklüğü, dislokasyon yoğunluğu (δ), birim yüzey alana düşen kristal sayısı ve örgü gerilimi (ϵ) hesaplanmıştır. Scherrer denklemi kullanılarak tanecik yapısı hesaplanmıştır. Scherrer formülüne göre tanecik büyüklüğü denklem (15)'e göre hesaplanmıştır.

$$D_{hkl} = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (15)$$

Denklem (15)'te K bir sabit, λ kullanılan X-ışının dalga boyu, θ Bragg yansıma açısını ve β ise radyan olarak yansımaların yarı maksimum genişliğini (FWHM) gösterir. Hesaplamalar için K sabiti 0.9 olarak alınmıştır.

CdS yarıiletken ince filmlerinin dislokasyon yoğunluğu (δ), tanecik büyüklüğü verileri kullanılarak hesaplanır. Dislokasyon yoğunluğu (δ), birim alanı kesen çizgisel düzensizliğin sayısı olarak tanımlanır. Aynı zamanda dislokasyon yoğunluğu (δ), malzemenin belli kısmında bulunan dislokasyonların bir ölçüsüdür. Dislokasyon yoğunluğu denklem (16)'ya göre hesaplanır.

$$\delta = \frac{1}{D_{hkl}^2} \quad (16)$$

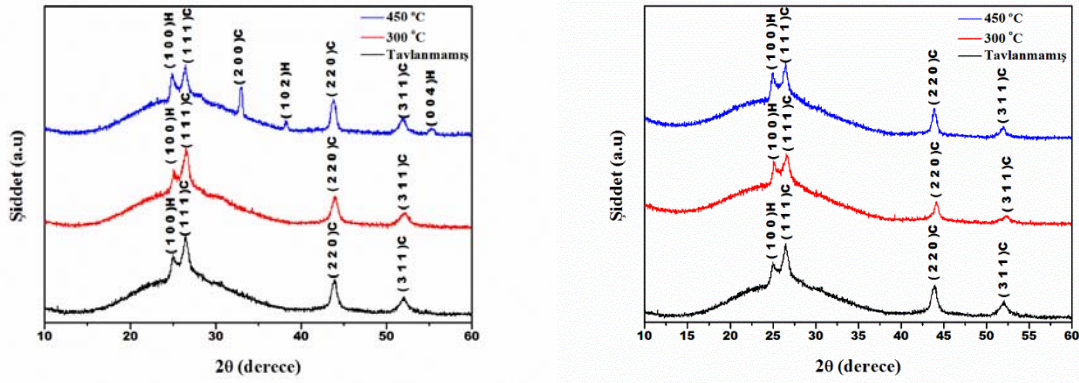
Birim yüzeye düşen kristal sayısı ise denklem (17)'ye göre hesaplanır. Denklem (17)'deki d değeri CdS yarıiletken ince filminin kalınlığıdır.

$$N = \frac{d}{D_{hkl}^3} \quad (17)$$

Örgü gerilimi (ε) ise denklem (18)'e göre hesaplanmıştır. Denklem (18)'de β yarı maksimum genişliktir.

$$\varepsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (18)$$

Hesaplamalarda, 600 nm, 875 nm, 950 nm ve 1000 nm kalınlıktaki tavlınmayan, hava ve azot ortamında tavlınan tüm filmler için $2\theta = 26.34^\circ$ civarındaki (111)C pik değerleri kullanılmıştır. 600 nm, 875 nm, 950 nm ve 1000 nm kalınlıktaki tavlınmayan, 300 °C ve 450 °C'de hava ve azot ortamında tavlınan CdS yarıiletken ince filmlerinin yarı maksimum genişliğini, tanecik büyüklüğünü, dislokasyon yoğunluğunu, birim yüzeye düşen kristal sayısını ve örgü gerilimi gibi yapısal özellikleri Tablo 4.1.2.1., Tablo 4.1.2.2., Tablo 4.1.2.3., Tablo 4.1.2.4., Tablo 4.1.2.5., Tablo 4.1.2.6., Tablo 4.1.2.7. ve Tablo 4.1.2.8.'de verilmiştir. Tablolar incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile yarı maksimum genişliğin, dislokasyon yoğunluğunun, birim yüzeye düşen kristal sayısının ve örgü geriliminin azaldığı, tanecik büyüklüğünün ise arttığı gözlenmiştir.



(a)

(b)

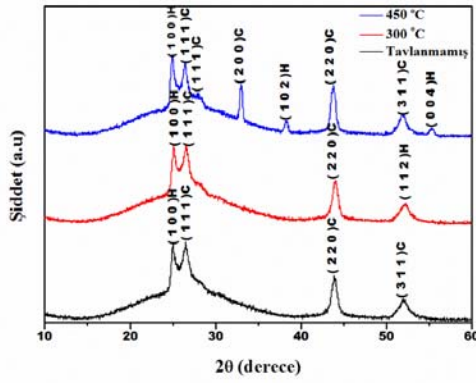
Şekil 4.1.2.2. 875 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni

Tablo 4.1.2.3. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

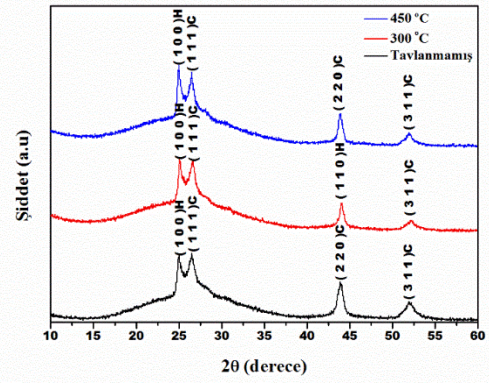
Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlansız	4.57	3.12	1.03	2.88	1.11
300 °C	2.18	6.53	0.23	0.31	0.53
450 °C	1.08	13.18	0.06	0.04	0.26

Tablo 4.1.2.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlansız	4.57	3.12	1.03	2.88	1.11
300 °C	1.50	9.51	0.11	0.10	0.37
450 °C	0.94	15.14	0.04	0.02	0.23



(a)



(b)

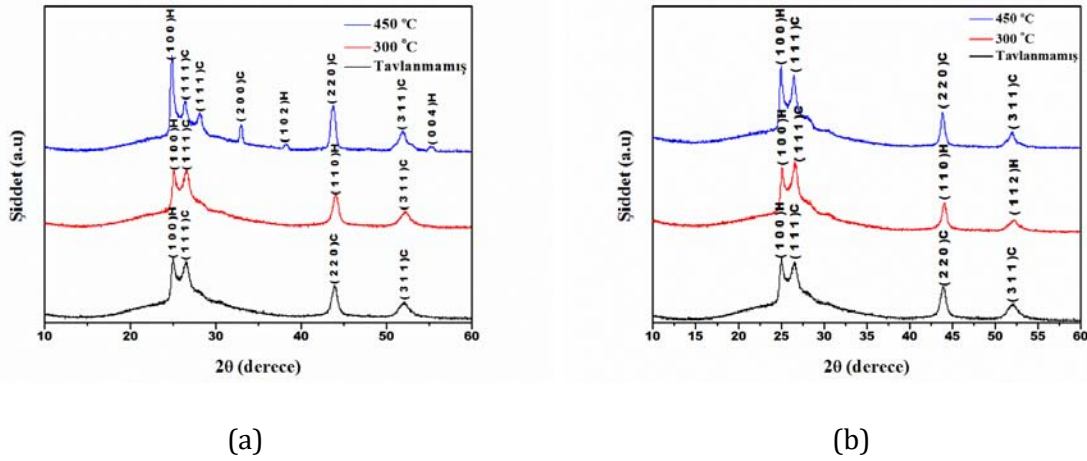
Şekil 4.1.2.3. 950 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni

Tablo 4.1.2.5. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlansız	1.54	9.28	1.16	1.19	3.74
300 °C	1.52	9.38	1.14	1.15	3.70
450 °C	1.50	9.50	1.11	1.11	3.65

Tablo 4.1.2.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlansız	1.54	9.28	1.16	1.19	3.74
300 °C	1.22	11.69	0.73	0.59	2.97
450 °C	0.99	14.45	0.48	0.31	2.40



Şekil 4.1.2.4. 1000 nm kalınlığında hava ortamında (a) ve azot ortamında (b) tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin X-ışını kırınım deseni

Tablo 4.1.2.7. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlınmamış	1.73	8.25	1.47	1.78	4.20
300 °C	1.29	11.04	0.82	0.74	3.14
450 °C	0.84	17.01	0.34	0.20	2.04

Tablo 4.1.2.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	FWHM β (10^{-2} rad)	Tanecik büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu (10^{15} m^{-2})	Kristallerin sayısı / birim yüzey alan (10^{17} m^{-2})	Örgü gerilimi (10^{-3})
Tavlınmamış	1.73	8.25	1.47	1.78	4.20
300 °C	1.06	13.40	0.56	0.42	2.26
450 °C	0.86	16.58	0.36	0.22	2.09

875 nm, 950 nm ve 1000 nm kalınlığında üretilen tavlansız, 300 °C ve 450 °C'de hava ve azot ortamında tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerinin 2θ-Şiddet grafikleri sırasıyla Şekil 4.1.2.2., Şekil 4.1.2.3. ve Şekil 4.1.2.4'de verilmiştir. Şekil 4.1.2.2. (a) incelendiğinde üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinde kübik yapının baskın olduğu, fakat 450 °C'de hava ortamında tavlansız filmde hem kübik hem de hegzagonal yapının olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.1.2.2. (b) incelendiğinde kübik yapının baskın olduğu ve azot ortamında tavlama sıcaklığının artması ile filmlerin yapısının bozulmadığı yani kübik yapıda kararlı olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.1.2.2 (a). ve Şekil 4.1.2.2. (b) incelendiğinde hava ortamında 450 °C'de tavlansız filmin polikristal yapıya sahip olurken, azot ortamında 450 °C'de tavlansız filmde kübik yapıyla kendini göstermiştir.

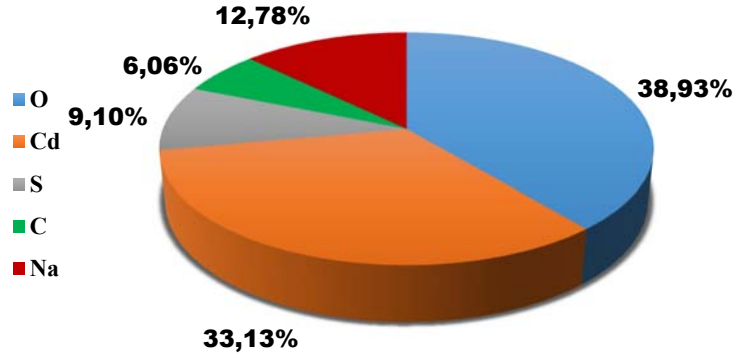
Şekil 4.1.2.3. (a) ve Şekil 4.1.2.3. (b) incelendiğinde tavlansız filmde kübik yapının baskın olduğu, 300 °C'de tavlansız filmde ise polikristal bir yapıya dönüştüğü, 450 °C'de tekrardan kübik yapının baskın olduğu gözlenmiştir. Azot ortamında tavlama sıcaklığının artması filmin yapısı bozulmadığı görülmüştür.

Şekil 4.1.2.4. (a) incelendiğinde tavlansız filmde kübik yapının baskın olduğu, 300 °C'de tavlansız filmde polikristal yapıya dönüştüğü ve 450 °C'de tekrardan kübik yapıya dönüştüğü görülmüştür. Şekil 4.1.2.4. (b)'de ise tavlansız filmde kübik yapının baskın olduğu, 300 °C'de tavlansız filmde yapının hegzagonal yapıya dönüştüğü fakat 450 °C'de tavlansız filmde yapının tekrardan kübik yapıya dönüştüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlar bize azot ortamında tavlamanın filmin yapısını koruduğunu göstermiştir. Ayrıca tavlama sıcaklığının artması ile piklerin şiddeti artmış, bu da tavlama işleminden beklediğimiz kristal tanecik büyüklüğünün artması ve daha düzenli bir yapı öngörüsü ile uyusmaktadır.

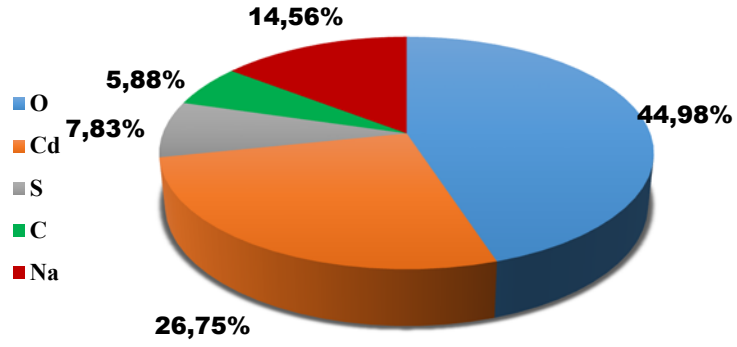
Cam alttabanlar üzerine üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı, soğurma katsayısı, tanecik büyüklüğü gibi parametreleri hesaplandı. Tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının düştüğü, tanecik büyüklüğünün ise arttığı görülmüştür. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada yasak enerji aralığı ve tanecik büyüklüğü değişiminin literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür [1-2-5-14]. XRD dataları incelendiğinde CdS filmlerinin karakteristik olan (111)C, (220)C ve (311)C kübik pikleri bulunmuştur. Bu pikler, P. P. Hankare ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada karakteristik piklerin bizim yapıyla ve aynı kübik yapının baskın olduğu gösterilmiştir [14].

600 nm, 875 nm, 950 nm ve 1000 nm kalınlığında hava ve azot ortamında tavlansız, 300 °C ve 450 °C'de tavlansız CdS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları Şekil 4.1.2.5., Şekil 4.1.2.6., Şekil 4.1.2.7., Şekil 4.1.2.8., Şekil 4.1.2.9., Şekil 4.1.2.10., Şekil 4.1.2.11. ve Şekil 4.1.2.12 'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile Cd ve S oranının azaldığı, fakat azot ortamında bu azalmanın daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçta bize azot ortamında tavlamanın, oksitlenmenin önüne geçtiğini göstermiştir.

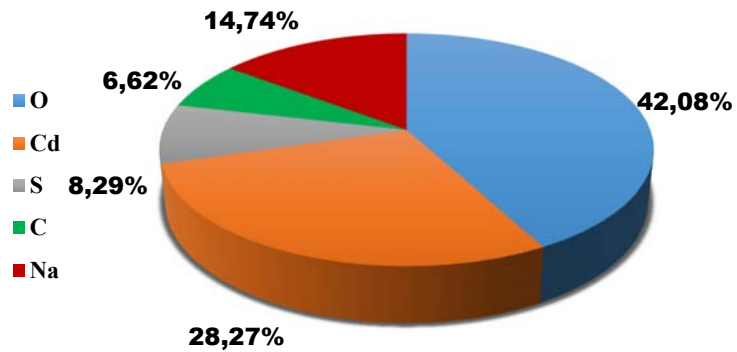
Tavlanmamış



300 °C

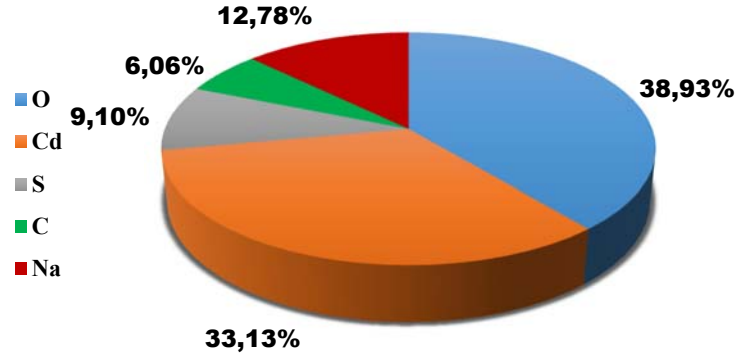


450 °C

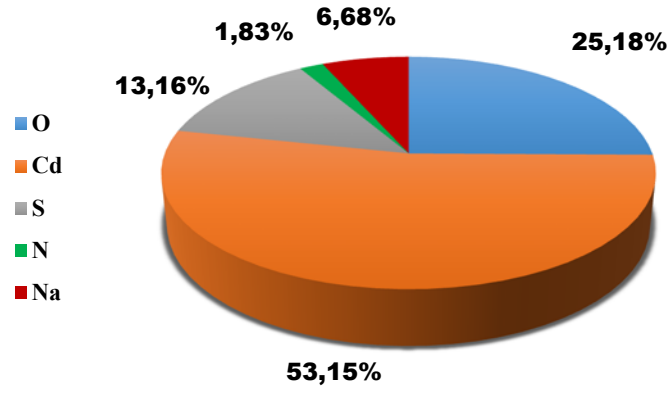


Şekil 4.1.2.5. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri

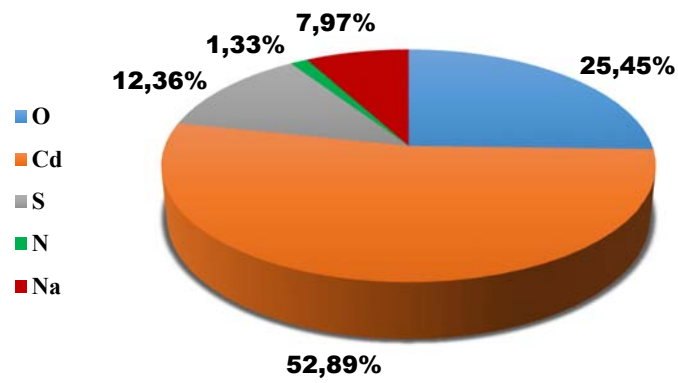
Tavlanmamış



300 °C

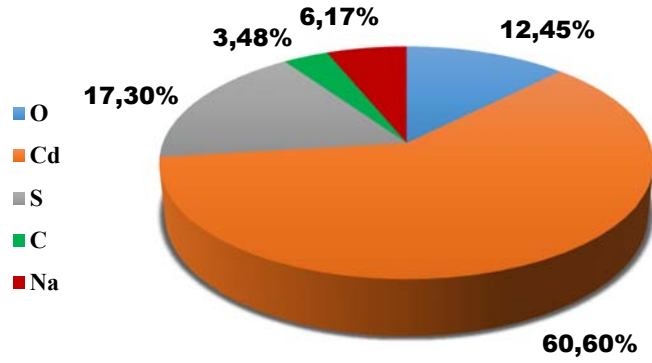


450 °C

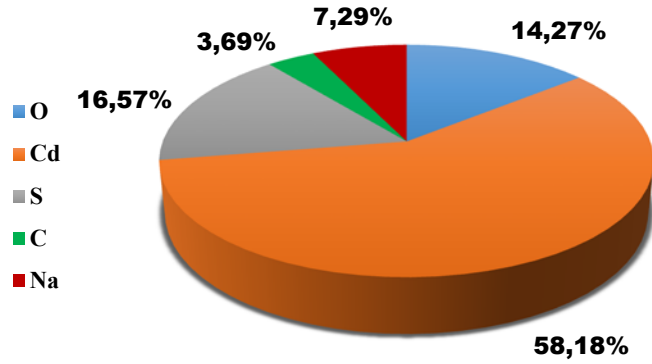


Şekil 4.1.2.6. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri

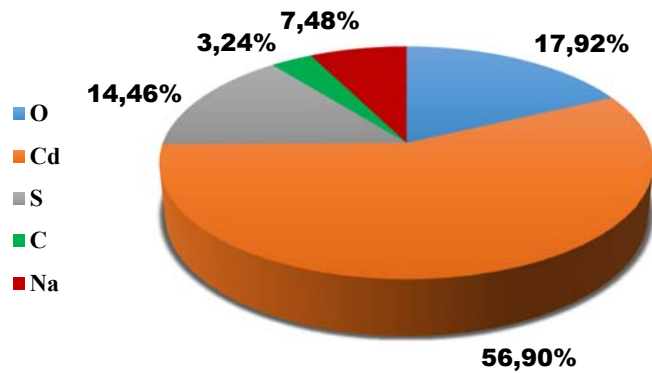
Tavlanmamış



300 °C

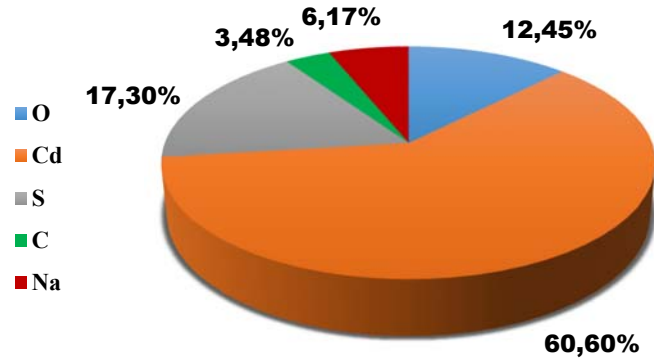


450 °C

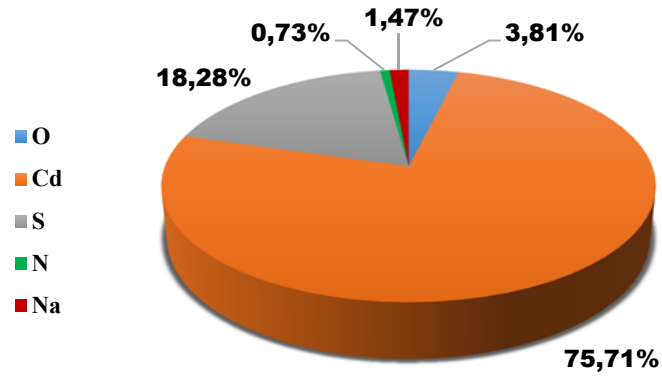


Şekil 4.1.2.7. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlanmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri

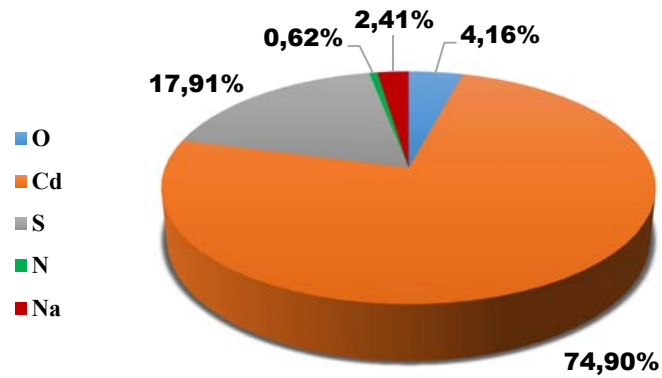
Tavlanmamış



300 °C

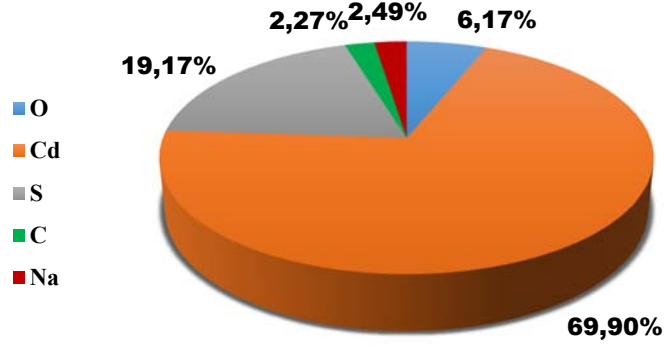


450 °C

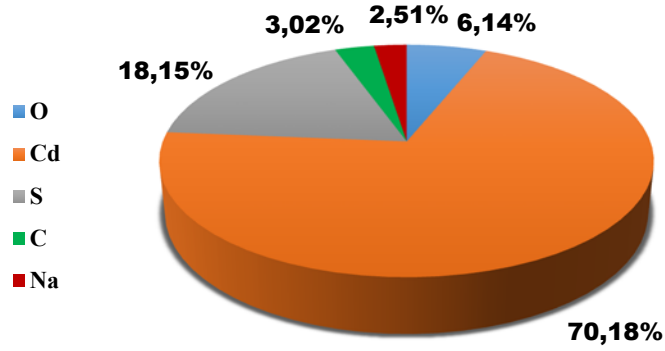


Şekil 4.1.2.8. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri

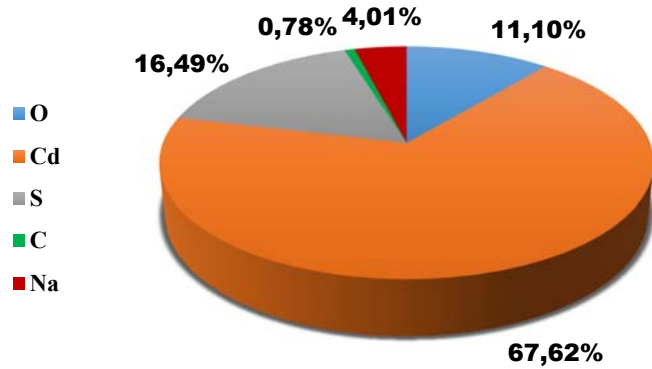
Tavlanmamış



300 °C

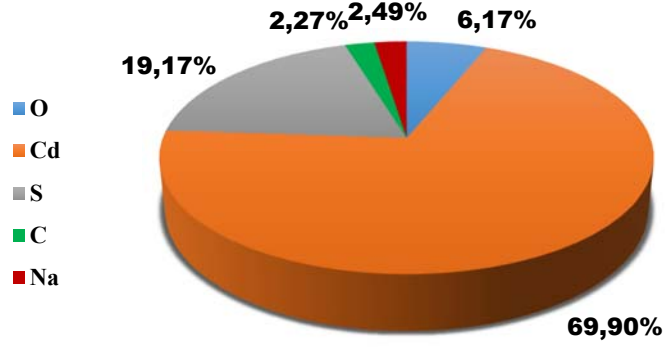


450 °C

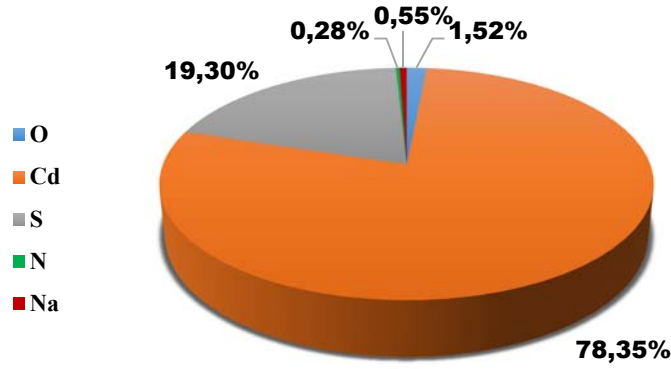


Şekil 4.1.2.9. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri

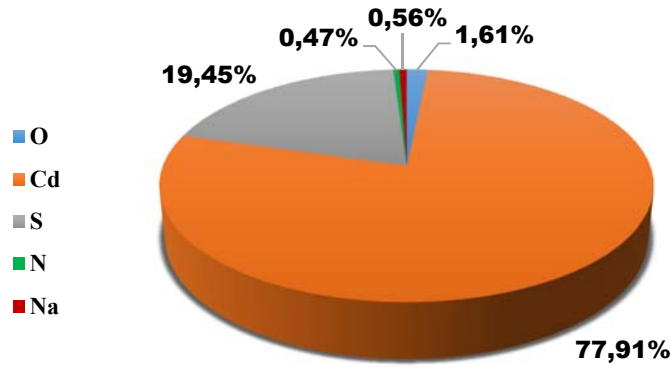
Tavlanmamış



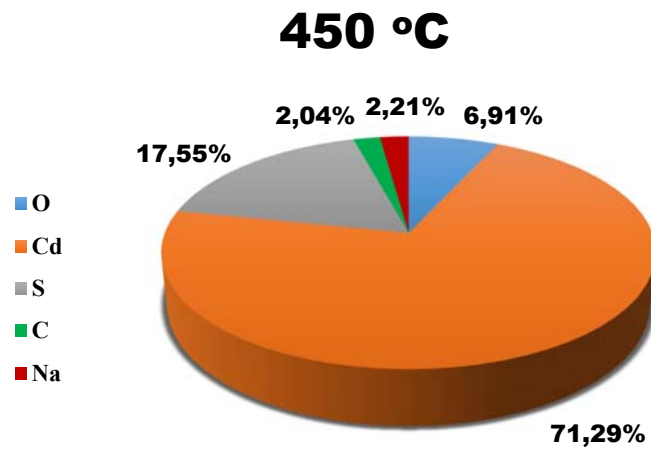
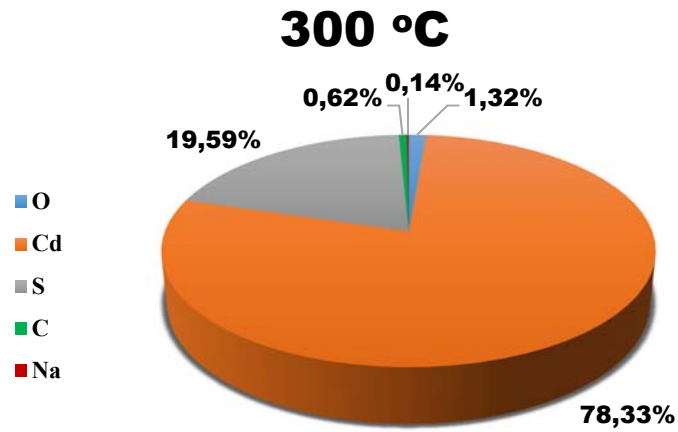
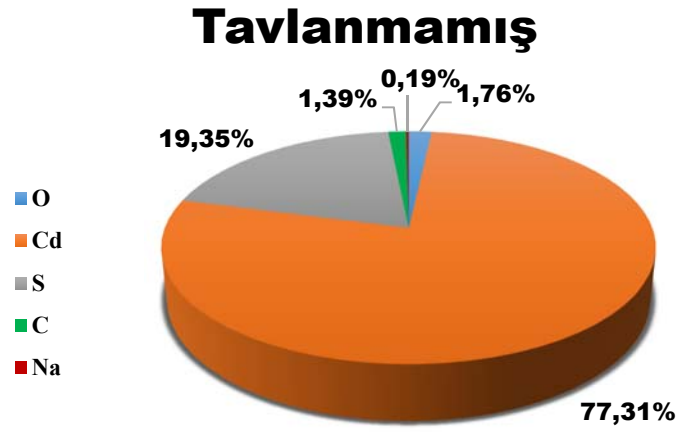
300 °C



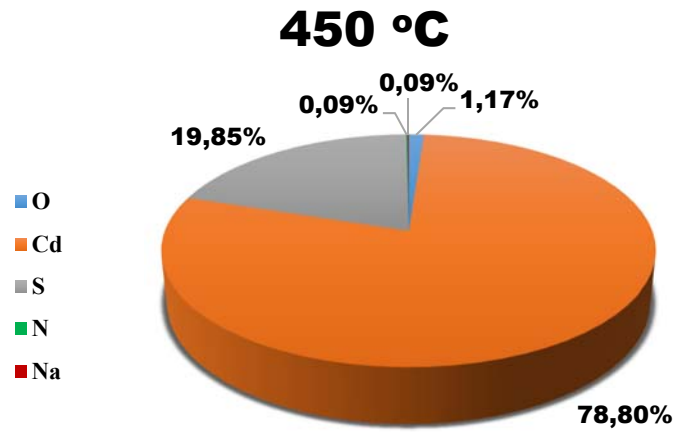
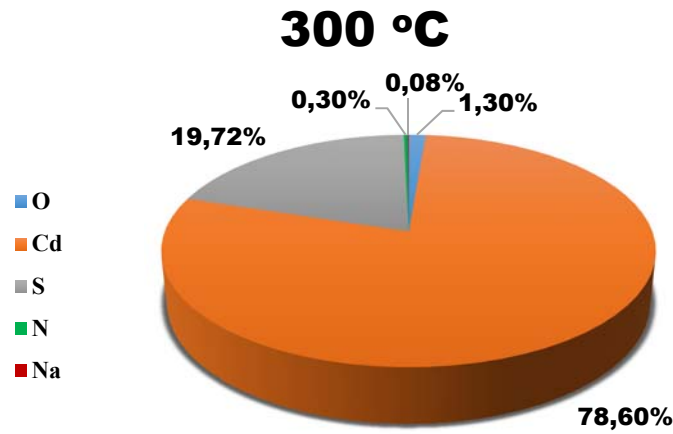
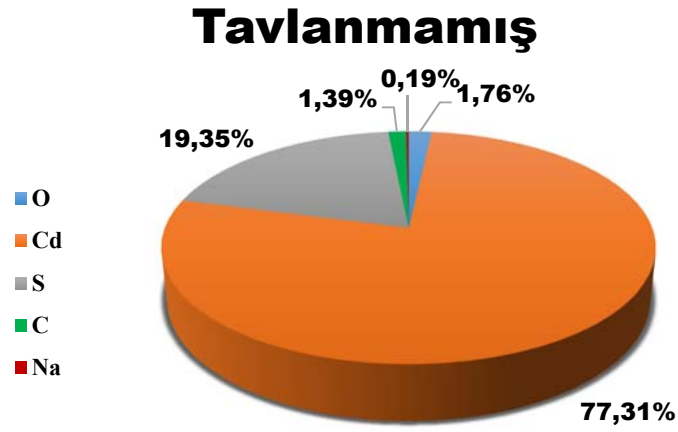
450 °C



Şekil 4.1.2.10. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri



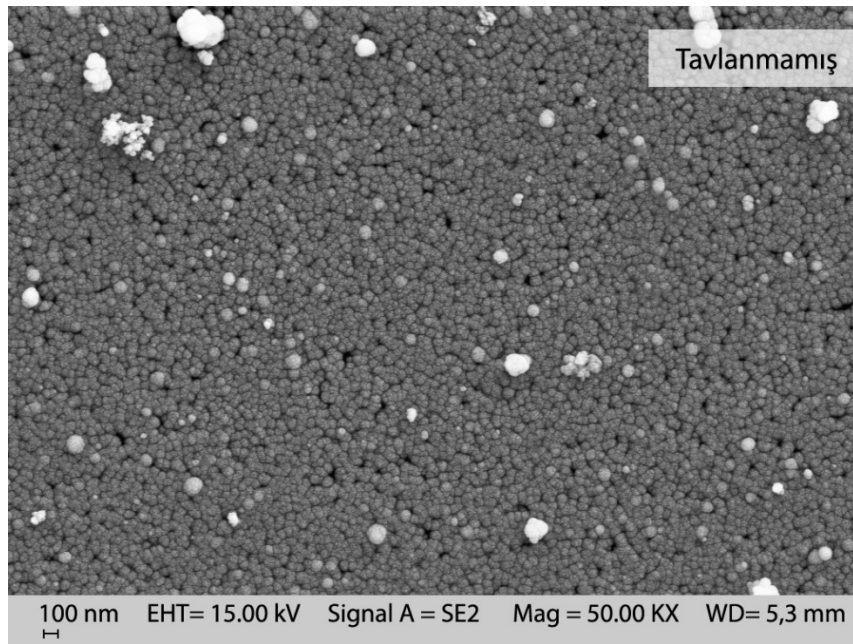
Şekil 4.1.2.11. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri



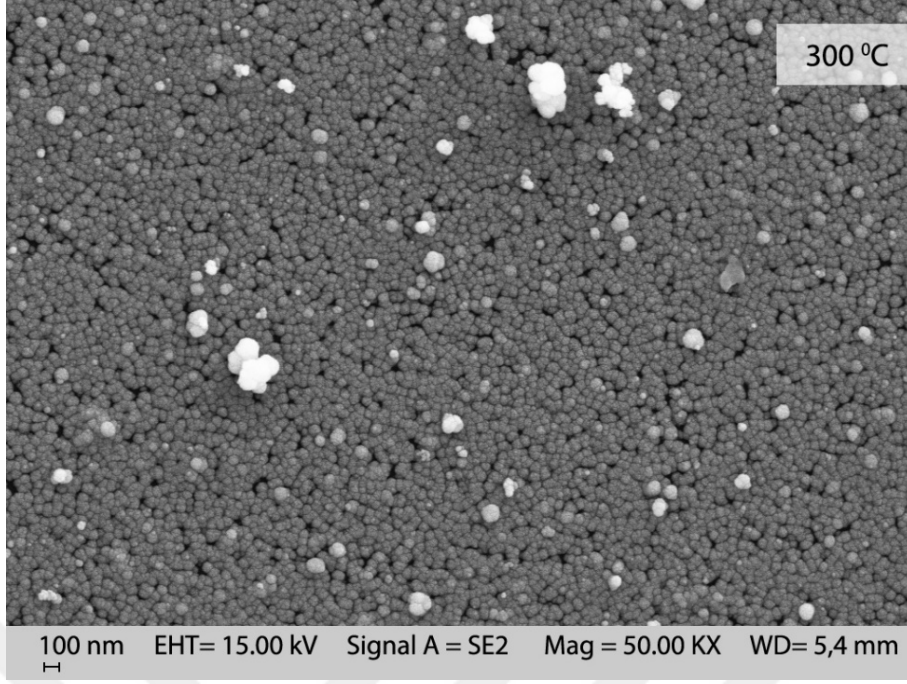
Şekil 4.1.2.12. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin EDX grafikleri

Farklı çalışmalarda EDX sonuçları incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile Cd ve S iyonu oranının azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın oksijen ve azot ortamında farklılık gösterdiği, azot ortamında daha az bir azalmanın olduğu gözlenmiştir [3-5].

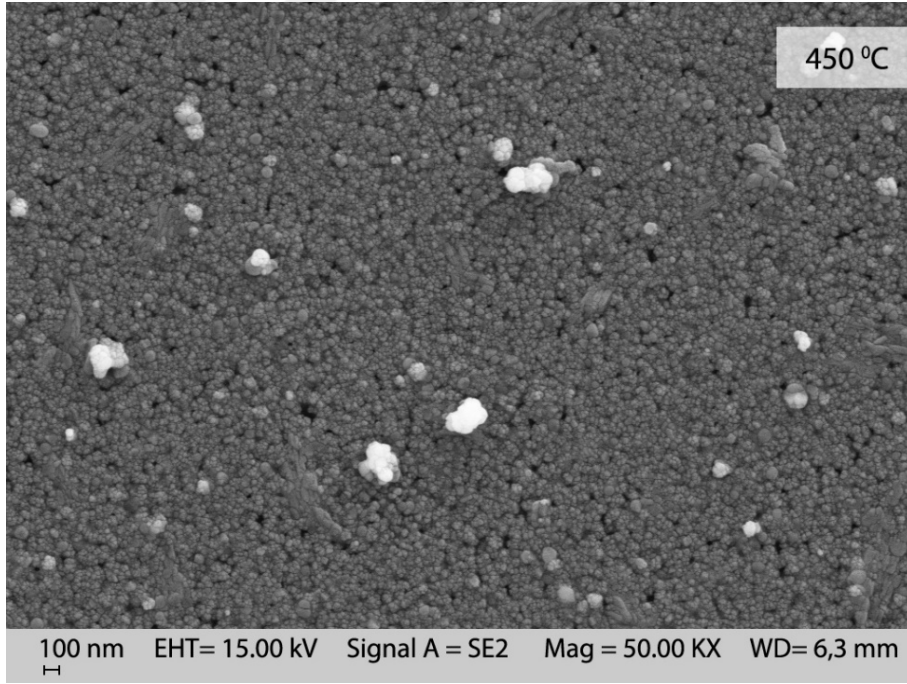
SEM görüntüleri cam yüzey üzerindeki CdS kristallerinin açıklanmasında bize yardımcı olur. 600 nm, 875 nm, 950 nm ve 1000 nm kalınlığında hava ve azot ortamında tavlınmayan, 300 °C ve 450 °C'de tavlınan filmlerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri sırasıyla Şekil 4.1.2.13., Şekil 4.1.2.14., Şekil 4.1.2.15., Şekil 4.1.2.16., Şekil 4.1.2.17., Şekil 4.1.2.18., Şekil 4.1.2.19., Şekil 4.1.2.20., Şekil 4.1.2.21., Şekil 4.1.2.22., Şekil 4.1.2.23., Şekil 4.1.2.24., Şekil 4.1.2.25., Şekil 4.1.2.26., Şekil 4.1.2.27., Şekil 4.1.2.28., Şekil 4.1.2.29., Şekil 4.1.2.30., Şekil 4.1.2.31. ve Şekil 4.1.2.32.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde CdS yarıiletken ince filmlerinin yüzeylerinin, herhangi bir çatlak ve boşluk olmaksızın tanecikli yapı ile kaplandığı, tavlama sıcaklığının artması ile yapının bozulmadığı, fakat 450 °C'de hava ortamında tavlınmış filmin yapısının bozulduğu, azot ortamında ise bozulmadığı görülmüştür. Ayrıca SEM görüntüleri incelendiğinde film kalınlığına bağlı olarak tanecik büyüklüğünün ortalama olarak 90 nm den 250 nm ye arttığı görülmektedir. Bu sonuçların literatürle uyumlu olduğunu yapılan çalışmalar desteklemektedir [10-11-22-23]. H. Metin ve arkadaşlarının farklı kalınlık ve farklı koşullarda yaptıkları çalışmalarda, tavlınmayan CdS filmleri tanecikli yapı olmayıp, kozalak benzeri yapılar gösterdiğini, tavlınan filmlerde ise kozalak yapılar birleşerek karnabahar şeklinde olduklarını bulmuşlardır.



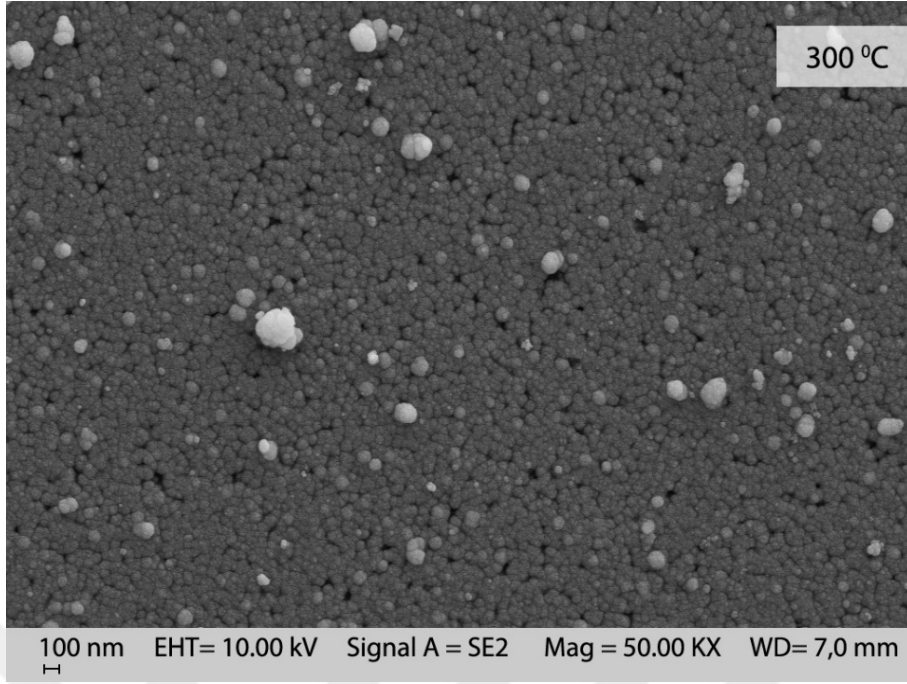
Şekil 4.1.2.13. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlınmayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



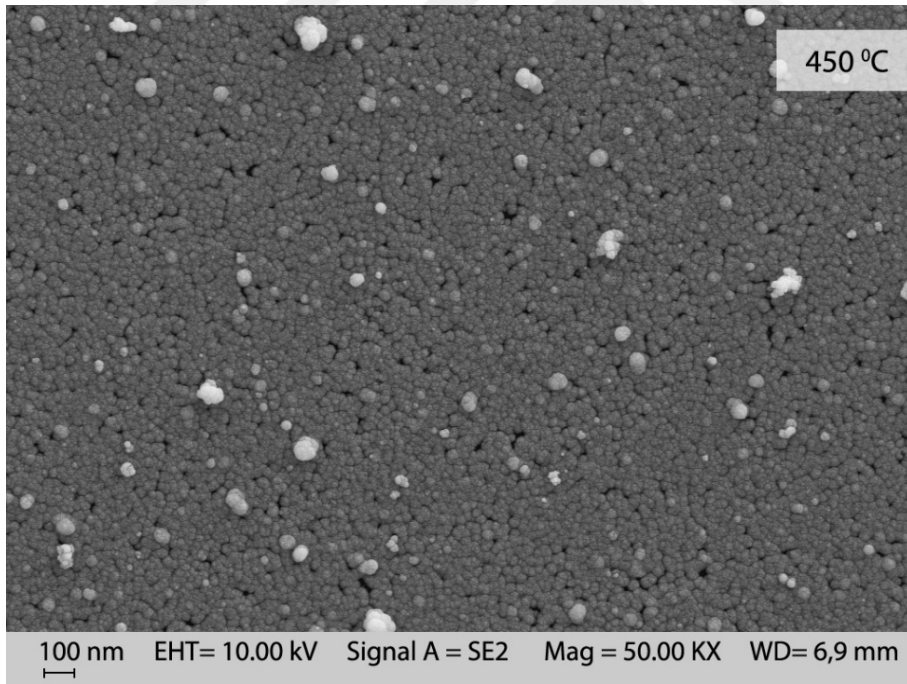
Şekil 4.1.2.14. 600 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



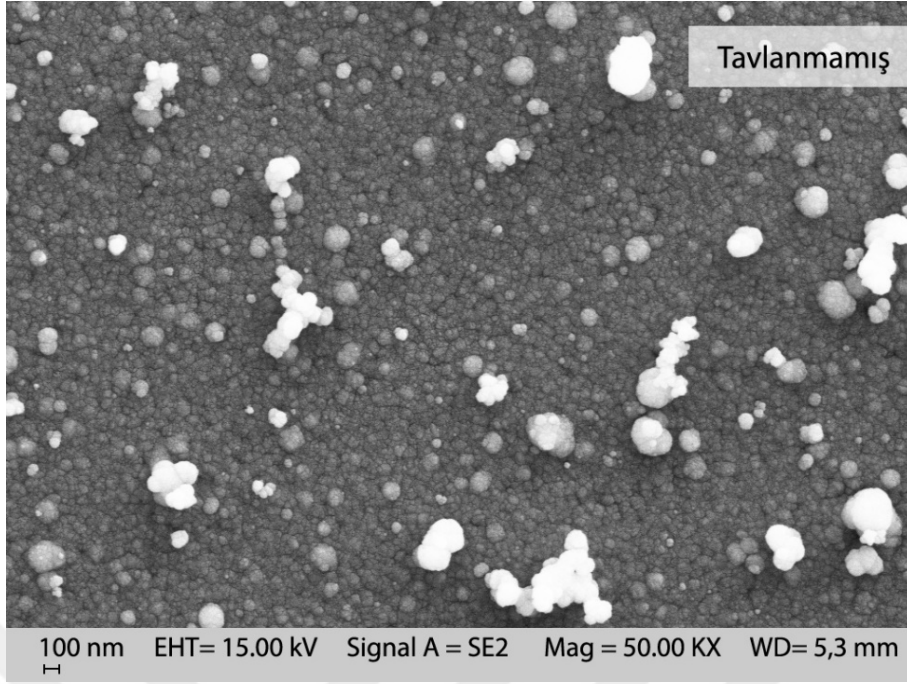
Şekil 4.1.2.15. 600 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



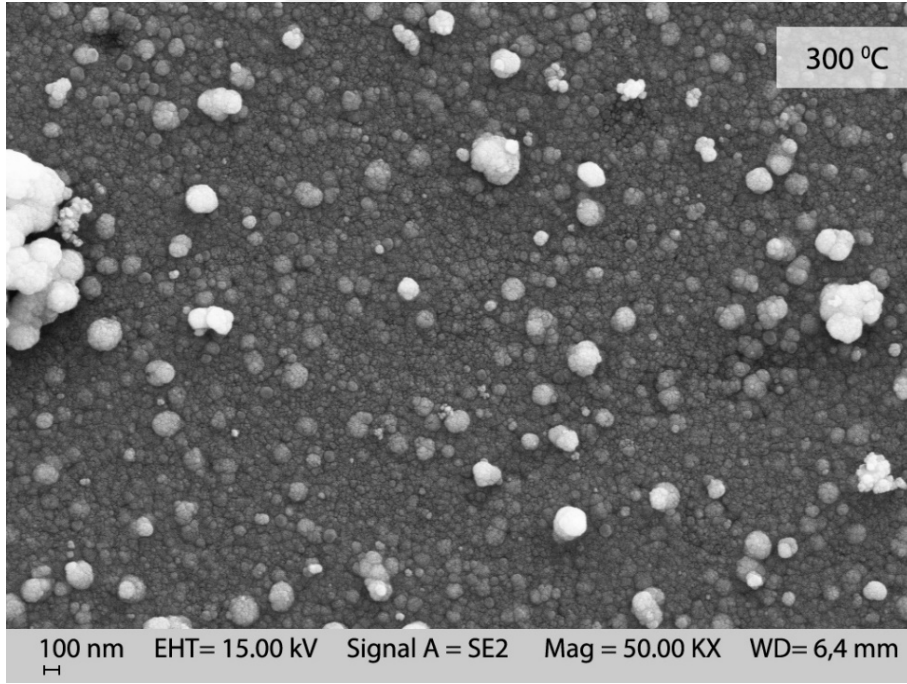
Şekil 4.1.2.16. 600 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



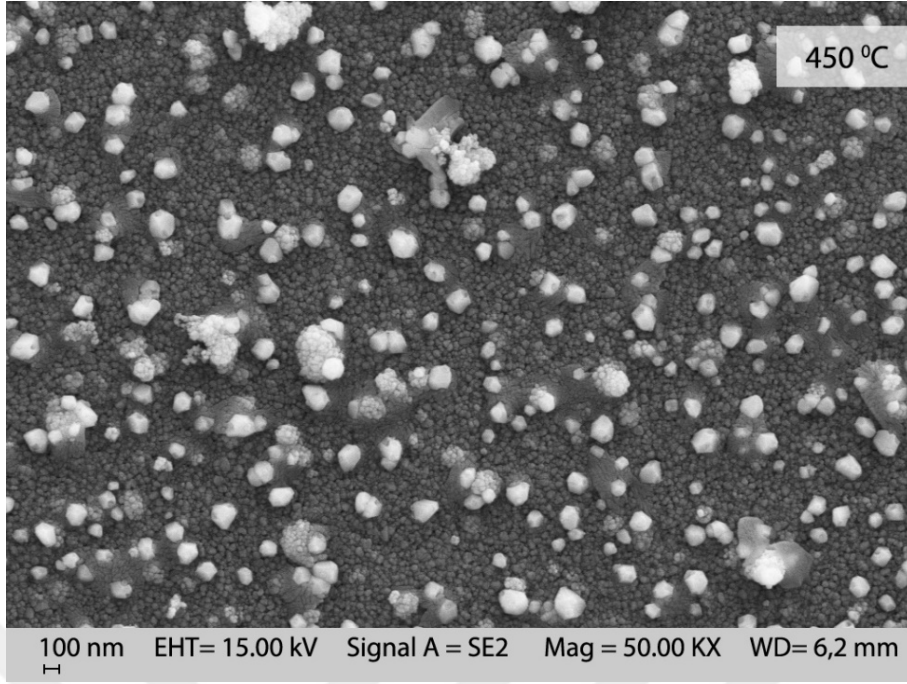
Şekil 4.1.2.17. 600 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



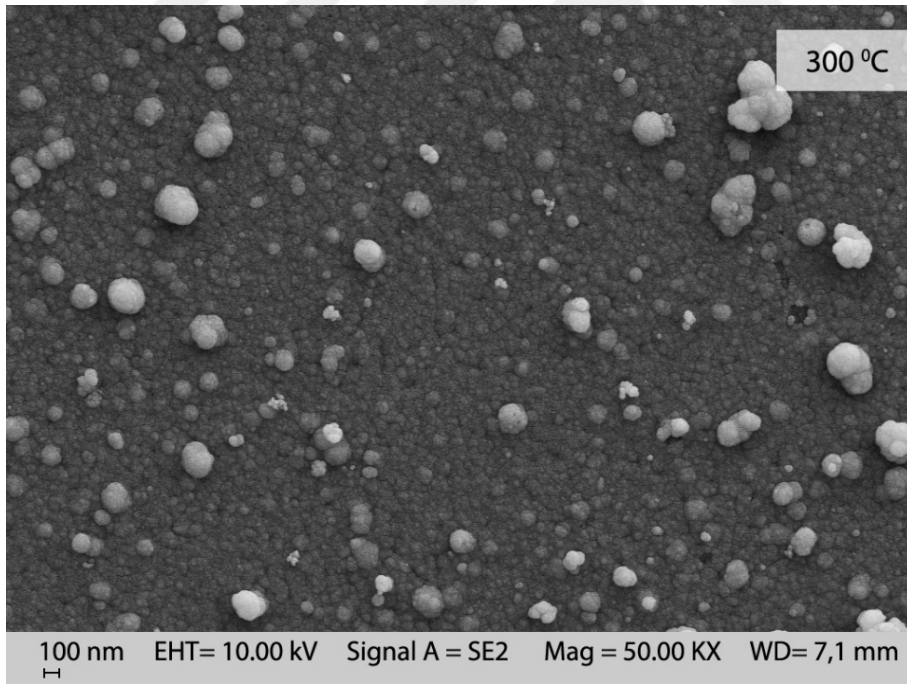
Şekil 4.1.2.18. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanmayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



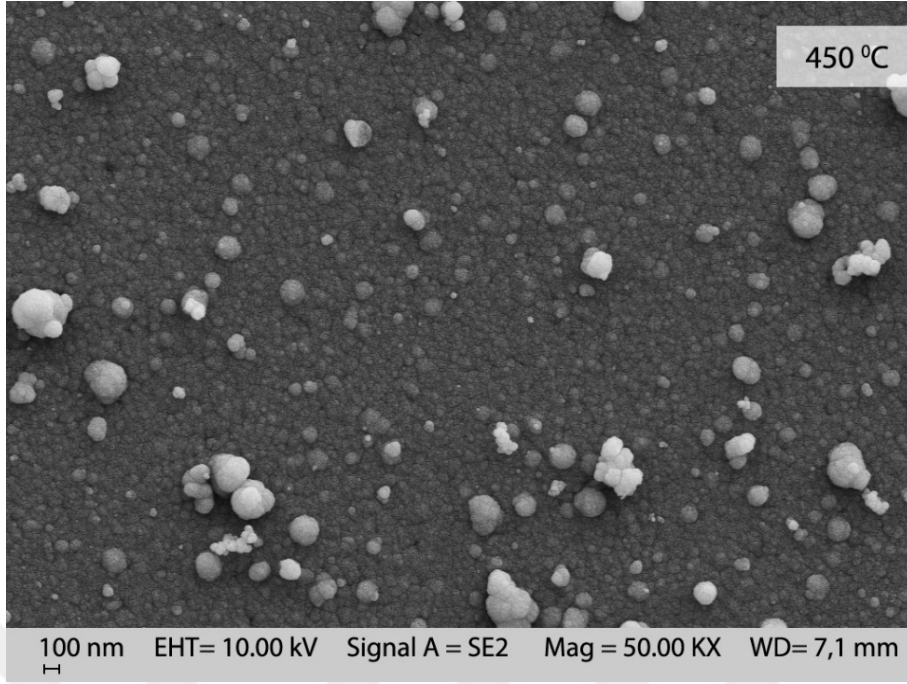
Şekil 4.1.2.19. 875 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavlanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



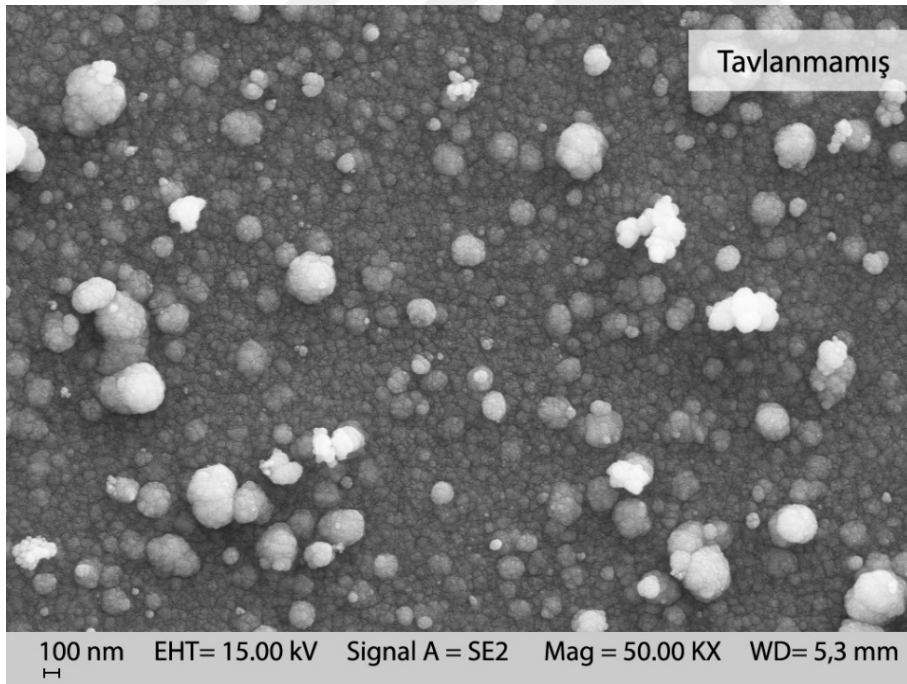
Şekil 4.1.2.20. 875 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



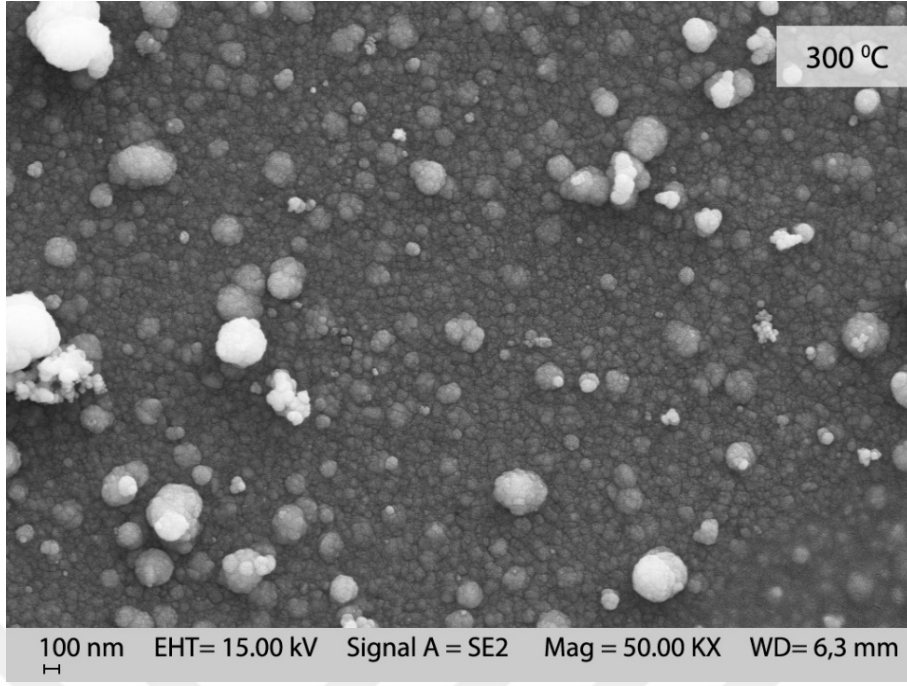
Şekil 4.1.2.21. 875 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



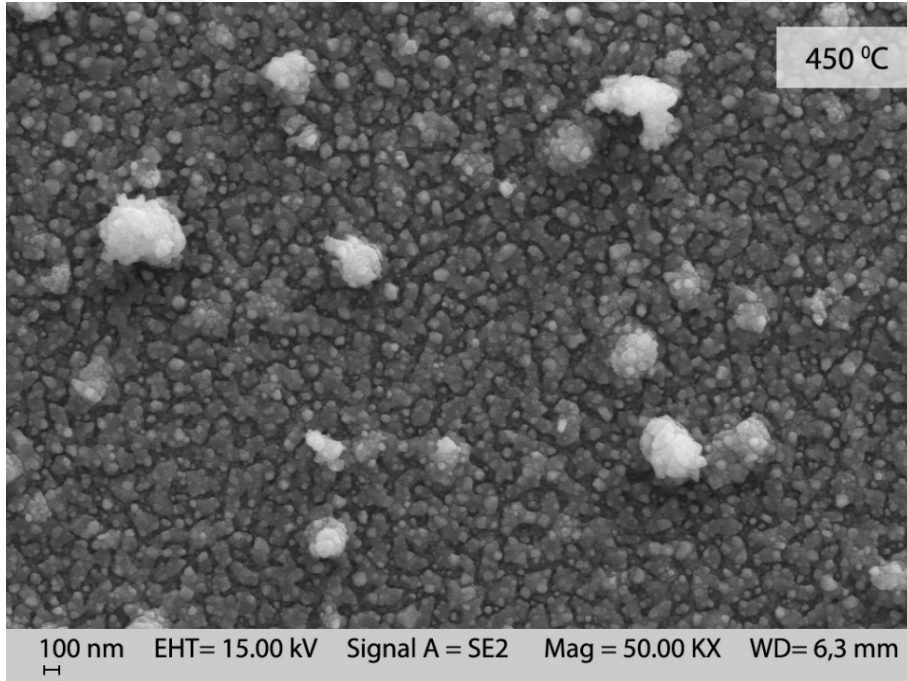
Şekil 4.1.2.22. 875 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



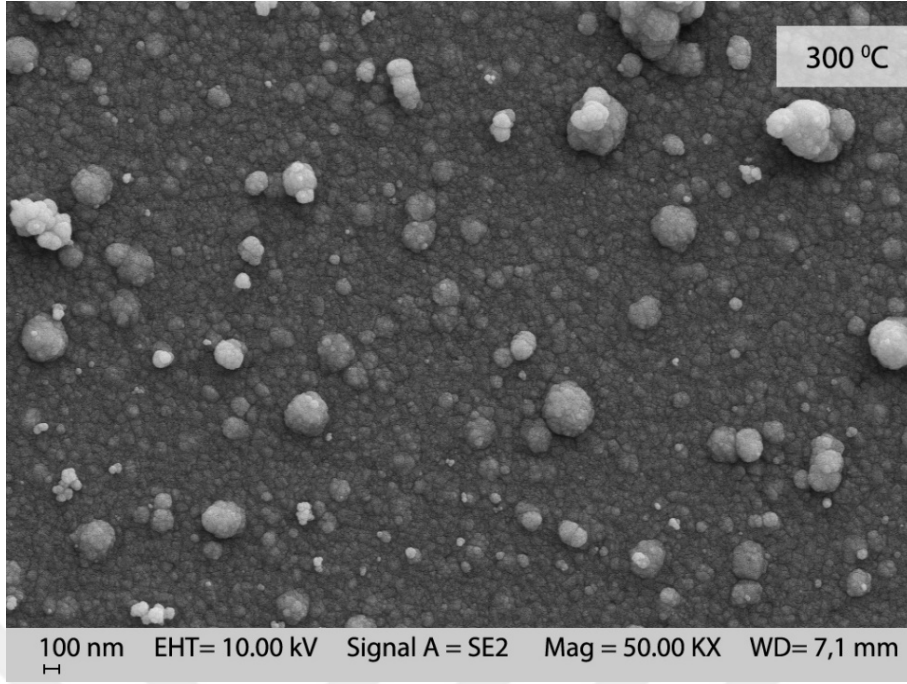
Şekil 4.1.2.23. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlınmayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



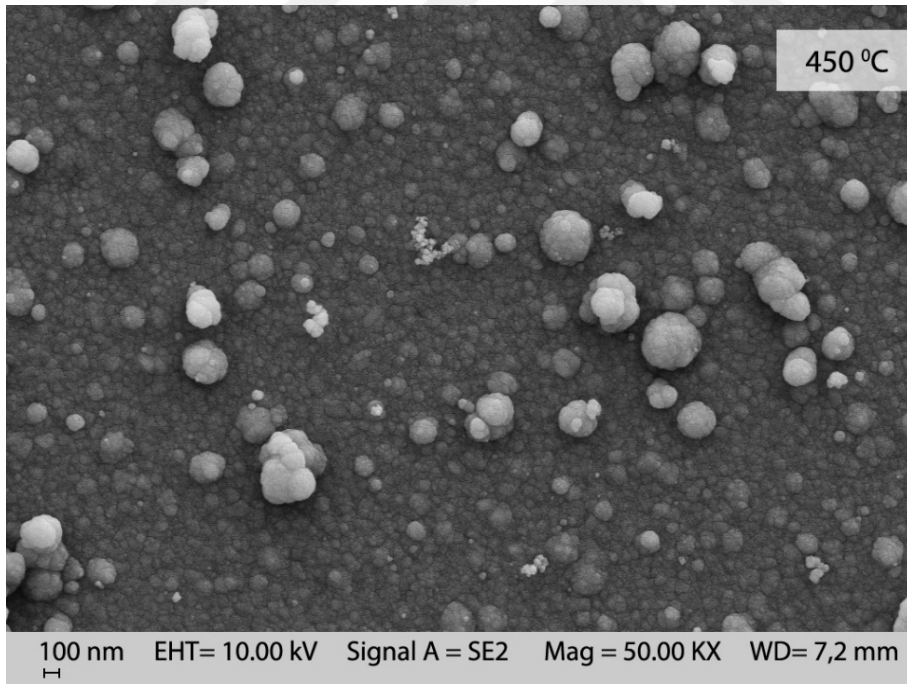
Şekil 4.1.2.24. 950 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



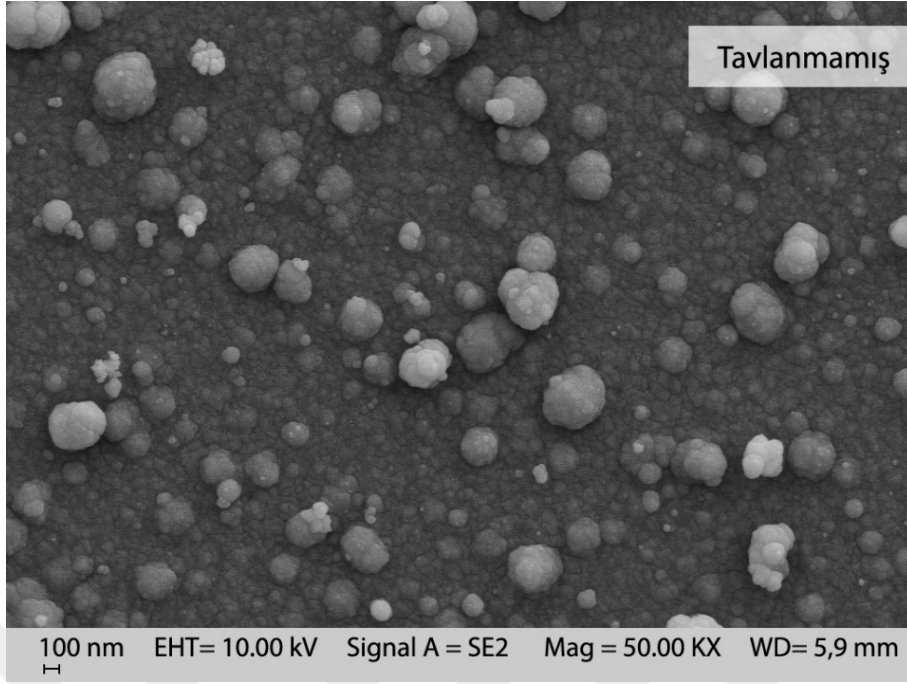
Şekil 4.1.2.25. 950 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



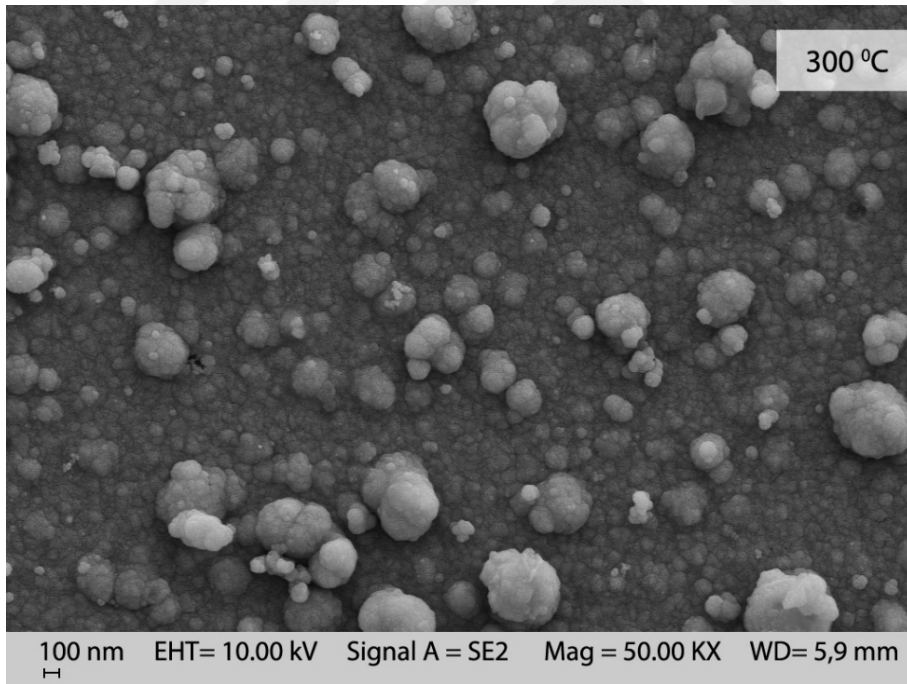
Şekil 4.1.2.26. 950 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



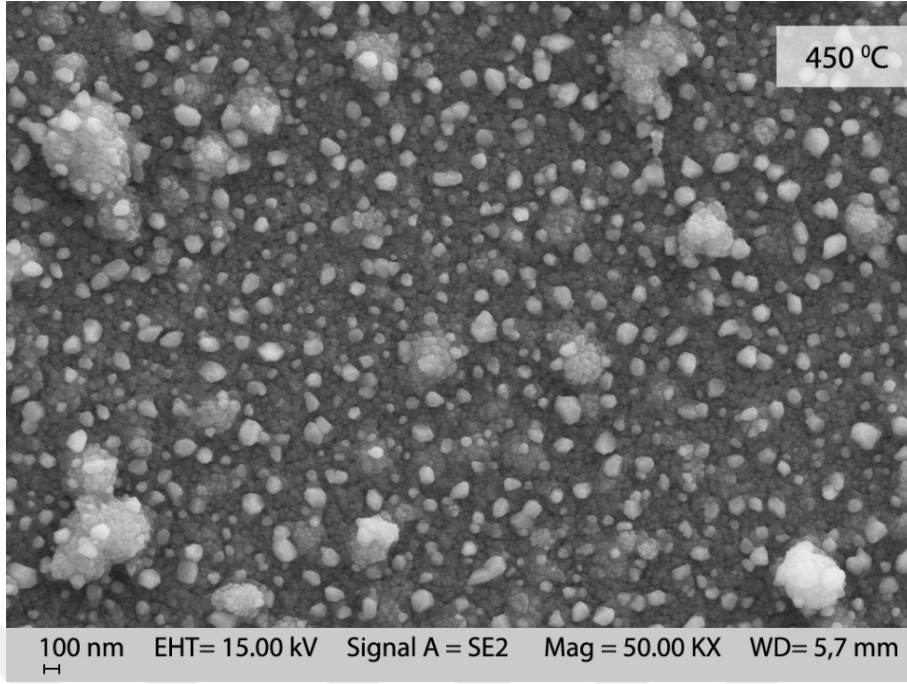
Şekil 4.1.2.27. 950 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



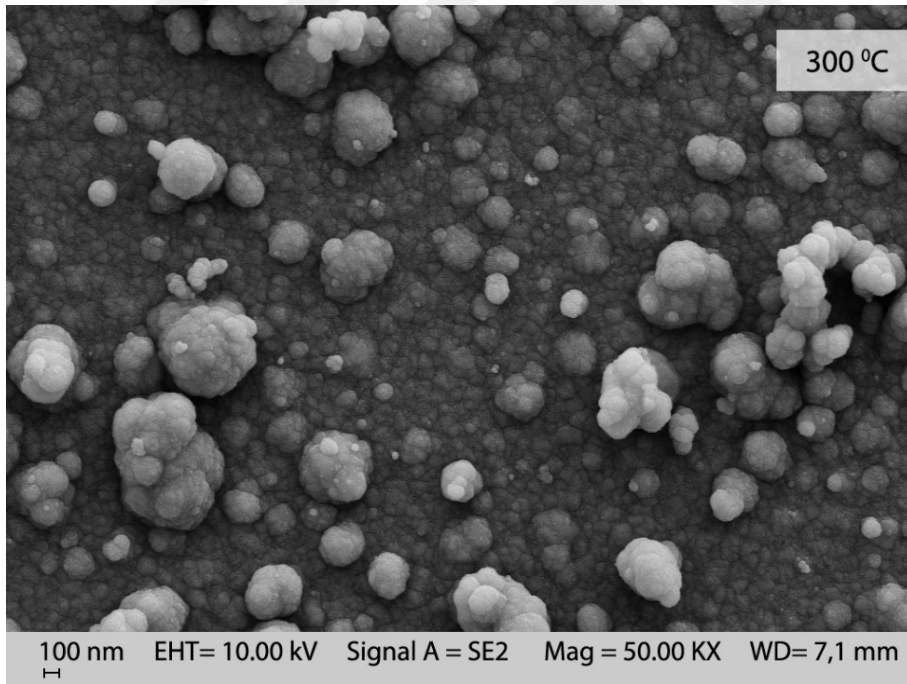
Şekil 4.1.2.28. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanmayan CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



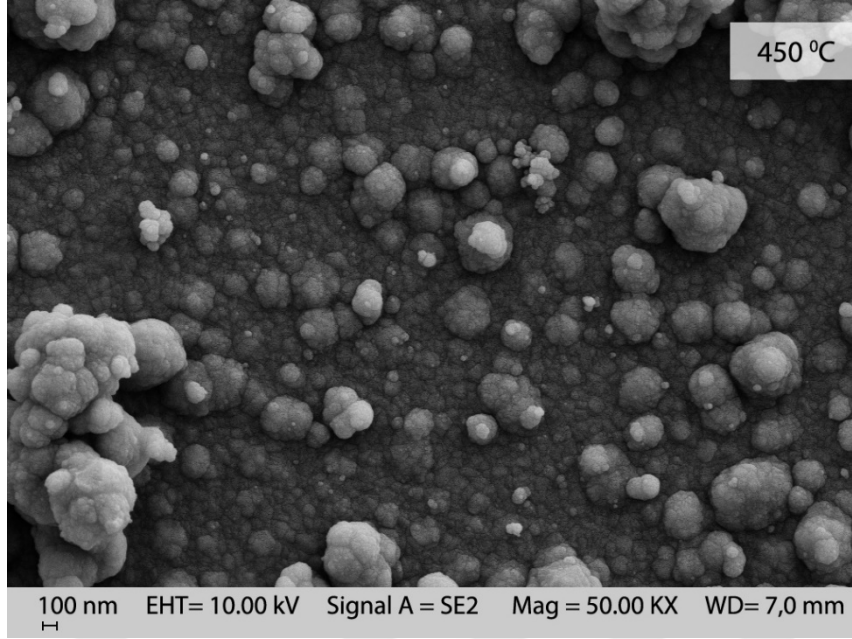
Şekil 4.1.2.29. 1000 nm kalınlığında hava ortamında 300 °C'de tavlanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



Şekil 4.1.2.30. 1000 nm kalınlığında hava ortamında 450 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



Şekil 4.1.2.31. 1000 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C'de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü



Şekil 4.1.2.32. 1000 nm kalınlığında azot ortamında 450 °C’de tavllanmış CdS yarıiletken ince filminin SEM görüntüsü

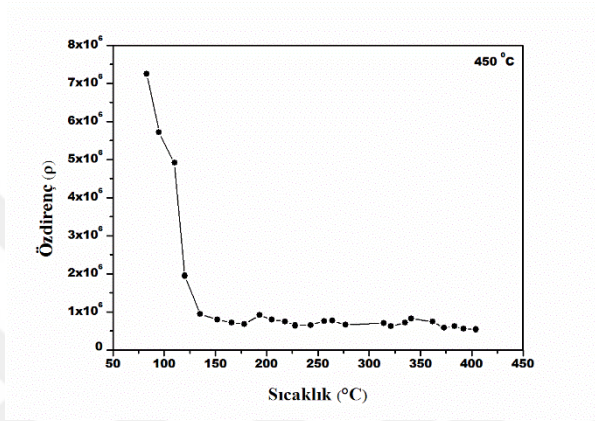
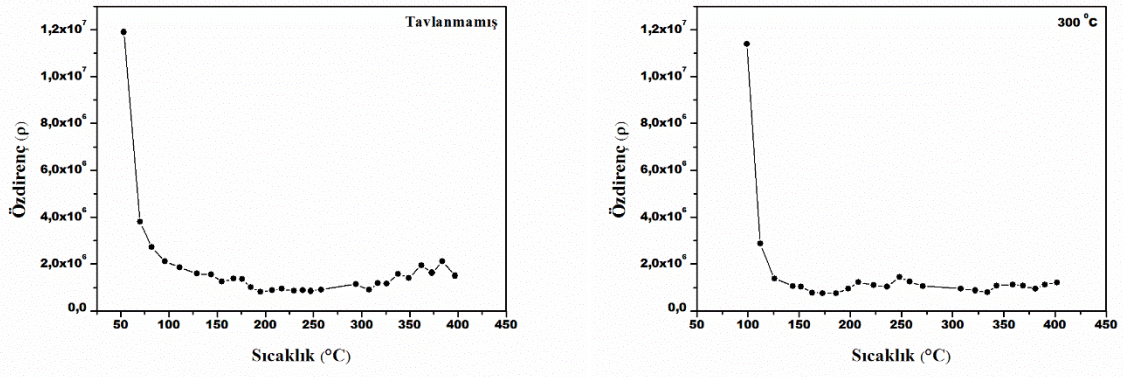
4.1.3. CdS İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri

Hava ortamında ve azot ortamında tavlınmayan ve farklı sıcaklıklarda tavlanan CdS yarıiletken ince filmlerinin 4’lü prop yöntemi ile yapılan elektriksel ölçümleri için Nabertherm P320 ısıtıcı, Keithley 2400 elektrometre ve Keithley 2700 multimetre kullanıldı. Isıtıcının sıcaklığı üretilen malzeme yanına yerleştirilen 0.5 mm’lik standart bir K tipi ısısal çift (thermocouple) ile kontrol edildi. Akım Keithley 2400 cihazı ile ölçülürken gerilim ise Keithley 2700 cihazı ile ölçüldü. Ölçümler alınırken 0.5 mm yarıçaplı platin proplar kullanıldı [25].

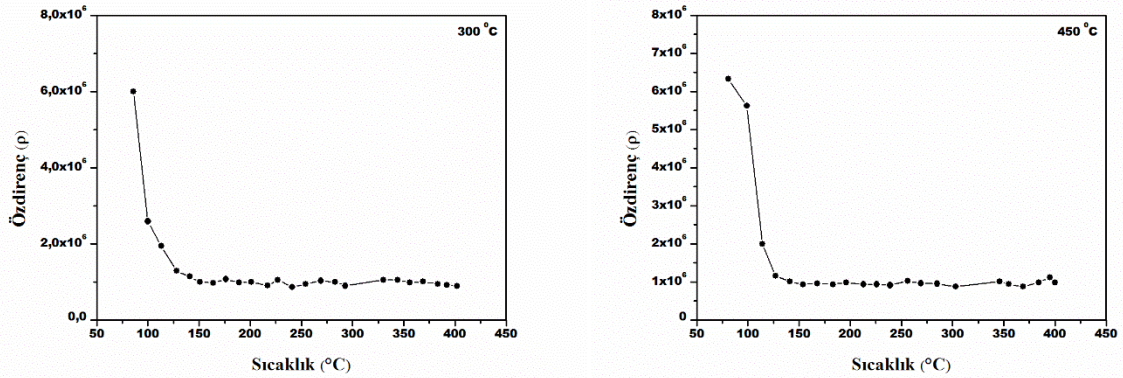
Farklı kalınlıklarda tavlınmayan, hava ve azot ortamında tavlanan CdS yarıiletken ince filmlerin 4’lü prop ölçümü oda sıcaklığı ile 400 °C arasında alınmıştır. Ölçümler alınırken voltaj 30 mV değerine ayarlanmıştır. Alınan ölçümler sonucunda üretilen malzemenin özdirençleri ve aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Özdirenç (ρ); gerilim, akım ve malzemenin şeklinden kaynaklanan geometrik yapı faktörünün bilinmesi ile bulunmuştur. Elektriksel özdirenç (ρ) denklem (19)’a göre hesaplanmıştır.

$$\rho = G \frac{V}{I} \quad (19)$$

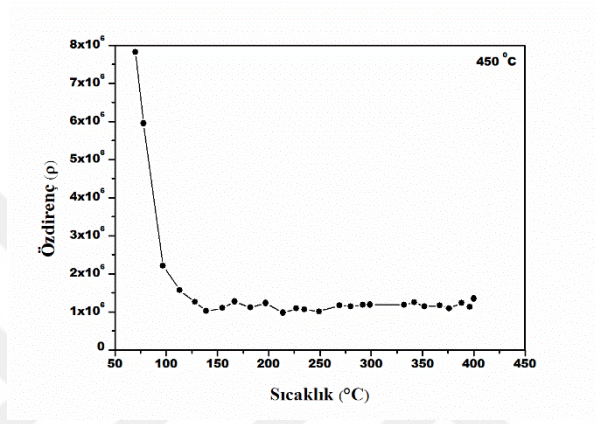
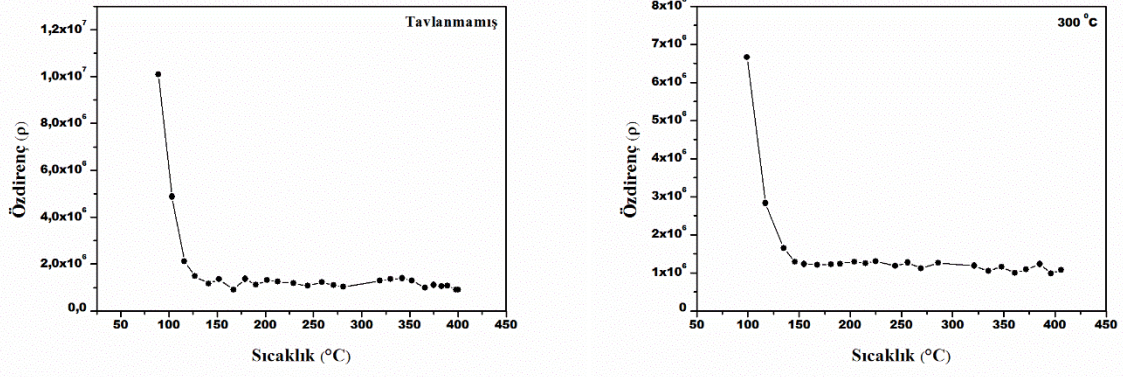
Denklem (19)’da G değişkeni geometrik yapı faktörüdür ve malzemenin boyutları, kontakların yapıma şekli, kontakların bulunduğu konuma göre değişir. Bu çalışmada geometrik yapı faktörü $G = 2\pi S$ olarak alınmıştır.



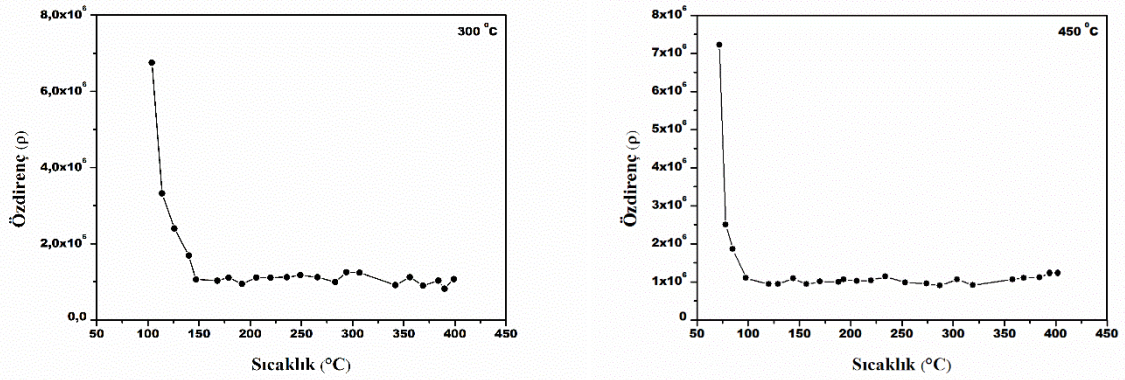
Şekil 4.1.3.1. 600 nm kalınlığında tavlınmamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



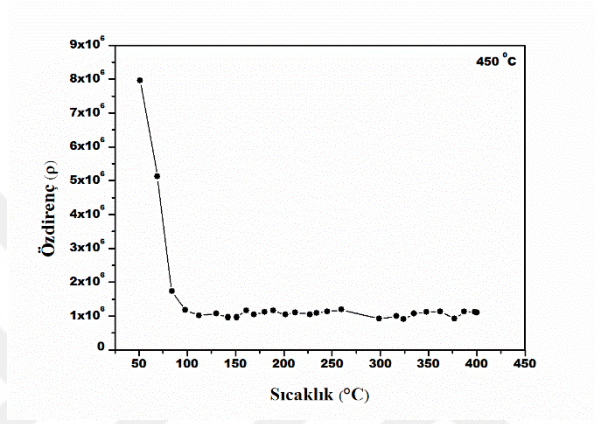
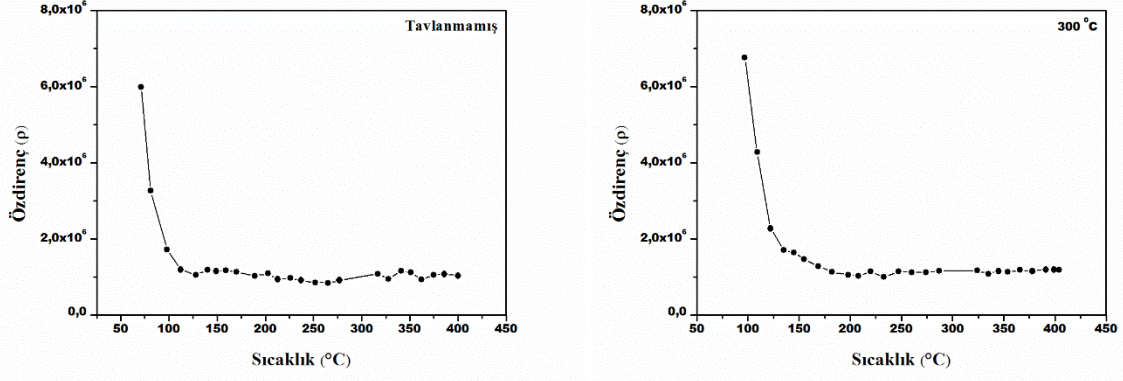
Şekil 4.1.3.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



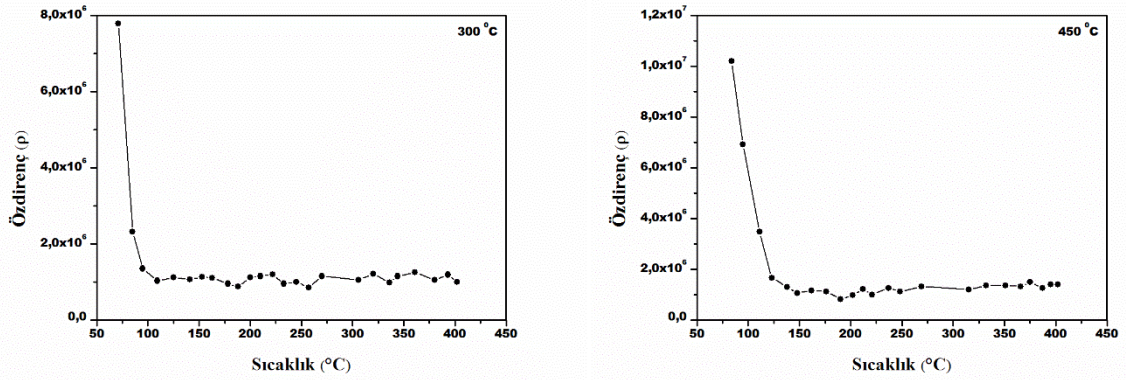
Şekil 4.1.3.3. 875 nm kalınlığında tavlınmamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



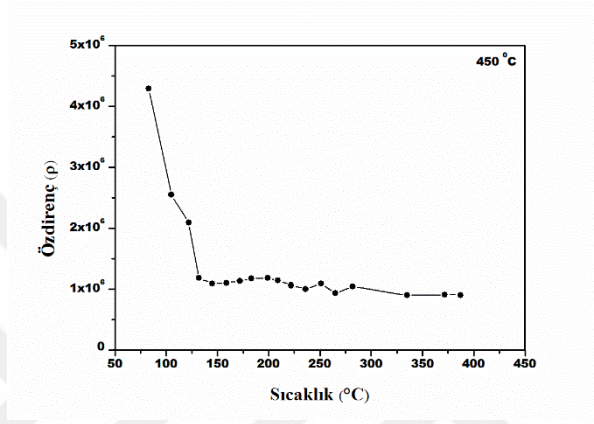
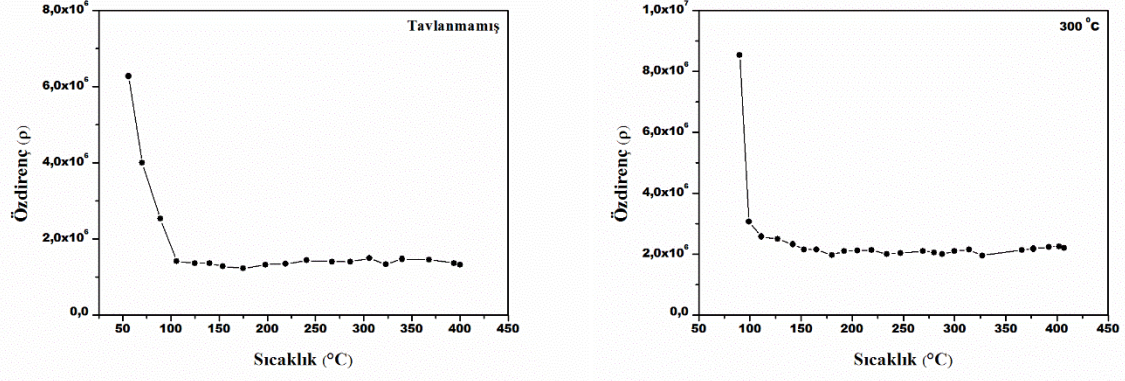
Şekil 4.1.3.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



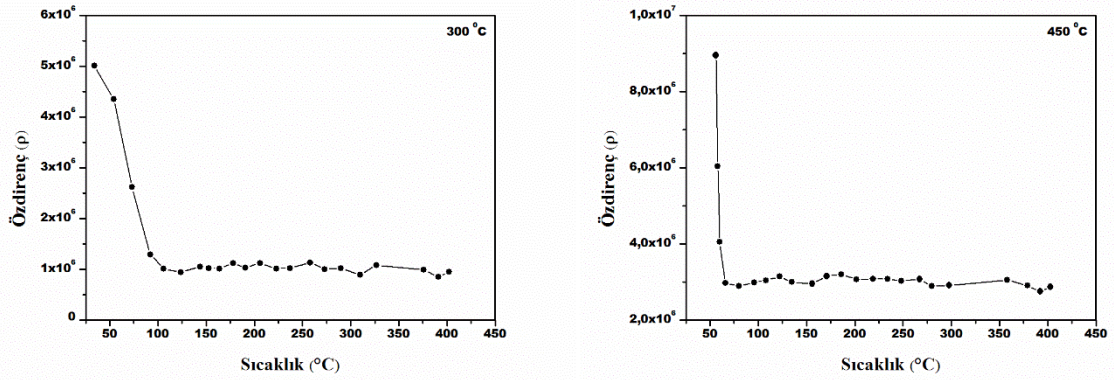
Şekil 4.1.3.5. 950 nm kalınlığında tavlınmamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



Şekil 4.1.3.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C'de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



Şekil 4.1.3.7. 1000 nm kalınlığında tavlınmamış, hava ortamında 300 °C ve 450 °C’de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri



Şekil 4.1.3.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında 300 °C ve 450 °C’de tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri

600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında üretilen tavlınmamış, 300 °C ve 450 °C'de hava ile azot ortamında tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç grafikleri sırası ile Şekil 4.1.3.1., Şekil 4.1.3.2., Şekil 4.1.3.3., Şekil 4.1.3.4., Şekil 4.1.3.5., Şekil 4.1.3.6., Şekil 4.1.3.7. ve Şekil 4.1.3.8.'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sıcaklığın artması ile özdirenç azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca özdirenç azalması iletkenliğin arttığının bir göstergesidir. Buda yarıiletkenlerin karakteristik bir özelliğidir.

CdS yarıiletken ince filmlerin elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için Hall ölçüm sistemi ile alınan verilerden yararlanılmıştır. Bu sistem kullanılarak üretilen filmlerin taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite, özdirenç ve taşıyıcı tipi belirlenmiştir. Kare şeklinde kesilmiş CdS yarıiletken ince filmlerin köşelerinden altın plaka ile tutturulmuş ve ölçümler bu şekilde alınmıştır. Ölçüm alınırken uygulanan manyetik alan 0.54 Tesla değerindedir. 600 nm, 875 nm, 950 nm, 1000 nm kalınlığında üretilen tavlınmamış, 300 °C ve 450 °C'de hava ile azot ortamında tavlınmış CdS yarıiletken ince filmlerinin taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite, taşıyıcı tipi ve özdirenç değerleri Tablo 4.1.3.1., Tablo 4.1.3.2., Tablo 4.1.3.3., Tablo 4.1.3.4., Tablo 4.1.3.5., Tablo 4.1.3.6., Tablo 4.1.3.7. ve Tablo 4.1.3.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.1.3.1. 600 nm kalınlığında hava ortamında tavlınan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (10^{11} cm^{-3})	Mobilite ($10^2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)	Özdirenç ($10^5 \Omega\text{- cm}$)	Taşıyıcı tipi
Tavlınmamış	2.37	5.63	4.69	n
300 °C	4.36	1.81	0.79	n
450 °C	2.34	0.38	7.08	n

Tablo 4.1.3.2. 600 nm kalınlığında azot ortamında tavlınan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (10^{11} cm^{-3})	Mobilite ($10^2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)	Özdirenç ($10^5 \Omega\text{- cm}$)	Taşıyıcı tipi
Tavlınmamış	2.37	5.63	4.69	n
300 °C	2.08	0.52	5.79	n
450 °C	1.56	0.52	7.69	n

Tablo 4.1.3.1. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile mobilitenin azaldığı fakat taşıyıcı konsantrasyonu ve öz direncin farklı değerler aldığı görülmüştür. Tablo 4.1.3.2. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite azalırken öz direnç değerinin artış gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4.1.3.3. 875 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (10^{12} cm^{-3})	Mobilite (cm^2/Vs)	Özdirenç ($\Omega\text{-cm}$)	Taşıyıcı tipi
Tavlınmamış	6.57	6.03×10^{-3}	1.58×10^8	n
300 °C	0.62	1.79×10^1	5.65×10^5	n
450 °C	0.41	2.31×10^1	6.63×10^5	n

Tablo 4.1.3.4. 875 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (10^{12} cm^{-3})	Mobilite (cm^2/Vs)	Özdirenç ($\Omega\text{-cm}$)	Taşıyıcı tipi
Tavlınmamış	6.57	6.03×10^{-3}	1.58×10^8	n
300 °C	41.8	4.56×10^0	3.27×10^4	n
450 °C	0.17	2.28×10^2	1.66×10^5	n

Tablo 4.1.3.3. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile taşıyıcı konsantrasyonunun azaldığı fakat mobilite ve öz direncin farklı değerler aldığı görülmüştür. Tablo 4.1.3.4. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile mobilitenin arttığı fakat taşıyıcı konsantrasyonu ve öz direncin farklı değerler aldığı görülmüştür. Bu sonucun ise XRD dataları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Çünkü Şekil 4.1.2.2.'de görüldüğü gibi CdS yarıiletken ince filmleri hava ortamında polikristal yapıdayken azot ortamında kübik yapıda kararlı olduğu görülmüştür. Bu sonuç bize Tablo 4.1.3.4.'e bakıldığında iletkenliğin azot ortamında daha yüksek olduğunu gösteriyor.

Tablo 4.1.3.5. 950 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (cm ⁻³)	Mobilite (cm ² /Vs)	Özdirenç (Ω- cm)	Taşıyıcı tipi
Tavlınmamış	1.93x10 ¹³	1.25x10 ¹	2.58x10 ⁴	n
300 °C	4.72x10 ¹³	4.70x10 ²	2.82x10 ²	n
450 °C	4.39x10 ¹¹	1.93x10 ¹	7.35x10 ⁵	n

Tablo 4.1.3.6. 950 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlınmayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (cm ⁻³)	Mobilite (cm ² /Vs)	Özdirenç (Ω- cm)	Taşıyıcı tipi
Tavlınmamış	1.93x10 ¹³	1.25x10 ¹	2.58x10 ⁴	n
300 °C	1.67x10 ¹³	1.38x10 ⁻²	2.70x10 ⁷	n
450 °C	4.99x10 ¹⁴	5.96x10 ⁻³	2.10x10 ⁶	n

Tablo 4.1.3.5. ve Tablo 4.1.3.6. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite ve özdirenç farklı değerler aldığı görülmüştür. Tablo 4.1.3.7. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile taşıyıcı konsantrasyonu, mobilite ve özdirenç farklı değerler aldığı görülmüştür. Tablo 4.1.3.8. incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile özdirenç azalmış fakat taşıyıcı konsantrasyonu ve mobilite değerlerinin farklı tavlama sıcaklıkları için farklı değerler aldığı belirlenmiştir.

Hall ölçüm sonuçlarının verildiği tablolar incelendiğinde üretilen CdS yarıiletken ince filmleri üzerine farklı ortamlarda tavlama ve farklı tavlama sıcaklıklarının, taşıyıcı tipine etki etmediği ve n tipi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.1.3.7. 1000 nm kalınlığında hava ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (cm ⁻³)	Mobilite (cm ² /Vs)	Özdirenç (Ω- cm)	Taşıyıcı tipi
Tavlansamış	7.17x10 ¹²	1.53x10 ⁻⁴	5.70x10 ⁹	n
300 °C	2.18x10 ¹³	2.68x10 ³	1.07x10 ²	n
450 °C	2.96x10 ¹¹	3.77x10 ¹	5.60x10 ⁵	n

Tablo 4.1.3.8. 1000 nm kalınlığında azot ortamında tavlanan ve tavlansayan CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri

Tavlama sıcaklığı (°C)	Taşıyıcı konsantrasyonu (cm ⁻³)	Mobilite (cm ² /Vs)	Özdirenç (Ω- cm)	Taşıyıcı tipi
Tavlansamış	7.17x10 ¹²	1.53x10 ⁻⁴	5.70x10 ⁹	n
300 °C	9.57x10 ¹⁴	2.67x10 ⁰	2.44x10 ³	n
450 °C	3.80x10 ¹⁴	7.32x10 ²	2.25x10 ¹	n

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CdS yarıiletken ince filmleri kimyasal depolama yöntemi ile cam alttaban üzerine 80 °C'de üretilmiştir. Elde edilen filmler hava ve azot ortamında tavlanaarak; tavlamanın optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir.

Cam alttabanlar üzerine üretilen CdS yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığı, soğurma katsayısı, tanecik büyüklüğü gibi parametreleri hesaplandı. Tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının düştüğü, tanecik büyüklüğünün ise arttığı görülmüştür [1-2-5-14].

XRD dataları incelendiğinde CdS filmlerinin karakteristik olan (111)C, (220)C ve (311)C kübik pikleri bulunmuştur. Tavlama sıcaklığının artması ile piklerin şiddeti artmış, bu da tavlama işleminden beklediğimiz kristal tanecik büyüklüğünün artması ve daha düzenli bir yapı öngörüsü ile uyduğu görülmüştür.

SEM görüntüleri incelendiğinde, CdS yarıiletken ince filmlerinin yüzeylerinin, herhangi bir çatlak ve boşluk olmaksızın tanecikli yapı ile kaplandığı, tavlama sıcaklığının artması ile yapının bozulmadığı, fakat 450 °C'de hava ortamında tavllanmış filmin yapısının bozulduğu, azot ortamında ise bozulmadığı görülmüştür. Aynı zamanda tavlama sıcaklığının artmasıyla, daha büyük tanecikler elde edilmiştir.

EDX sonuçları incelendiğinde tavlama sıcaklığının artması ile Cd ve S iyonu oranının azaldığı, bu azalmanın hava ve azot ortamında farklılık gösterdiği ve azot ortamında daha az bir azalmanın olduğu gözlenmiştir.

Hall Analizi sonuçları incelendiğinde, tavlama sıcaklığının artması veya film kalınlığının artması ile taşıyıcı konsantrasyonunun arttığı ve taşıyıcı tipinin n tipi olduğu gözlenmiştir. 4'lü prop ölçümlerinde ise, sıcaklığın artması ile öz direncin azaldığı, dolayısı ile bu sonuca göre iletkenlik arttığı görülmüştür. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri üzerine tavlama sıcaklığının artması ile iletkenliğin arttığı ve azot ortamında tavlanan filmlerin, hava ortamında tavlanan filmlere göre daha iletken yapıda olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, literatür ile bu tez kapsamında yapılan çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Buda bize sonuçlarımızın literatür ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma, yarıiletken CdS ince filmlerinin üzerine farklı bir yarıiletken kaplanarak p-n eklemi oluşturulduğunda iletkenliğin arttırılacağı öngörülmektedir. Filmlerin kalitesini arttırmak için farklı alttabanlar kullanılarak alttaban etkisi ve pH'nin etkisi ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Ayrıca iyon kaynaklarının konsantrasyon değişikliğinin üretilen filmler üzerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Metin, H., Erat, S., Emen, F. M., Kafadar, V., Yazici, A. N., Ari, M., Kulcu, N. (2010). The thermoluminescence properties of CdS films under nitrogen atmosphere. *Journal of Luminescence*, 130(8), 1531-1538.
- [2]. Metin, H., Ari, M., Erat, S., Durmuş, S., Bozoklu, M., Braun, A. (2010). The effect of annealing temperature on the structural, optical, and electrical properties of CdS films. *Journal of Materials Research*, 25(01), 189-196.
- [3]. Metin, H., Sat, F., Erat, S., Ari, M. (2008). Cadmium sulphide thin films grown by CBD: the effect of thermal annealing on the structural, electrical and optical properties. *Journal of Optoelectronic and advance Materials*, 10(10), 2622-30.
- [4]. Metin, H., Esen, R. (2003). Annealing studies on CBD grown CdS thin films. *Journal of Crystal Growth*, 258(1), 141-148.
- [5]. Metin, H., Erat, S., Durmuş, S., Ari, M. (2010). Annealing effect on CdS/SnO₂ films grown by chemical bath deposition. *Applied Surface Science*, 256(16), 5076-5081.
- [6]. Metin, H., Esen, R. (2003). Annealing effects on optical and crystallographic properties of CBD grown CdS films. *Semiconductor science and technology*, 18(7), 647.
- [7]. Yao, P. C., Chen, C. Y. (2015). Effect of protic solvents on CdS thin films prepared by chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 579, 103-109.
- [8]. Maticiuc, N., Spalatu, N., Mikli, V., Hiie, J. (2015). Impact of CdS annealing atmosphere on the performance of CdS–CdTe solar cell. *Applied Surface Science*, 350, 14-18.
- [9]. Li, J. (2015). Preparation and properties of CdS thin films deposited by chemical bath deposition. *Ceramics International*, 41, S376-S380.
- [10]. Zhan, H., kang Li, J., fei Cheng, Y. (2015). Preparation and properties of CdS thin films deposited by chemical bath deposition. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 126(15), 1411-1414.
- [11]. Ahmad, F. R., Yakimov, A., Davis, R. J., Her, J. H., Cournoyer, J. R., Ayensu, N. M. (2013). Effect of thermal annealing on the properties of cadmium sulfide deposited via chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 535, 166-170.
- [12]. Zhou, L., Hu, X., Wu, S. (2013). Effects of deposition temperature on the performance of CdS films with chemical bath deposition. *Surface and Coatings Technology*, 228, S171-S174.

- [13]. Liu, F., Lai, Y., Liu, J., Wang, B., Kuang, S., Zhang, Z., Liu, Y. (2010). Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 493(1), 305-308.
- [14]. Hankare, P. P., Chate, P. A., Sathe, D. J. (2009). CdS thin film: Synthesis and characterization. *Solid State Sciences*, 11(7), 1226-1228.
- [15]. SÖNMEZOĞLU, S., Mehmed, K. O. Ç., Seçkin, A. K. I. N. (2016). İnce film üretim teknikleri/Thin film production techniques. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5).
- [16]. Wasa, K., Kitabatake, M., Adachi, H. (2004). *Thin film materials technology: sputtering of control compound materials*. Springer Science & Business Media.
- [17]. Ulutaş, C. (2009). Kimyasal depolama yöntemi ile elde edilmiş MnS ince filmlerinin özelliklerine ısısal tavlamanın etkisi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [18]. McMullan, D. (1994). Von Ardenne and the scanning electron microscope. *SPIE MILESTONE SERIES MS*, 94, 171-171.
- [19]. McMullan, D. (1995). Scanning electron microscopy 1928–1965. *Scanning*, 17(3), 175-185.
- [20]. Von Ardenne, M. (1937). Improvements in electron microscopes. British patent, (511204).
- [21]. Metin, H. (2002). Çok tabakalı yarıiletken ince film aygıtların üretimi ve modellenmesi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [22]. Bilkent, Nanoteknoloji. (2016). MMR VTHS ve ECOPIA 3000 Hall Ölçüm Sistemleri 24 Kasım 2016 tarihinde <http://www.nanotechnology.bilkent.edu.tr/tr/arastirmaaltyapisi/MMRVANDERPAU-WHALLOLCUMSISTEMI.pdf> adresinden erişim sağlandı.
- [23]. Schroder, D. K. (2006). *Semiconductor material and device characterization*. John Wiley & Sons.
- [24]. Yılmaz, S. (2008). Dy₂O₃, Eu₂O₃, Sm₂O₃ Katkılanmış β-Bi₂O₃ Tipi Katı Elektrolitlerin Sentezlenmesi, Karakterizasyonları ve Katı Hal Oksijen İyonik İletkenliklerinin Araştırılması. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [25]. Metin, H., Erat, S., Ari, M., Bozoklu, M. (2008). Characterization of CdSe films prepared by chemical bath deposition method. *Optoelectronics and Advanced Materials*, 2(2), 92-98.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Burhan ŞAHAN

Doğum Tarihi : 24.03.1990

E-mail : burhansahannn@gmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	2008-2013
Yüksek Lisans	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler	Mersin Üniversitesi	2013-2016

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- Şahan, B.; Metin Gübür, H.; Alpdoğan, S., Farklı Kalınlıklarda CBD ile Üretilen CdS İnce Filmlerinin Üzerine Farklı Ortamlarda Tavlamanın Etkisi, 1.Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi, 2016-10-26, 2016-10-28, Adana, Türkiye, 2016.
- Alpdoğan, S.; Adiguzel, A.; Sahan, B.; Tuncer, M.; Metin Gubur, H., CdS İnce Filmleri Üzerine Mikroorganizmaların Etkisi. 1.Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi, 2016-10-26, 2016-10-28, Adana, Türkiye, 2016.
- Gubur, H. M., Septekin, F., Alpdoğan, S., Sahan, B., Zeyrek, B. K.(2016). Structural properties of CdSe corn-like nanowires grown by chemical bath deposition. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 1-6.
- Alpdoğan, S.; Adiguzel, A.; Sahan, B.; Tuncer, M.; Metin Gubur, H. Effects of bacteria on CdS thin films using for technological devices (İnceleme).