

**p-SnS/n-CdS YARIİLETKEN HETEROEKLEMİN  
KARAKTERİZASYONU**

**SONER ALPDOĞAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK  
ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**MERSİN  
AĞUSTOS-2018**

**p-SnS/n-CdS YARIİLETKEN HETEROEKLEMİN  
KARAKTERİZASYONU**

**SONER ALPDOĞAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**


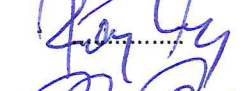


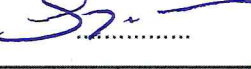
**FİZİK  
ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**MERSİN  
AĞUSTOS – 2018**

## ONAY

Soner ALPDOĞAN tarafından Prof. Dr. Hülya Metin GÜBÜR danışmanlığında ve Prof. Dr. Abdullah CEYLAN ikinci danışmanlığında hazırlanan "p-SnS/n-CdS Yarıiletken Heteroeklemin Karakterizasyonu" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Unvan, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Hülya Metin GÜBÜR	
Üye	Prof. Dr. Ramazan ESEN	
Üye	Prof. Dr. Mehmet ARI	
Üye	Doç. Dr. Selma ERAT	
Üye	Öğr. Üyesi Dr. Serdar YILMAZ	

Yukarıdaki jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...21.09.2018... tarih ve 2018.36./1350 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Cahit BİLİM  
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 ahlak 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.

10 Eylül 2018/ 10 September 2018

İmza / Signature

Soner ALPDOĞAN

## ÖZET

Bu tezde, güneş pili hücreleri olarak kullanılabilen p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklem için n-CdS yarıiletken ince film, kimyasal banyo yöntemi ile cam alttaban (SLG) üzerine büyütülmüş ve uygun özelliklere sahip n-CdS yarıiletken ince filmin karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Ayrıca, doğada oldukça fazla bulunan ve aynı zamanda katı yüzeyler üzerine biyofilm oluşturma özelliklerine sahip bakterilerin elde edilen CdS ince filmleri üzerine etkileri incelenmiştir. p-SnS yarıiletken ince film içinse öncelikle cam alttaban (SLG) ve Molibden kaplı SLG üzerine (SLG/Mo), RF magnetron kopartma tekniği kullanılarak Sn metalik ince film üretilmiştir. Daha sonra sülfürleme vakum sistemi kullanılarak SnS yarıiletken ince film elde edilmiş ve karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Son aşamada ise, kimyasal banyo yöntemi ile n-CdS yarıiletken ince film, SLG/Mo/p-SnS tabanlı alttaban üzerine büyütülmüştür. Elde edilen SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklemin yapısal özellikleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** n-CdS Yarıiletken İnce Film, p-SnS Yarıiletken İnce Film, p-SnS/n-CdS Yarıiletken Heteroeklem, Kimyasal Banyo Yöntemi, RF Magnetron Kopartma Tekniği, Sülfürleme Tekniği

**Danışman:** Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR, Mersin Üniversitesi, Fizik Ana Bilim Dalı, Mersin.

**İkinci Danışman:** Prof. Dr. Abdullah CEYLAN, Hacettepe Üniversitesi, Fizik Mühendisliği, Katıhal Fiziği Ana Bilim Dalı, Ankara.

## ABSTRACT

In this thesis, for p-SnS/n-CdS semiconductor heterojunction using by solar cells, n-CdS semiconductor thin film was grown onto glass substrate (SLG) by used chemical bath deposition method and it was performed the characterization processes of n-CdS semiconductor thin film with appropriate properties. In addition, effects of bacteria on CdS thin films, which are found in nature and have biofilm formation properties on solid surfaces at the same time, have been investigated. For p-SnS semiconductor thin film, Sn metallic thin film first was deposited on glass substrate and Molybdenum coated SLG by using RF magnetron sputter method. Then, p-SnS semiconductor thin film was obtained by using sulphurization vacuum system and it was performed the characterization processes. Finally, n-CdS semiconductor thin film was grown on based SLG/Mo/p-SnS thin film by chemical bath deposition method. The structural properties of the obtained SLG/Mo/p-SnS/n-CdS semiconductor heterojunction have been investigated.

**Keywords:** n-CdS Semiconductor Thin Film, p-SnS Semiconductor Thin Film, p-SnS/n-CdS Semiconductor Heterojunction, Chemical Bath Deposition, RF Magnetron Sputter Method, Sulphitation Method

**Advisor:** Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR, Department of Physics, University of Mersin, Mersin.

**Co-Advisor:** Prof. Dr. Abdullah Ceylan, Physics Engineering Department, Division of Solid-State Physics, University of Hacettepe, Ankara.

## TEŞEKKÜR

İyi günümde kötü günümde bana sabır gösteren, her türlü yardımını esirgemeyen, Doktora tezim kapsamında yaptığım çalışmalarda bilgisiyle beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR'e,

Doktora tezime yaptığı katkılarından dolayı ikinci danışmanın Prof. Dr. Abdullah CEYLAN'a,

Pozitif katkılarından ve anlayışlarından dolayı tez izleme kurulu üyeleri Doç. Dr. Selma ERAT ve Dr. Öğr. Üyesi Serdar YILMAZ'a,

SNTG Laboratuvarını, çalışmam için bana açan ve yardımlarını esirgemeyen SNTG Laboratuvarı üyelerine,

2010-2018 yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak çalıştığım ve lisansüstü eğitimimi yaptığım Mersin Üniversitesi Fizik Bölümü hocalarına,

Sunduğu imkân ve desteklerinden ötürü Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Tüm Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Aileme,

Akademik çalışmalarım sırasında her zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, gösterdiği yüksek sabrından dolayı eşim Ayşe ALPDOĞAN'a,

Huzur ve neşe kaynağım kızım Nazlı ALPDOĞAN'a

teşekkürlerimi sunarım.

Babamın Anısına...

## 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	xiv
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>7</b>
3.1. Kimyasal Banyo Yöntemi	7
3.1.1. İyon-iyon Büyümesi	8
3.1.2. Hidroksit Mekanizması	9
3.1.3. CdS İnce Film Üretimi	10
3.1.4. CdS İnce Filmleri ile Etkileşime Girecek Bakterilerin Hazırlanması	11
3.1.4.1. Bakteri Besiyerleri ve Hazırlanışı	11
3.1.4.2. Bakteriyel Türlerin Saklanması	11
3.1.4.3. Biyofilm Oluşturma Potansiyeline Sahip Bakteriyel Kültürlerin Tespiti	12
3.1.4.4. Adezyon Testi	12
3.1.4.5. Mafarland Standardının Hazırlanışı	12
3.1.4.6. Disk Difüzyon Testi	12
3.2. Düzlemsel Magnetron Kopartma (Akkor Yük Boşalımı) Tekniği	13
3.2.1. Yüzeyler Üzerindeki İyon Bombardımanının Fiziksel ve Kimyasal Etkileri	14
3.2.1.1. Nötr Parçacıkların Salımı-Kopartma Ürünü	14
3.2.1.2. Diğer Parçacıkların Salımı	15
3.2.1.2.1. İkincil Elektronlar	15
3.2.1.2.2. İkincil İyonlar	15
3.2.1.2.3. Yansıyan Parçacıklar	15
3.2.1.2.4. Gazların Gerisalıması	15
3.2.1.3. Işınım Yayılımı	16
3.2.1.3.1. Fotonlar	16
3.2.1.3.2. X-ışınları	16
3.2.1.4. Değişmiş Yüzey Katmanları ve Difüzyon	16
3.2.1.4.1. Çok Bileşenli Hedefler	16
3.2.1.4.2. Ürün Oluşumu	17
3.2.1.4.3. Kararlı Koşullar	17
3.2.1.4.4. Difüzyon	17
3.2.1.5. Ayrışma Süreçleri	17
3.2.1.5.1. Süblimleşme	17
3.2.1.5.2. Kimyasal Ayrışma	18



3.2.1.6. Kimyasal Kopartma	18
3.2.2. Akkor Yük Boşalımı	18
3.2.2.1. DC Akkor Yük Boşalımı	18
3.2.2.2. Düşük Frekanslı AC Akkor Yük Boşalımı	21
3.2.2.3. RF Akkor Yük Boşalımı	21
3.2.3. Eş zamanlı iyon bombardımanına maruz kalan alttaban ve büyüyen filmin depolanması	23
3.2.3.1. Plazma, Değişken ve Öngerilimli Potansiyeller	23
3.2.3.2. Gaz Katılımı ve Salımı	25
3.2.3.2.1. Alttaban Öngerilimi	25
3.2.3.2.2. Hedef Voltajı	25
3.2.3.2.3. Alttaban Sıcaklığı	26
3.2.3.2.4. Basınç	26
3.2.3.2.5. Sistem Geometrisi	26
3.3.5. Düzlemsel RF Magnetron Kopartma Yöntemi ile Sn İnce film Üretimi	26
3.4. Sülfürleme Tekniği	27
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA</b>	<b>30</b>
4.1. SLG alttaban üzerine büyütülmüş CdS Yarıiletken İnce Film Karakterizasyonu	30
4.1.1. Bakterilerin CdS İnce Filmleri Üzerine Etkisi	47
4.2. SLG Alttaban üzerine büyütülmüş SnS Yarıiletken İnce Film Karakterizasyonu	51
4.3. SLG/Mo Alttaban Üzerine Büyütülmüş SnS Yarıiletken İnce Film Karakterizasyonu	66
4.4. SLG/Mo/p-SnS/n-CdS Yarıiletken Heteroeklemin Karakterizasyonu	77
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>	<b>84</b>
<hr/>	
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	94
<hr/>	

## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. SnS tabanlı güneş pili hücrelerinde elde edilen fotovoltatik özellikler	6
Tablo 3.1.4.5.1. Mafarland Standardının Hazırlanışı	13
Tablo 4.1.1. Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	38
Tablo 4.1.2. Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları	46
Tablo 4.1.3. Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerin Hall etkisi sonuçları	47
Tablo 4.2.1. SnS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	58
Tablo 4.2.2. SLG/SnS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları	62
Tablo 4.2.3. SLG/SnS yarıiletken ince filmlerin kalınlıkları	62
Tablo 4.2.4. SLG-SnS yarıiletken ince filmlerin Hall etkisi sonuçları	65
Tablo 4.3.1. SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri	70
Tablo 4.3.2. SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları	74
Tablo 4.3.3. SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerin kalınlıkları	77
Tablo 4.4.1. SLG/Mo/SnS/CdS yarıiletken heteroeklem ince filmin EDX sonuçları	83

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. CdS/CdTe tabanlı güneş pili hücresi biçimi	4
Şekil 2.2. SnS tabanlı güneş pili hücresi biçimleri (a) SnS-alttaban (b) SnS-üsttaban	5
Şekil 3.1.1. Kimyasal banyo yöntemi	8
Şekil 3.1.1.1. İyon-iyon mekanizmasını içeren olası adımların şematik diyagramı	9
Şekil 3.1.2.1. Hidroksit mekanizmasındaki muhtemel adımları gösteren şematik diyagram	10
Şekil 3.2.1. Düzlemsel kopartma sisteminin basitleştirilmiş kesit görüntüsünü	14
Şekil 3.2.2.1.1. DC bir akkor yük boşalımı biçimi	19
Şekil 3.2.2.1.2. Paschen Kanunu	20
Şekil 3.2.2.1.3. DC bir akkor yük boşalımındaki duruma karşı, ışınım bölgeleri, voltaj ve net yük alanı	21
Şekil 3.2.2.3.1. RF akkor yük boşalımında sığa olarak birleşmiş bir yüzey üzerinde titreşen negatif bir kılıf oluşumu	22
Şekil 3.2.2.3.2. Bir RF akkor yük boşalımındaki voltaj dağılımı	23
Şekil 3.2.3.1.1. Bir akkor yük boşalımındaki Langmuir ucunun idealleştirilmiş I-V karakteristiği	24
Şekil 3.3.5.1. Düzlemsel RF magnetron kopartma sistemi	27
Şekil 3.4.1. Sülfürleme sistemi	28
Şekil 3.4.2. Sülfürleme işlemi sırasında seramik ve kelepçe ısıtıcıların sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği	29
Şekil 4.1.1. SLG alttaban üzerine bir saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	31
Şekil 4.1.2. SLG alttaban üzerine iki saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	31
Şekil 4.1.3. SLG alttaban üzerine üç saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	31
Şekil 4.1.4. SLG alttaban üzerine dört saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	32
Şekil 4.1.5. SLG alttaban üzerine beş saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	32
Şekil 4.1.6. 100 °C'de tavllanmış CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	33
Şekil 4.1.7. 200 °C'de tavllanmış CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	33
Şekil 4.1.8. 300 °C'de tavllanmış CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b) $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	33
Şekil 4.1.9. CdS ince filmin büyütme süresine karşı kalınlık grafiği	34
Şekil 4.1.10. 2 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	35
Şekil 4.1.11. 3 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	36
Şekil 4.1.12. 4 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	36
Şekil 4.1.13. 5 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	37
Şekil 4.1.14. 100 °C'de tavllanmış 4 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	39
Şekil 4.1.15. 200 °C'de tavllanmış 4 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	39
Şekil 4.1.16. 300 °C'de tavllanmış 4 saatlik CdS ince filmin XRD deseni	40
Şekil 4.1.17. SLG alttaban üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	41

Şekil 4.1.18. SLG alttaban üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	41
Şekil 4.1.19. SLG alttaban üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	42
Şekil 4.1.20. SLG alttaban üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	42
Şekil 4.1.21. SLG alttaban üzerine 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	43
Şekil 4.1.22. 100 °C'de tavlanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	43
Şekil 4.1.23. 200 °C'de tavlanmış 4 saatlik CdS ince filmin SEM görüntüsü	44
Şekil 4.1.24. 300 °C'de tavlanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	44
Şekil 4.1.25. SLG alttaban üzerine 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin kesit SEM görüntüsü	45
Şekil 4.1.1.1. <i>Bacillus subtilis</i> bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü	48
Şekil 4.1.1.2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü	49
Şekil 4.1.1.3. <i>Klebsiella pneumonia</i> bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü	49
Şekil 4.1.1.4. <i>Staphylococcus aureus</i> bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü	50
Şekil 4.1.1.5. <i>B. subtilis</i> , <i>K. pneumonia</i> , <i>P. aeruginosa</i> ve <i>S. aureus</i> bakterilerine karşı CdS nano-parçacıklarının antimikrobakteriyel etkisi	50
Şekil 4.2.1. Sn metalik ince filmin XRD deseni	51
Şekil 4.2.2. 230 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	52
Şekil 4.2.3. 240 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	53
Şekil 4.2.4. 240 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	54
Şekil 4.2.5. 250 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	54
Şekil 4.2.6. 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	55
Şekil 4.2.7. 250 °C'de 180 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	55
Şekil 4.2.8. 250 °C'de 210 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni	56
Şekil 4.2.9. Farklı sürelerde 250 °C sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin Raman spektrumu	57
Şekil 4.2.10. 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin X-ışını kırınımının elemental analiz grafiği	57
Şekil 4.2.11. SLG alttaban üzerine 40W-20mTorr-60dk şartlarında büyütülmüş metalik Sn ince filmin SEM görüntüsü	59
Şekil 4.2.12. SLG alttaban üzerine 250 °C, 120 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü	59
Şekil 4.2.13. SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü	60
Şekil 4.2.14. SLG alttaban üzerine 250 °C, 180 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü	60
Şekil 4.2.15. SLG alttaban üzerine 250 °C, 210 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü	61
Şekil 4.2.16. SLG alttaban üzerine 250 °C, 120 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları	63
Şekil 4.2.17. SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları	63
Şekil 4.2.18. SLG alttaban üzerine 250 °C, 180 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları	64
Şekil 4.2.19. SLG alttaban üzerine 250 °C, 210 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları	64
Şekil 4.2.20. SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	65
Şekil 4.3.1. 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni	67

Şekil 4.3.2. 220 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni	67
Şekil 4.3.3. 230 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni	68
Şekil 4.3.4. 240 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni	68
Şekil 4.3.5. Farklı sıcaklıklarda 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin Raman spektrumu	69
Şekil 4.3.6. Farklı sıcaklıklarda 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin X-ışını kırınımının elemental analiz grafiği	70
Şekil 4.3.7. SLG/Mo alttaban üzerine 40W-20mTorr-60dk şartlarında büyütülmüş metalik Sn ince filmin SEM görüntüsü	71
Şekil 4.3.8. 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü	72
Şekil 4.3.9. 220 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü	72
Şekil 4.3.10. 230 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü	73
Şekil 4.3.11. 240 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü	73
Şekil 4.3.12. 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları	75
Şekil 4.3.13. 220 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları	75
Şekil 4.3.14. 230 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları	76
Şekil 4.3.15. 240 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları	76
Şekil 4.3.16. SLG/Mo alttaban üzerine 210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$ grafiği	77
Şekil 4.4.1. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	78
Şekil 4.4.2. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	79
Şekil 4.4.3. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	79
Şekil 4.4.4. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü	80
Şekil 4.4.5. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü	81
Şekil 4.4.6. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü	81
Şekil 4.4.7. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü	82
Şekil 4.4.8. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü	82
Şekil 5.1. SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklemi	87

## KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltma / Simge	Tanım
MEİTAM	Mersin Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi
CBD	Kimyasal Depolama Yöntemi
SILAR	Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu
CdS	Kadmiyum Sülfür
SnS	Kalay Sülfür
CdTe	Kadmiyum Tellür
CdSe	Kadmiyum Selenür
ZnS	Çinko Sülfür
ZnO	Çinko Oksit
ZnTe	Çinko Tellür
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işını Kırınımı
FWHM	Yarı Maksimum Genişlik
EDX	X-Işını Enerji Dağınımı
k	Boltzmann Sabiti
$\sigma$	İletkenlik
$\lambda$	Dalga Boyu
$E_g$	Yasak Enerji Aralığı
%T	Optiksel Geçirgenlik Yüzdesi
$\alpha$	Soğurma Katsayısı
$\beta$	Maksimum Pikin Yarı Genişliği
$\rho$	Özdirenç
SLG	Cam Alttaban
ITO	İndiyum Kalay Oksit
SNTG	Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Grubu
Torr	Basınç
RF	Radyo Frekansı
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
Ar	Argon
NA	Negatif Akkor
PK	Pozitif Kolon

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, özellikle enerjiye olan ihtiyaç nedeniyle daha ucuz yenilenebilir enerji nasıl elde edilebilir çabaları diğer ülkelerde olduğu kadar ülkemiz için de önem taşımaktadır. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşten daha etkin faydalanabilmek için fotovoltaik güneş pillerinde kullanılan malzeme ve bu malzemeler üzerinde yapılan işlemlerin azaltılması, gelişen teknolojiye uygun süreçler kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi yönünde yapılan geliştirme çalışmaları, bilim ve teknoloji alanlarında önemli araştırma faaliyetleri arasındadır. Yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları fotovoltaik güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarıiletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da farklı alttabanlar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. Fotovoltaik yarıiletken ince film malzemeler, genellikle çok kristalli malzemelerdir. Optiksel özellikleri uygun seçilen bir yarıiletken malzeme, milimetrenin binde biri kadar bir kalınlık içerisinde güneş ışınlarının tümüne yakın bir kısmı soğurulabilir. Dolayısıyla, yarıiletken bir ince film malzeme kalınlık, doğal yarıiletken (silisyum, germanyum) üzerinde yapılan hücrelere göre çok daha düşüktür, çünkü doğal yarıiletken hücreler büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Ayrıca, yarıiletken ince film istenen biçimde birçok farklı malzeme üzerinde ve geniş yüzeylere kaplanabilir. Fotovoltaik güneş pili yapımında, yarıiletken ince filmlerin kullanımı daha kolay ve uygundur.

Birçok araştırmacı, değişik grup elementlerden meydana getirilen CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, ZnO ve SnS gibi yarıiletken ince film yapılarını kullanarak fotovoltaik güneş pili hücresi üretmiş olup, bu fotovoltaik güneş pili hücrelerinin verimini arttırmak ve üretim maliyetlerini düşürmek için çalışmalarını devam ettirmektedir. Günümüzde, yarıiletken özelliğe sahip birçok malzeme arasında silisyum, galyum arsenik ve CdTe, güneş pili hücresi için en fazla kullanılan malzemelerdir. Son yıllarda, bazı araştırmacılar, Cd maddesinin kanserojen toksik bir ağır metal olmasından dolayı, bu elementin kullanma oranını düşürmek için çalışmakta ve CdTe yarıiletken malzeme kullanmak yerine, üretilmesi ucuz, doğada bol miktarda bulunan elementlerden elde edilen ve toksik özelliği olmayan SnS yarıiletken malzemesi üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. SnS yarıiletken malzemesi, yüksek optiksel soğurma katsayısına, soğurma yüzeyi için gerekli p-tipi iletkenlik özelliğine ve 1.30-1.50 eV direk bant enerji aralığına sahiptir. Ayrıca, enerji verimliliği açısından kristal silikon tabanlı malzemelerle benzer değerlere sahip olduğu öngörülmektedir (%32) [1].

Bu çalışmada güneş pili hücresi olarak kullanılan p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklemi elde etmek ve karakterizasyon işlemlerini yapmak için aşağıdaki deneysel aşamalar sırasıyla yapılmıştır: Ticari cam alttaban (SLG) üzerine kimyasal banyo yöntemi kullanılarak CdS yarıiletken ince filmler elde edilmiş ve bu yarıiletken ince filmlerin optiksel, yapısal ve elektriksel

özellikleri incelenmiştir. Güneş pili hücrelerinde en üst katman olarak kullanılacak CdS yarıiletken ince filmlerin doğa ortamında bulunan bakterilere karşı direnci ve antibakteriyel etkisi üzerindeki özellikleri incelenmiştir. Ticari cam alttaban (soda kireç camı: soda lime glass (SLG)) üzerine Radyo Frekansı (RF) magnetron kopartma tekniği ve sülfürleme vakum tekniği kullanılarak SnS yarıiletken ince filmler elde edilmiş ve bu yarıiletken ince filmlerin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Güneş pili hücrelerinin en alt katmanı için gerekli iletken yüzey malzemesi Molibden tabanlı cam alttaban (SLG/Mo) kullanılarak SLG/Mo/SnS yarıiletken ince film elde edilmiş ve bu yarıiletken ince filmlerin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen SLG/Mo/p-SnS yarıiletken ince film üzerine farklı sürelerde CdS yarıiletken ince filmi büyütülerek SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklemi elde edilmiş ve bu yarıiletken heteroeklemin yapısal özellikleri incelenmiştir.



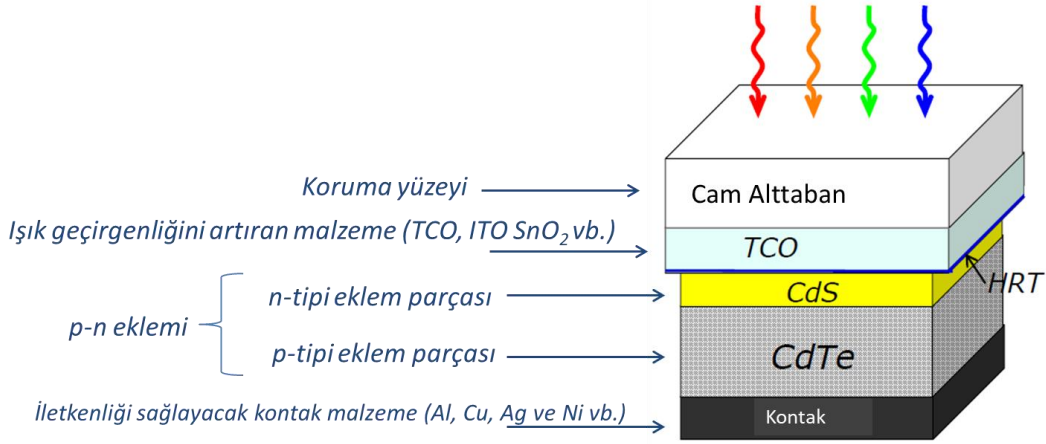


## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Günümüzde, gelişen teknolojiyle birlikte, birçok elektronik aygıt içerisinde kullanılan yarıiletkenler üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmış ve hala bu çalışmalar sürdürülmektedir. Elektronik devreler içerisinde milyonlarca transistör, diyot vb. birçok aygıt bulunmaktadır. Bu aygıtların verimlerinin artırılması ve maliyetlerinin düşürülmesi birçok araştırmacının temel hedefi halinde gelmiştir. Doğal yarıiletkenlerin yanı sıra değişik grup elementler ile yapay yarıiletkenlerde elde edilerek çok farklı amaçlar için kullanılmaya başlanılmıştır. Örneğin, ışık yayan diyotlarda (LED), fotodetektörlerde, elektrofotografide, mavi ve mor renkli lazerlerde, gaz sensörlerinde, gama ışın detektörlerinde ve özellikle fotovoltaik hücre olarak güneş pili hücrelerinde kullanılmaya başlanmıştır [2-12]. Yarıiletken İnce Filmlerin elde edilmesi için birçok yöntem kullanılmıştır; kimyasal büyütme yöntemi [13-18], elektrokimyasal büyütme yöntemi [19-22], ısısal buharlaştırma yöntemi [23, 24], ultrasonik kimyasal püskürtme yöntemi [25, 26], sıralı iyonik tabaka adsorpsiyonu (katı yüzeye tutunma) ve reaksiyonu (SILAR) yöntemi [27-29], RF magnetron kopartma tekniği [30-32].

CdS yarıiletken ince filmi oda sıcaklığında geniş yasak enerji aralığına ve direkt bant geçişine sahip n tipi bir fotoiletken malzemedir [13-15, 19, 23, 26, 27]. Bu özelliklerinin yanı sıra, güneşi soğurma miktarı fazla olduğundan pencere materyali olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılacak malzemenin düşük özdirence sahip olması istenir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar, CdS yarıiletken malzemenin birçok farklı yöntem ile üretilmesine rağmen, bu malzeme için en iyi yöntemin kimyasal banyo yöntemi olduğunu göstermiştir. Kimyasal banyo yöntemi ile üretilen ince filmlerin, iyi derecede soğurma miktarı ve düşük özdirence sahip olmasının yanında, genelde sadece kübik ya da sadece hegzagonal kristal yapısına sahip olabilirken aynı anda, bu iki kristal yapıya sahip olabileceği gösterilmiştir.

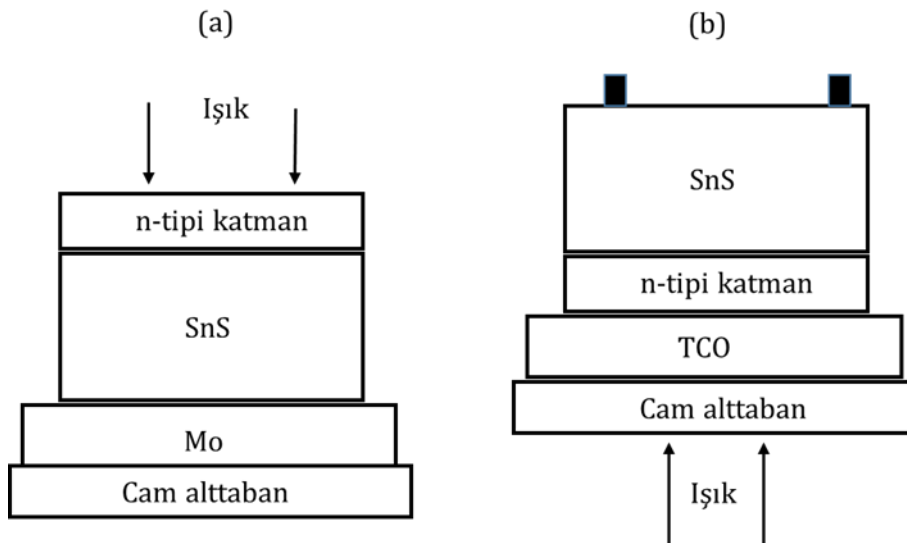
CdS tabanlı güneş pilleri üzerinde oldukça çok çalışmalar yapılmış ve son yıllarda %24 verim ile elde edilen CdS/CdTe heteroeklemlili güneş pilleri üzerinde araştırmacıların verim artırma çabaları sürmektedir. Genelde CdS/CdTe heteroeklemlili güneş pilleri Şekil 2.1.'deki hücre biçiminde oluşturulmaktadır. CdS/CdTe tabanlı güneş pili hücresi şu biçimde oluşturulur; TCO tabanlı cam alttaban üzerine CdS yarıiletken ince filmi kimyasal banyo yöntemi ile büyütüldükten sonra birçok farklı yöntem ile elde edilen CdTe yarıiletken ince film, CdS yarıiletken ince film üzerine büyütülerek TCO/CdS/CdTe heteroeklemi oluşturulur. Son aşamada Al, Cu, Ag ve Ni gibi kontak malzemeleri yapıya entegre edilerek güneş pili hücresi oluşturulur. Buradaki HRT arayüzeyi, yüksek dirence sahip tampon bir malzemedir.



**Şekil 2.1.** CdS/CdTe tabanlı güneş pili hücresi biçimi.

İlk olarak 1932 yılında Alman mineralog Robert Herzenberg tarafından açıklanan SnS bileşiği herzenbergite minerali olarak isimlendirilmiştir [9]. Sonrasında birçok araştırmacı için sahip olduğu optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı fotovoltaik aygıtlardaki kullanılabileceği düşüncesiyle önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda, SnS yarıiletken ince film, üretilmesi ucuz, doğada bol miktarda bulunan ve toksik özelliği olmayan bir yarıiletken olması ve bu üretim avantajlarının yanı sıra yüksek optiksel soğurma katsayısına, soğurma yüzeyi için gerekli p-tipi iletkenlik özelliğine sahip olmasından dolayı birçok araştırma grubu, bu malzemenin üretimi için farklı yöntemler geliştirmeye çalışmıştır [9, 16-18, 20-22, 24, 25, 28-32]. E. Güneri ve arkadaşları [16] kimyasal banyo yöntemi ile 60 °C'de 20-22 nm kristal tanecik boyutunda 1,30-1,97 eV band aralığına sahip SnS ince film üretmiş olup, elde edilen filmlerde boşluklar olduğu görülmektedir. Elektrokimyasal büyütme yöntemi [22] kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada 1,44-1,70 eV band aralığına sahip ince filmde Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> yapıları kendini göstermiş olup, saf bir SnS ince filmi elde edilemediği görülmektedir. SILAR yöntemi kullanılarak elde edilen SnS ince filmi, 0,20 µm kalınlığa ve 1,43 eV band aralığına sahip olduğu görülmektedir, ancak SnS ince filmin elektriksel özellikleri hakkında bilgilere yer verilmemiştir [29]. K. Hartman ve arkadaşları [30] RF magnetron kopartma tekniğini kullanarak elde ettikleri SnS ince filmlerini incelemiş olup, elektriksel özelliklerin yeteri kadar iyi olmadığını ve bunun için daha fazla çalışma yapılması gerektiği vurgulamışlardır. Son yıllarda, araştırmacılar istenilen özelliklere sahip SnS yarıiletken ince film elde edebilmek için iki aşamalı farklı yöntemler kullanmaya başlamışlardır [33-36]. F. Jiang ve arkadaşları [33], magnetron kopartma tekniği ile Sn ince filmi ve daha sonra atmosfer basıncı altında sülfürleme işlemi yaparak SnS ince filmini elde etmeye çalışmışlardır. Fakat elde edilen XRD piklerinde metalik Sn piklerinin olduğu görülmüştür. N. Klochko ve arkadaşları [34] elektrokimyasal büyütme yöntemini kullanarak elde ettiği Sn ince film üzerine kuartz reaktör ile sülfürleme işlemi uygulayarak SnS ince filmini elde etmişlerdir. Diğer bir

çalışmada ise araştırmacılar [35] Sn ince filmi elde etmek için Doğru akım (DC) magnetron kopartma tekniği ve sülfürleme işlemi için vakum sistemi kullanarak SnS ince film elde etmeye çalışmışlardır, fakat yapı içerisinde  $\text{SnS}_2$  ve  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  faz yapılarının da olduğu görülmüştür. R. Caballero ve arkadaşları [36] elektron demeti buharlaştırma yöntemi ile elde ettikleri Sn ince filmi üzerine Ar gazı ortamında sülfürleme işlemi yaparak SnS ince film üretmişlerdir. Ayrıca, SnS yarıiletken ince film üzerine CdS yarıiletken ince film büyütülerek n-CdS/p-SnS fotovoltaik güneş pilleri üretimi için de ciddi çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir [2, 3, 6, 9]. M. Sugiyama ve arkadaşları, Molibden alttaban üzerine ısıl buharlaştırma yöntemi ile büyüttükleri SnS yarıiletken ince film üzerine kimyasal banyo yöntemi ile CdS yarıiletken ince filmi üreterek elde ettikleri heteroeklemi ZnO:Ga/MgZnO cam tabakayla birleştirerek yaptıkları verim hesaplarında neredeyse % 0'a yakın bir değer elde etmişlerdir. Bunun nedenini de SnS ince filmin üretim süreçlerindeki uygunsuzluklara ve elde edilen filmin iyi olmamasına bağlamışlardır [2]. Diğer bir çalışmada araştırmacılar, kimyasal banyo yöntemi kullanarak  $\text{SnO}_2:\text{F}/\text{CdS}/\text{SnS}/\text{Ag}$  güneş pili hücrelerini oluşturarak ölçtükleri verim hesabını yaklaşık olarak % 1,7 değerinde bulmuşlardır[6]. D. Avellaneda ve arkadaşları, kimyasal banyo yöntemi kullanarak elde ettikleri SnS yarıiletken ince film ve CdS yarıiletken ince film birleştirerek TCO/CdS/SnS/C/Ag güneş hücrelerini oluşturmuşlardır ve yaptıkları verim hesabında % 0,7 değerinde bir verim elde etmişlerdir [3]. A. Schneikart ve arkadaşları ısıl buharlaştırma ve RF magnetron kopartma yöntemlerini kullanarak elde ettikleri SnS/CdS tabanlı güneş pili hücresi için yaptıkları verim hesabını % 1,6 değerinde bulmuşlardır [9]. Yapılan çok az sayıdaki n-CdS/p-SnS fotovoltaik güneş hücrelerinde verim oldukça küçük değerlerde kalmıştır ve bu değerleri geliştirmek için araştırmacıların çabaları hala sürmektedir. Genel olarak SnS tabanlı güneş pili hücreleri Şekil 2.2.'de gösterilen biçimlerde üretilmiştir.



**Şekil 2.2.** SnS tabanlı güneş pili hücresi biçimleri (a) SnS-alttaban (b) SnS-üsttaban.

Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi SnS tabanlı güneş pili hücreleri iki biçimde tasarlanabilmektedir. SnS-üstabanlı biçimde ışık klasik bilenen hücre biçiminde olduğu gibi hücreye gelirken SnS-alttabanlı biçimde ise ışık ters taraftan gelmektedir. Tablo 2.1.'de SnS tabanlı güneş pili hücreleri için yapılmış çalışmalarda elde edilen fotovoltaj özellikleri vermektedir. Bugüne kadar yapılan birçok çalışmada en fazla elde edilen verim değeri % 4,36 olarak ölçülmüştür.

**Tablo 2.1.** SnS tabanlı güneş pili hücrelerinde elde edilen fotovoltaj özellikler [9].

Hücre tipi	V <sub>oc</sub> (mV)	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	FF (%)	η (%)	R <sub>s</sub> (kΩ cm <sup>2</sup> )	R <sub>sh</sub> (kΩ cm <sup>2</sup> )	n	J <sub>0</sub> × 10 <sup>-7</sup> (mA/cm <sup>2</sup> )	Yıl
p-SnS/Fe <sup>3+</sup>	320	0.65	65	0.54	–	2.5	–	–	2001
SnS/CdS	260	9.6	53	1.3	0.023	–	–	–	2006
SnS/CdS	274	0.31	40	0.08	0.505	2.14	1.83	–	2008
ZnO/SnS	120	0.04	33	0.003	5.57	1.64	1.28	1.0	2009
SnS(OR)/SnS(ZB)/CdS	370	1.23	44	0.2	0.5	18	–	5	2009
SnS/TiO <sub>2</sub>	471	0.3	71	0.1	0.27	0.0349	–	–	2010
SnS/CdS	183	2.7	34	0.17	–	–	–	–	2011
p-SnS/n-SnS	280	9.1	29.9	0.74	–	–	–	–	2012
Mo/SnS(CVD)/CdS/ZnO	132	3.63	29	0.5	0.04	0.35	4	0.2	2012
Zn <sub>0.83</sub> Mg <sub>0.17</sub> O/SnS	270	12.1	64	2.1	–	–	–	–	2013
CdS/SnS	208	17.9	38	1.6	0.005	0.0312	–	–	2013
SnS/CdS:In	302	3.98	33.5	0.4	0.169	0.503	–	–	2013
SnS/Zn(O,S)	220	16.8	47.7	1.8	–	–	–	–	2013
	244	19.42	42.97	2.04	–	–	–	–	
TCO/CdS(0.3 Iµm)/ SnS(1.8 Iµm)/C/Ag	270	6	44	0.7	–	–	–	–	2014
Mo/SnS/Zn(O,S)/ZnO/ITO	261	24.9	44.4	2.9	–	–	–	–	2014
Glass/FTO/SnS/CdS/ZnO/ITO									
Front side	200	15	40	1.2	–	–	–	–	2014
Back side	140	1.3	34	0.2	–	–	–	–	
Mo/SnS/SnO <sub>2</sub> /Zn(O,S)/ZnO/ITO	372	20	58	4.36	–	–	–	–	2014

SnS yarıiletken ince filmi, fotovoltaj uygulamalar için uygun bir soğurucu bir materyal olmasına rağmen CIGS, CdTe tabanlı güneş pillerindeki verimliliği bakımından yetersiz kalmıştır. Genel olarak güneş pili performansını düşüren etmenler şunlardır;

1. SnS/tampon ara yüzeyde oluşan kusurların yoğunluğu ve band uyumsuzluğu,
2. SnS materyali içindeki kusurlar ve oluşan ikincil fazlar,
3. SnS üzerindeki kontak ve güneş hücresindeki düzenleme biçimi.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tezde, güneş pili hücreleri olarak kullanılabilen p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklem için ilk olarak n-CdS yarıiletken ince film, kimyasal banyo yöntemi (CBD) cam alttaban (SLG) üzerine büyütülerek filmlerin yapısal, optiksel, elektriksel özellikleri incelenmiştir. CdS yarıiletken ince filmlerin yapısal özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınım (XRD) ve X-ışını enerji dağılımı (EDX) karakterizasyon cihazları ile Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezinde (MEİTAM) belirlenmiştir. Ayrıca, üretilen CdS yarıiletken ince filmlerin elektriksel özellikleri Hall yöntemi kullanılarak Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Plazma Destekli Üretim Laboratuvarında, optik özellikleri ise UV spektrometre kullanılarak Mersin Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yarıiletken İnce Film Laboratuvarında belirlenmiştir. Bu çalışmanın ikinci aşaması olan SnS yarıiletken ince filmlerin üretimi Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Grubu (SNTG) Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen örneklerin XRD desenleri yine SNTG laboratuvarında alınmıştır. Raman spektrumu ölçümü, Bilkent Üniversitesi Fizik Bölümünde, ikincil iyon kütle spektrometresi (SIMS) ölçümü ise, Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Ayrıca üretilen SnS yarıiletken ince filmlerin SEM ve EDX ölçümleri MEİTAM'da, elektriksel özellikleri ise Hall yöntemi kullanılarak Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Plazma Destekli Üretim Laboratuvarında alınmıştır.

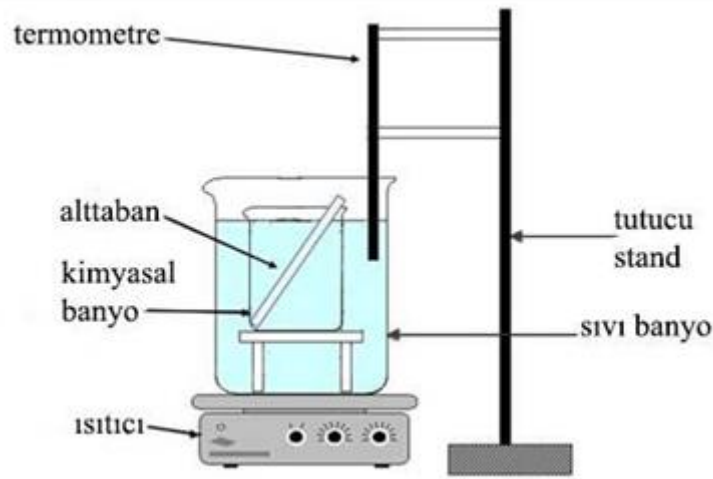
#### 3.1. Kimyasal Banyo Yöntemi

Şekil 3.1.1. kimyasal banyo yöntemi için kullanılan gereçleri ve bu yöntemin uygulanış biçimini göstermektedir. İlk olarak 1869 yılında tanımlanan, uygulaması oldukça basit, ucuz ve ihtiyaç duyulan malzemelerin her laboratuvarında bulunabilmesinden dolayı, kimyasal banyo yöntemi ile birçok yarıiletken malzeme üretilmiştir [37].

Genel olarak, herhangi bir bileşiği ince film olarak büyütme için kullanılan Kimyasal büyütme yönteminde dört temel koşul olmalıdır:

1. Bileşik basit bir çökeltme reaksiyonu olarak hazırlanabilir. Bu genellikle, iyonik reaksiyon ile oluşan belirli bir kimyasal orana sahip olan bileşiklerin oluşumunu ifade eder.
2. Bileşik kullanılan çözeltide (tercihen yüksek oranda) çözünmez olmalıdır (genellikle saf su tercih edilir).
3. Bileşik çözeltide kimyasal olarak kararlı olmalıdır.

4. Reaksiyon serbest negatif iyonlar yoluyla ilerliyorsa, bu negatif iyonlar yavaşça üretilmelidir (ani çökmeyi önlemek için). Eğer reaksiyon bileşik-ayırışma biçiminde ise, metal bileşiğinin ayrışması benzer şekilde yavaş gerçekleştirilmelidir.



Şekil 3.1.1. Kimyasal banyo yöntemi.

Elbette, herhangi bir bileşimin alttaban üzerine bir film oluşturup oluşturmayacağı başka birçok koşula bağlıdır, ama bu dört temel koşul genel gerekliliklerdir.

Genelde kimyasal banyo yöntemi sürecinin en az bilinen yönü, alttaban üzerindeki çekirdeklenme ve devamında film büyümesini belirleyen durumdur. Bu mekanizmayı belirleyen birçok özellik olsa da, iyon-iyon ve hidroksit kümelenme mekanizmaları temel iki faktördür.

### 3.1.1. İyon-iyon Büyümesi

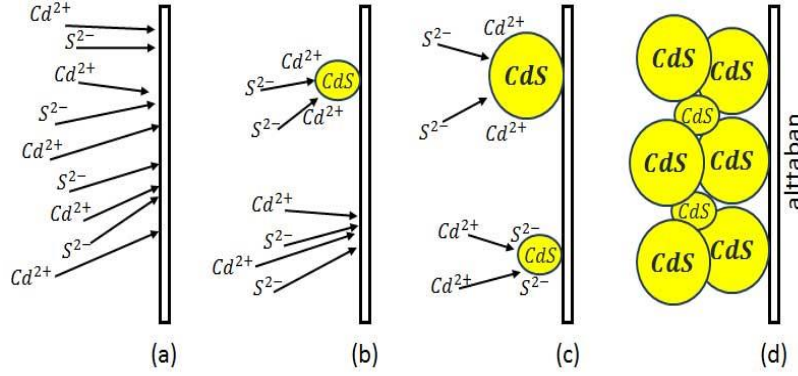
İyon-iyon mekanizması, ardışık iyonik reaksiyonlarla oluştuğu için en basit mekanizma olarak varsayılır:



Şekil 3.1.1.1., bu mekanizmanın muhtemel adımları gösterilmiştir;

- Cd ve S iyonlarının alttabana yayılması.
- CdS çekirdeğini oluşturmak için Cd ve S iyonlarının alttaban üzerinde çekirdeklenmesi.
- Çözeltideki Cd ve S iyonlarının yüzey tutunmasıyla CdS çekirdeğinin büyümesi ve yeni CdS kristallerinin çekirdeklenmesi.
- Van der Waals kuvvetleri vasıtasıyla birbirine yapışan CdS kristallerinin (olası diğer kimyasal etkileşimler ile) devam eden büyümesi.

Reaksiyon alkali çözeltide (çok yaygın olan durum) gerçekleştirilirse, metal iyonunu çözeltide tutmak için ve hidroksitin çökmesini önlemek için bir bileşiğe ihtiyaç duyulur. Çözelti içindeki kimyasal malzemenin çökme reaksiyonu geniş bir aralıkta (sıcaklık, pH, konsantrasyon, vb.) kontrol edilebildiğinden CdS oluşum oranı da çok iyi kontrol edilebilir.



**Şekil 3.1.1.1.** İyon-iyon mekanizmasını içeren olası adımların şematik diyagramı [37].

Çekirdeklenmenin, parçacıkların serbest olduğu bir çözeltide iyon-iyon işlemi ile homojen bir şekilde oluşması için genellikle aşırı derecede doymamışlık gereklidir. Yüzeylerin (alttaban veya reaksiyon kabının çeperleri) varlığı çekirdeklenmeyi kolaylaştıracak biçimde olmalıdır. Bu nedenle, iyon-iyon yöntemi ile ilerleyen çöktürmeler, hidroksit mekanizmasına genel olarak çok miktarda çökelti dahil etmek yerine esas olarak alttaban veya diğer yüzeylerde ortaya çıkma eğilimi gösterirler, bu yüzeyler, çekirdeklenme için bir katalizör (hızlandırıcı) olarak düşünülebilir. Bir alttaban üzerinde çekirdeklenme başladığında, çökeltme genellikle çekirdekli yüzey üzerinde temiz yüzeyden daha kolay gerçekleştiği için filmin büyümesi daha da kolaylaşır. Kristaller, yüzeydeki aktif maddelerin tutunması ya da birbirine yakın kristaller tarafından oluşan yapısal engellemeler gibi durumlar ortaya çıkıncaya kadar büyümeye devam ederek filmi oluşturur.

### 3.1.2. Hidroksit Mekanizması

Kadmiyum Hidroksit (Cd(OH)<sub>2</sub>) bileşiğinin çökmesini önlemek için Kadmiyum (Cd) elementinin bileşik oluşturması gerekir, çoğu zaman kimyasal banyo süreçlerinde Cd(OH)<sub>2</sub> ara ürün olarak ortaya çıkan önemli bir reaksiyondur:



İyon halindeki elementlerin çekirdeklenmesi, bu süreçlerde çok daha kolaydır, çünkü bir katı faz-metal hidroksit (ya da diğer katı fazlar) ortamda zaten mevcuttur ve işlem, bu katı fazda bir yer değiştirme reaksiyonuyla ilerlemektedir. Bu durumda, depolanmada ilk adım, hidroksitin

alttabana yapışmasıdır. Bu hidroksit daha sonra CdS'ye dönüşür ve CdS kümeleri birincil birikimi oluşturur. Hidroksitin başlangıç çekirdeği, çözeltide homojen olarak oluştuğundan, CdS'de homojen olarak oluşur. Film oluşumu, yüksek yüzey enerjili parçacıkların, büyük formunda çökmeden önce alttabana ulaşmasıyla meydana gelir (Şekil 3.1.2.1.);

(a) Hidroksit koloidal parçacıklarının alttabana yayılımı.

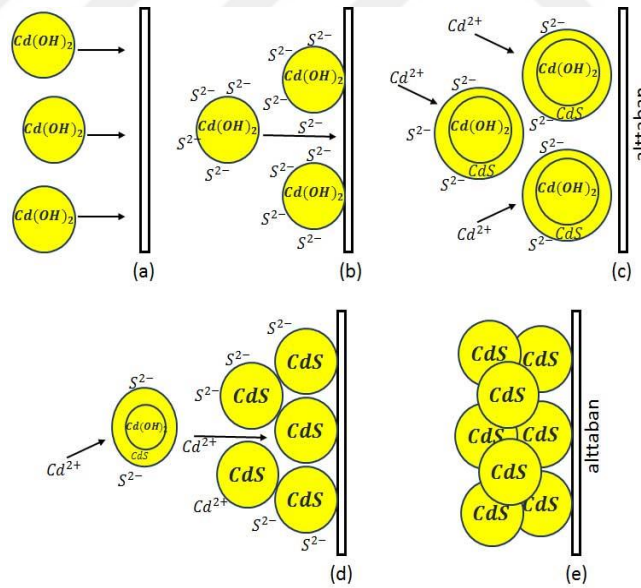
(b) Sülfür iyonlarının alttaban üzerine yapışmış hidroksit koloidal parçacıkları ile etkileşmesi (S iyonları, ya çözeltide homojen olarak üretilir ya da hidroksit yüzey sayesinde çözünürler).

(c) Hidroksitin sülfür ile değişmesi sonucu, muhtemelen, koloidin yüzeyinden başlayarak içe doğru CdS parçacıkları oluşmaktadır.

(d) Yüzeylerde başlayan değişim içe doğru devam ederek, tepkime (sülfür açığa çıktığı sürece) çoğu hidroksit, sülfüre dönüşür.

(e) CdS'nin birincil parçacıkları birbirlerine yapışır ve birleşmiş bir film oluşur.

Yüzeylere yapışmamış parçacıklar ise toplanır ve çözeltiden çöker. Bu homojen çökme, bazı durumlarda çökme parametrelerinin (sıcaklık, pH gibi) dikkatlice seçilmesi ile azaltılabilir.



**Şekil 3.1.2.1.** Hidroksit mekanizmasındaki muhtemel adımları gösteren şematik diyagram [37].

### 3.1.3. CdS İnce Film Üretimi

CdS ince filmi, örnek alttaban üzerine kimyasal büyütme yöntemi ile  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  su banyosunda aşağıdaki kimyasal bileşiklerin sulu çözeltilerinin karışımından 100 mL'lik beherde bir saat büyütme süresi ile elde edilmiştir:



- 0,015M-10 mL-Kadmiyum Sülfat sulu çözelti
- 0,5M-10 mL-Hidrazin sulu çözelti
- 1M-10 mL- Tiyoüre sulu çözeltisi
- % 25'lik-5,3 mL-Amonyak
- 64,7 mL-Ultra saf su.

Örnek alttaban, yüzey temizliği yapıldıktan sonra hazırlanmış olan çözelti içerisine Şekil 3.1.1.'deki gibi daldırılmıştır. CdS filmi, her seferinde yeniden hazırlanın sulu çözelti karışımına, örnek alttaban üzerine üretilmiş bir önceki CdS ince filmin art arda birer saatlik büyütme süresi ile daldırılmasıyla farklı kalınlıklarda elde edilmiştir. 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat ve son olarak 5 saatlik büyütme süresi ile 5 farklı kalınlıkta CdS ince filmi üretilmiştir. Son olarak, 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmi, 100 °C, 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda 1 saat süreyle tavlama işlemine tutulmuştur.

### **3.1.4. CdS İnce Filmleri ile Etkileşime Girecek Bakterilerin Hazırlanması**

#### **3.1.4.1. Bakteri Besiyerleri ve Hazırlanışı**

**Nutrient Agar**, 5 gram pepton, 3 gram et özütü ve 12 gram Agar, 1 litre saf su içerisinde çözdürüldükten sonra besiyerinin pH'si 7,0 değerine ayarlanmıştır ve otoklav ile 1 atm basınç, 121 °C'de 15 dakika tutularak steril hale getirilmiştir. Hazırlanan besiyeri steril cam (170 °C'de 3 saat bekletilmiş) yada plastik petri kaplarına yaklaşık 15-20 mL olacak şekilde dökülmüş ve soğumaya bırakılmıştır.

**Nutrient Broth**, 5 gram pepton, 3 gram et özütü, 1 litre saf suda çözdürülmüş ve pH'si 7,0 değerine ayarlanmıştır. Besiyeri otoklavda steril edildikten sonra soğutularak kullanılmıştır.

**Luria Berteni Broth**, 10 gram tripton, 10 gram NaCl ve 5 gram maya özütü, 1 litre saf su içerisinde çözdürülmüş ve pH'si 7,0 değerine ayarlanmıştır. Besiyeri otoklavda steril edildikten sonra soğutularak kullanılmıştır.

**Mueller-Hinton Agar**, besiyerinin hazırlanması için 2 gram et infüzyonu, 17,5 gram kazein hidrolizot ve 1,5 gram nişasta 1 litre saf suda çözdürülmüş ve pH'si 7,0 değerine ayarlanmıştır. Besiyeri otoklavda steril edildikten sonra petri kaplarına koyulmuştur. Besiyerlerin pH'leri H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH çözeltileri kullanılarak istenilen dengeye getirilmiştir.

#### **3.1.4.2. Bakteriyel Türlerin Saklanması**

Çalışmada kullanılan bakteriyel kültürler klinik teşhis sonrası atığı olarak hastaneden tedarik edilmiş ve % 20'lik gliserol stoklarında -80 °C'de depolanmıştır. Bakterilerin kısa süreli muhafazası Nutrient Agar besiyerinde +4 °C'de gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.4.3. Biyofilm Oluşturma Potansiyeline Sahip Bakteriyel Kültürlerin Tespiti

Biyofilm oluşumu, görece-niceliksel bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. İlk olarak bakteriler, Luria Berteni Broth besiyerinde 600 nm'deki dalga boyu 0,1 olacak şekilde süspanse edilmiştir. Taze bakteriyel süspanseyondan 100 µL alınarak 96 kuyucuklu plakalara aktarılmış ve 2 gün boyunca 37 °C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında kuyucuklar 1X fosfat-tuz tamponu ile hassas bir biçimde yıkandıktan sonra kuyucuklara 100 µL % 0,1'lik kristal viyole çözeltisi eklenerek oda sıcaklığında 30 dakika bekletilmiştir. Kuyucuklardaki kristal viyole suyla temizlendikten sonra kuyucuklara % 95'lik etanol ilave edilmiştir. Etanolde çözünebilen boya düzeyi 570 nm dalga boyundaki soğurma miktarı değerinin ölçülmesiyle belirlenmiştir. En yüksek soğurma değeri elde edilenler biyofilm oluşturma kapasitesi yüksek bakteriler olarak değerlendirilmiştir.

### 3.1.4.4. Adezyon Testi

Aşı kültürlerin hazırlanması için bir öze dolusu koloni Nutrient Broth (pH=7,0) besiyerine aktarılmış ve 30 °C'de 150 rpm çalkalamalı koşullarda bir gece süresince inkübe edilmiştir. Mafarland standardı yardımıyla yaklaşık  $1 \times 10^6$  bakteriyel hücre içeren aşı kültür 50 mL Nutrient Broth besiyerine aktarılmıştır. Daha sonra aynı besiyerine % 70'lik alkol ile steril edilen CdS ince filmi aseptik koşullarda yerleştirilerek 30 °C'de 150 rpm çalkalamalı koşullarda 10 gün süresince inkübasyon gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon sonunda, CdS ince film yüzeyine tutunan bakteriyel hücreler elektron mikroskopuyla görüntülenmiştir.

### 3.1.4.5. Mafarland Standardının Hazırlanışı

Farklı Baryum Klorür ( $BaCl_2$ ) ve Sülfürik Asit ( $H_2SO_4$ ) derişimlerine sahip baryum Sülfat çözeltisinin bulanıklığa karşılık gelen bakteri sayısının yaklaşık hesaplanmasına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem sırasında hazırlanan standarda karşılık gelen bakteri sayısı her tür için farklı olsa da araştırmacıya yaklaşık değer vermesi açısından kullanışlıdır. Standardın hazırlanışı Tablo 3.1.4.5.1'de gösterilmektedir.

### 3.1.4.6. Disk Difüzyon Testi

CdS ince filmlerin kaplanması kullanılan CdS nano taneciklerin *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı antimikrobiyal aktivitesi disk difüzyon testi ile belirlenmiştir. Her bir bakteriye ait koloniler besiyerine öze ile aktarılmış ve gece boyunca 37 °C'de inkübe edilmiştir. Aralarından sadece

*Bacillus subtilis* 30 °C'de inkübe edilmiştir. Aşı kültürden  $1 \times 10^7$  hücre içeren süspansiyon hazırlandıktan sonra 100  $\mu$ L'si Mueller-Hinton Agar yüzeyine yayılmıştır. Daha sonra, yuvarlak biçimde kesilerek otoklavda steril edilmiş filtre kağıtları Agar yüzeyine yerleştirilmiş ve filtre kağıdı üzerine CdS nano parçacıkları damlatılmıştır. İki gün inkübasyon sonunda filtre kâğıtları çevresinde oluşan şeffaf bölgeler gözlemlenerek ölçülmüştür.

**Tablo 3.1.4.5.1.** Mafarland Standardının Hazırlanışı.

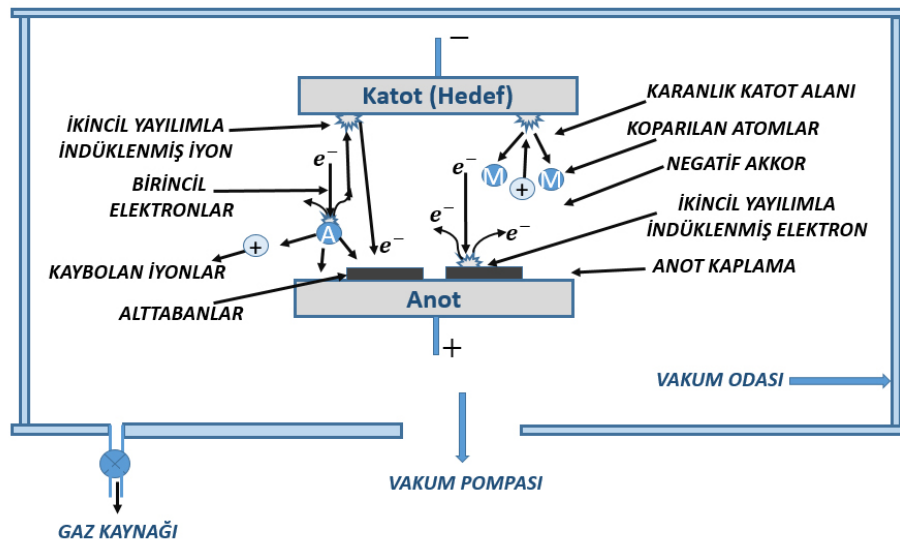
Tüp numarası	%1 BaCl <sub>2</sub> (mL)	%1 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mL)	Bulanıklığa karşılık gelen mL'deki Bakteri sayısı
1	0,10	9,90	$3,0 \times 10^8$
2	0,20	9,80	$6,0 \times 10^8$
3	0,30	9,70	$9,0 \times 10^8$
4	0,40	9,60	$1,2 \times 10^9$
5	0,50	9,50	$1,5 \times 10^9$
6	0,60	9,40	$1,8 \times 10^9$
7	0,70	9,30	$2,1 \times 10^9$
8	0,80	9,20	$2,4 \times 10^9$
9	0,9	9,10	$2,7 \times 10^9$
10	1,0	9,00	$3,0 \times 10^9$

### 3.2. Düzlemsel Magnetron Kopartma (Akkor Yük Boşalımı) Tekniği

Elektron sürüklenme akımları,  $\vec{E} \times \vec{B}$ , birbirine yakın yapılandırılmış elektron tuzakları oluşturmak için katot yüzeyi ile kullanılan manyetik alanlar, Magnetron kopartma kaynakları olarak tanımlanır. Kopartma teknolojisinde magnetronun rolü, düzlemsel diyotların sınırlamaları gözden geçirilerek en iyi anlaşılabilir [38]. Şekil 3.2.1., düzlemsel kopartma sisteminin basitleştirilmiş kesit görüntüsünü göstermektedir. Hedef (depolanacak malzemenin bir plakası veya filmin depolanacağı malzeme) negatif, depolanacak alttaban ise pozitif bir voltaj kaynağına (DC veya RF) bağlanır. Alttaban tutucusu, sabitlenebilen, dönme hareketi yapabilen ve öngerilime, ısınmaya ve soğumaya dayanıklı olmalıdır. Bir <sup>1</sup>akkor yük boşalımı ortamının oluşabilmesi ve bu durumun sürekliliğinin sağlanabilmesi için ortama gaz (genellikle Asal gaz, Argon vb.) verilir ve bu gaz basıncı birkaç mili Torr ile 100 m Torr arasında olmalıdır. Akkor yük boşalımı başladığında pozitif iyonlar hedef plakaya çarpar ve çoğu nötr hedef atomları, momentum transferiyle uzaklaştırılır ve bunlar ince bir film olarak alttabana depolanır. Ayrıca, hedefte üretilen diğer parçacıklar ve ışımaya da (ikincil elektronlar ve iyonlar, artık gazlar, X-ışınları ve fotonlar gibi) depolanan filmin özelliklerini etkileyebilir. Elektronlar ve negatif iyonlar, alttaban yüzeyine doğru ivmelenecek şekilde depolanan filmi oluşturabilir. Akkor yük boşalımı

<sup>1</sup> Akkor yük boşalımı, düşük basınçlı bir gaz içinden elektrik akımının geçmesiyle oluşan ışımadır.

kopartma tekniğini daha iyi anlayabilmek için yüzeyler üzerindeki iyon bombardımanının fiziksel ve kimyasal etkilerini incelemek gerekir.



Şekil 3.2.1. Düzlemsel kopartma sisteminin basitleştirilmiş kesit görüntüsünü.

### 3.2.1. Yüzeyler Üzerindeki İyon Bombardımanının Fiziksel ve Kimyasal Etkileri

Hedef yüzeyde oluşabilecek ve filmlerin büyümesini etkileyen birçok olay bulunmaktadır. Bunlar, ikincil elektron salımı, ikincil pozitif ya da negatif iyon salımı, ışıma salımı (foton, X-ışını) ortaya çıkan parçacıkların yansıması, ısınma, kimyasal ayrışma veya reaksiyon, katı difüzyon, kristal değişimler ve bombardıman edilen yüzeylerden salımla ortaya çıkan parçacıkların geri yansıması gibi fiziksel ve kimyasal etkilerdir [38].

#### 3.2.1.1. Nötr Parçacıkların Salımı-Kopartma Ürünü

Kopartma ürünü, oluşan iyon başına bir hedef yüzeyden koparılan atomların sayısı olarak tanımlanır, bu kopartma tekniklerinde en temel parametredir. Enerjik parçacıklardan hedef yüzey atomlarına momentum aktarımı ile ilgili oluşumu (ürün) gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Yaklaşık olarak kopartma için süblimleşme sıcaklığına eşit bir eşik değeri vardır, kopartma süreçleri için kullanılabilir bir enerji aralığında (10 – 5000 eV), ürün oluşumu, oluşan iyon enerjisi ve oluşan iyonun kütlesi ve <sup>2</sup>d-shell dolumu ile artar [39, 40]. Kopartma ürünü, koparılan hedefin aşınma oranını belirler ve bu tamamen filmlerin depolanma oranını belirlemez. Akkor yük boşalımı sistemlerinde bombardıman edilen iyonlar, tekdüze enerjiye

<sup>2</sup> d-shell dolumu, bir atom ya da iyon kendi orbitallerine elektronlar aldığı anda, orbitallerin ve kabukların belirli bir şekilde dolmasıdır.

sahip değillerdir, bileşikler ve karışımlar kopartıldığında ürün oluşma değerlerini saf bir metal için kullanmak her zaman doğru değildir.

### **3.2.1.2. Diğer Parçacıkların Salımı**

#### **3.2.1.2.1. İkincil Elektronlar**

Kopartma hedefleri yüksek negatif potansiyelde tutulduğunda ikincil elektronlar, hedef potansiyele eşit bir başlangıç enerjisi ile hedef yüzeyden uzaklaşır. Bu elektronlar, nötr kopartma gaz atomlarının iyonlaşmasıyla Akkor yük boşalımının sürdürülmesine yardımcı olur, buda hedefi bombardıman eder ve ikincil elektronların aşırı derecede salınımına neden olur. Alttaban üzerinde geldiklerinde gazdaki çarpışmalardan sonra tuttıkları enerji, ısı biçiminde serbest bırakılır[38-40]. İkincil elektronların çoğu gazdaki çarpışmalarla ısısal dengede hızlanır, ancak yüksek gaz basınçlarında bile önemli miktarda elektron, hedef potansiyelinde tutulabilir[38].

#### **3.2.1.2.2. İkincil İyonlar**

İkincil iyonlar, birincil iyon bombardımanı nedeniyle katı maddelerden iyon salımı ile oluşur, plazma kopartma işleminde hedef yüzeyde üretilen pozitif iyon, negatif hedef alanından kaçabilir. Negatif iyonlar çoğunlukla iyonik olmayan bileşiklerin ve bileşiklerin yüksek elektron eşleşme bileşenlerinin kopartılmasından kaynaklanmaktadır. Çoğunlukla ikincil negatif iyonlar saf metal yüzeylerin iyon gazı bombardımanı sırasında üretilir. Negatif iyonlar elektronlar gibi hedeften alttabana doğru hızlanır, buda alttaban bombardımanının diğer bir kaynağı olarak gösterilebilir [38].

#### **3.2.1.2.3. Yansıyan Parçacıklar**

Birincil bombardıman edilmiş parçacıkların bazıları hedef yüzeyden geri yansıyabilir. Bu yansıyan parçacıklar nötrleşebilir ve iyon olarak değil atom olarak yansır. Yansıma miktarı birincil bombardıman enerjisinin ters fonksiyonudur, çünkü bu etki iyon katılanmasından etkilenir. Düşük başlangıç enerjilerinde yansıma katsayısı 0,40 iken yüksek başlangıç enerjilerinde (>1000 eV) yansıma katsayısı 0,05 civarındadır. Bu parçacıklar film büyümesi sırasında alttaban bombardımanı kaynağı olarak gösterilir [38].

#### **3.2.1.2.4. Gazların Gerisalımları**

Gazların gerisalımları, çok yoğun malzemeler için bile gerçekleşebilir. Başlangıçta, hedef yüzeyler üzerinde soğurulan gaz katmanları kopartılarak uzaklaştırılır ve daha sonra hedef maddenin doğasına bağlı olarak kimyasal soğurulan gazlar, sıkışan gazlar ve hedef bileşiklerin parçalanmasıyla üretilen gazlar sırasıyla serbest kalır [41-43]. Soğurulan gazlar için 10 Å yarıçapı civarında bölgesel ısınmaya katkı yapan düşük enerjilerde (<200 eV) soğurma oranında belirgin

pikler vardır. Kimyasal soğurulan gazlar [43], genellikle başlangıçta negatif iyonlar olarak hedefi terk eden gazlardır. Soğurulan gazlar hem kopartılır hem de ısısız olarak ayrışır. Bu özellikle sıcak sıkıştırılmış hedefler [44] ve toz hedefler [45] için bir sorundur. Gözenekli hedeflerdeki yoğun gaz salımının etkisi, kopartma gazını kirletir, dolayısıyla depolanan filmde kirlenmiş olur. Bunun yanı sıra, gazın özelliğine de bağlı olarak film depolanma oranı etkilenir.

### 3.2.1.3. Işınım Yayılımı

Hedef yüzeydeki koparıma süreçlerinden kaynaklanan ışınım yayılımı, fotonlar ve x-ışınları şeklinde ifade edilebilir.

#### 3.2.1.3.1. Fotonlar

Hem mor ötesi (UV) hem de görünür ışınım, kopartma hedeflerinden yayımlanabilir. Hedefi uyarılmış ya da iyonlaşma durumunda bırakan koparılmış yarıiletken ve metal atomlar tınlaşım ve <sup>3</sup>Auger-tipi elektronik geçişlere (kopan metalin karakteristik foton salımı ile oluşan) girer. Elektronik geçişler bileşiklere ya da camlara uygulanmaz. Bu durumlarda ışınımsal süreçler sadece koparılmış atomların uyarılmış türlerinden kaynaklanır. Yayım süreçlerinde sıralama düşükten yükseğe doğru şu şekilde olur; elemental hedefler, ikili bileşikler, üçlü bileşikler....camlar. Kopartma büyütmesinde, bu etki enerjik UV fotonlarıyla hassas yüzeylere zarar veren ışınım ile ilgilidir. Bunun yanı sıra, kopartma büyütmesi ve aşındırma oranlarını kontrol etmek içinde kullanılabilir [38].

#### 3.2.1.3.2. X-ışınları

Hedef maddenin karakteristik x-ışınlarının özelliği, birincil bombardıman iyonlarının enerjisine kadar olan enerjilerde hedef yüzeyden yayılır. Bu ışınlar aynı zamanda hassas yüzeylere zararlar verebilir. Ayrıca başlangıçta hedefte üretilen enerjik ikincil elektronlar, alttaban yüzeyinde x-ışınları üretebilir [38].

### 3.2.1.4. Değişmiş Yüzey Katmanları ve Difüzyon

#### 3.2.1.4.1. Çok Bileşenli Hedefler

Çok bileşenli bir katı yüzeyin, iyonlar veya nötr atomlarla bombalanması bileşenlerin kopartma oluşumundaki farktan dolayı yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirir [46], bu değişim bölgesi “değişmiş katman” olarak bilinir. Yüzeyin ilk bombardımanı üzerine, yüksek kopartma ürünü olan bileşen yüzeyden uzaklaşarak, düzgün bir hale gelene kadar düşük kopartma ürün materyalindeki yüzey katmanını zenginleştirir. Kararlı durumda, koparılmış bileşim katı hedef

---

<sup>3</sup> Auger-tipi elektronik geçiş, bir atomun iç kabuk boşluğunun dolması, bir atomdan bir elektronun salınmasına eşlik eden fiziksel bir olaydır.

birleşimidir ve değişen katmanlar kararlı durum koşulları korunduğu sürece devam eden kopartma ile düzgün bir biçimde geri çekilmektedir. Kopartma büyütmesi [38, 47], yüzey analizleri ve yüzey özelliklerinin iyon demeti değişiminden kaynaklanan olaylar, değişen katman verilerini verir [46]. Deneysel veri, yüzey analizi tekniklerini belirlemeye yönelik süreçlerde ortaya çıkarılmıştır [38].

#### **3.2.1.4.2. Ürün Oluşumu**

Yüzey bileşim değişimi, bazı bileşiklerin, tek başına olanlardan daha büyük ürün oluşumuna neden olduğu görülmesine [48] rağmen genel olarak elemental biçimde [38] olduğu gibi bileşiklerin ürün oluşumlarına sahip olduğu varsayılır. Örneğin, (110) Cu<sub>3</sub>Au bileşiğinden Cu oluşumu, tek kristal (100) Cu oluşumundan daha yüksek bulunmuştur.

#### **3.2.1.4.3. Kararlı Koşullar**

Değişen katmanın kalınlığı çeşitli hedefler için ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Metal bileşikler için tahminen 10 Å, Oksitler için ~1000 Å kadar katman kalınlığı oluşur [38].

#### **3.2.1.4.4. Difüzyon**

Difüzyon, değişmiş katman kalınlığını ve kararlı duruma ulaşma süresini ciddi bir şekilde etkiler. Bu, iyon kaynaklı difüzyona [38, 48, 49], iyon aralığına [49], sıcaklıkla oluşan yüzey difüzyonuna [38] ve kopartma için kullanılacak gaz çeşitlerinin yüzey katkılama nedenlerine bağlı olabilir [50]. Yüzey difüzyonu, mevcut fazların, tanecik boyutunun, hedef içindeki malzemenin doğasından etkilenir. İki fazlı Ag – Cu sisteminin difüzyonunun sıcaklık bağımlılığı 80 °C ve 270 °C olarak incelenmiştir. 80 °C'deki hedef için kararlı duruma erişmek için 40 dakika kopartma süresi gerekirken, 270 °C'deki hedefi kararlı duruma ulaştırmak için 200 dakika gerekir. 270 °C deneyinde hedef belirgin kırmızımsı bir biçim gösterir, değişmiş katman kalınlığı yaklaşık olarak 1 µm olarak hesaplanmış olup ve film depolanması gümüş (Ag) içeriği olarak artmıştır. Oda sıcaklığında Ni/Cu'nun kopartma oluşumu oranı 1,90 iken 300 °C'deki oranı 1,60'dır [38].

#### **3.2.1.5. Ayrışma Süreçleri**

##### **3.2.1.5.1. Süblimleşme**

Bir kopartma hedefindeki oluşan iyonların enerjisinin çoğu, ısı olarak hedef yüzeyine aktarılır. Hedef bileşenlerden bir veya daha fazlası uçucu olduğunda hedefte süblimleşmeye neden olabilir [38]. Hedefin arka yüzü doğrudan soğutulsa bile, düşük ısıl yayınımdaki malzemelerle önemli ısıl eğilimler ortaya çıkabilir. Bu etki, hedef ve depolanan film arasındaki

kimyasal katlı farklara neden olabilir. Sabit kopartma koşulları için hedefi uçucu malzemede zenginleştirerek bu etkiyi telafi etmek mümkündür [51].

### 3.2.1.5.2. Kimyasal Ayrışma

Birçok bileşik, 10 – 100 eV aralığında ayrışma enerjilerine sahip olduğundan, kimyasal ayrışmada *keV* enerjili iyonlar sonucuyla kopartma olması şaşırtıcı değildir. Genel olarak ikili oksit hedefleri söz konusu olduğunda, hedef potansiyelinin daha yüksek olduğu durumda filmler oksijen bakımından daha az olur [38, 52]. Bunun nedeni, orijinal bileşik biçiminde yeniden birleşip alttabana doğru hızlanan ikincil oksijen iyonlarının yüksek hedef potansiyellerindeki kopartmada daha fazla olmasıdır. Düşük hedef potansiyellerinde, bu ikincil iyonlar, hedef ve alttaban arasındaki çarpışmaları sürdürebilmesi için yetersiz enerjiye sahip olurlar ve vakum pompalarında kaybolurlar. Kimyasal katmanlı oksitler, nitratlar, sülfidler, gibi maddelerin filmde olması istenilirse, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S gibi reaktif kopartmayla oluşan kimyasal katmanı oluşturabilmek için kopartma gazına her zaman eklenmesi gerekir. Zayıf bağlı bileşiklerde, %100 reaktif gazla kopartmada, kimyasal katmanlı filmler oluşturulamayabilir [38].

### 3.2.1.6. Kimyasal Kopartma

Kimyasal kopartma uçucu bileşikler oluşturmak için uyarılmış bir nötr veya iyonlaşmış gazın bir yüzeyle reaksiyonunu içerir [38, 53, 54]. Bu teknik esas olarak organik yüzeylerin plazma davranışını ve plazmalardaki aşındırma için kullanılır. Bununla birlikte, bazen film depolanmasında bir etki olarak da kullanılabilir [55]. Reaktif anyonlar (F, Cl) içeren hedefler kopartıldığında, bu anyonların bir kısmı ikinci iyonlar halinde kopartılarak kimyasal aşındırma reaksiyonlarının meydana gelebileceği alttabanlara doğru hızlandırılabilir. TbF<sub>3</sub> ve TbCl<sub>3</sub> hedeflerinden “kopartma büyütmesi” esnasında cam alttabanların aşınması film büyümesinden daha fazla olduğu gözlenmiştir [55].

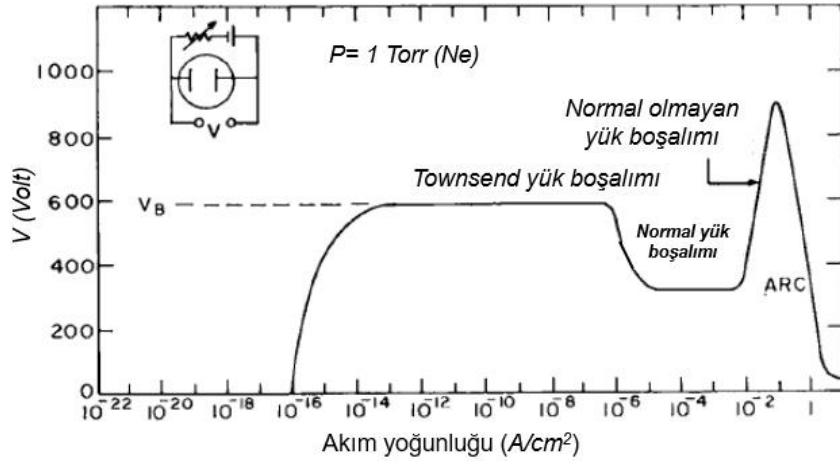
## 3.2.2. Akkor Yük Boşalımı

### 3.2.2.1. DC Akkor Yük Boşalımı

Şekil 3.2.2.1.1., yüksek empedanslı bir DC güç kaynağı olan düşük basınçlı bir gazın akkor yük boşalımının nasıl oluştuğunu göstermektedir [38]. Bir voltaj ilk uygulandığında çok küçük bir akım akmaya başlar. Bunun nedeni, çeşitli kaynaklardan (kozmetik ışına gibi) az sayıda iyon ve elektron varlığından kaynaklanmaktadır. Başlangıçta mevcut tüm yük hareket halinde olduğundan akım neredeyse sabit olur. Gerilimi arttırmak, elektrotlar (ikincil elektron yayımı) ve nötr gaz atomları ile çarpışmalarla daha yüklü parçacıklar üretilmesine neden olur ve böylece yeterli enerjinin kazandırılması sağlanır. Akımın sabit bir şekilde arttırılmasıyla yük daha da



arttırılabilse bile voltaj, güç kaynağının çıkış empedansı ile sınırlıdır. Bu bölge, Townsend yük boşalımı olarak bilinir. Sonuç olarak, bir yoğunluk oluşur; iyonlar katoda çarparak nötr gaz atomlarındaki çarpışmayla daha fazla iyon oluşturan ikincil elektronlar, serbest bırakılır. Bu iyonlar daha sonra katoda geri dönerler ve daha fazla elektron üretirler, buda daha fazla iyon üreten elektronları üretir. Elektronların sayısı yeterli olduğunda yük boşalımı kendiliğinde kalıcı olur. Gaz ışıdamaya başlar, voltaj düşmeye başlar ve akım aniden yükselir. Bu noktadaki mod, “normal akkor” olarak isimlendirilir. Birçok materyalin ikincil elektron yayımı oranı 0,10'e eşit olduğundan diğer bir ikincil elektron üretilmesi için katottan belirli bir alana birden fazla iyon verilmelidir. Bunu gerçekleştirmek için normal akkor bölgesindeki katodun bombardımanı kendi alanını kendisi ayarlar. Başlangıçta bombardıman homojen değildir, ancak bombardıman katodun kenarlarına veya yüzeydeki diğer düzensizliklere yoğunlaşır. Daha fazla güç sağlandığında, bombardıman neredeyse düzgün bir akım yoğunluğu sağlanıncaya kadar katot yüzeyini kaplar (akkor yük boşalımının bu bölgesi, voltaj akım düzenleyici tüplerin kullanıldığı yerdir).



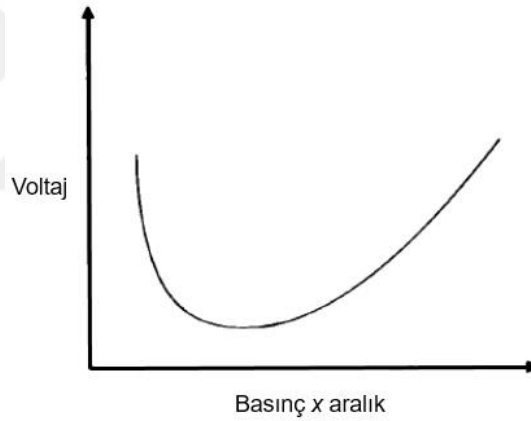
**Şekil 3.2.2.1.1.** DC bir akkor yük boşalımı biçimi [38].

Bombardıman, tüm katot yüzeyini kapladıktan sonra, güç artışı, hem voltaj artışı hem de yük boşalmasındaki akım yoğunluğunun artmasına neden olur. Bu bölge, kopartmada, “normal olmayan akkor” modu olarak kullanılır ve hemen hemen tüm diğer akkor yük boşalımı süreçlerinde kullanılır. Eğer katot soğutulmazsa, akım yoğunluğu yaklaşık olarak  $0,1 \text{ A/cm}^2$ 'ye ulaştığında ikincil elektronlara ek olarak ısıl elektronlar artarak yayımlanır. Güç kaynağının çıkış empedansı, voltajı ve düşük voltajlı yüksek akımlı ark (gazların ışıması anında oluşan elektriksel atımlar) yük boşalma biçimlerini sağlar [38].

Normal olmayan akkor oluşumu için önemli olan,  $V_B$ , ışıma voltajıdır (Şekil 3). Bu voltaj, esas olarak, ikincil elektronların ortalama serbest yoluna ve anot ile katot arasındaki mesafeye bağlıdır. Her ikincil elektron, ilk yığın iyonları oluşumu için yaklaşık 10-20 arasında iyon

üretmelidir. Gaz basıncı veya katot-anot mesafesi çok düşükse, ikincil elektronlar, anota çarpamadan önce yeterli iyon çarpışmalarına maruz kalmazlar. Basınç ve/veya mesafe çok büyük olursa, gazda üretilen iyonlar esnek olmayan çarpışmalarla yavaşlar, çünkü iyonlar, ikincil elektronları üretmek için geldiği katoda yetersiz bir enerji ile çarparlar. Bu,  $V_n$ , Pasen kanununun gaz basıncı ve elektrot ayırımının niteliksel olarak bir ifadesidir (Şekil 3.2.2.1.2.). Çoğu kopartmalı akkor yük boşalmalarında, basınç-ayrım, yüksek yük boşalımı başlatan voltajlar gerektiği için, minimum olan bölgenin sol tarafında olur. Yakın aralıklı elektrot biçimlerinde, yük boşalımını başlatmak için genellikle gaz basıncını geçici olarak arttırmak gereklidir [38].

Şekil 3.2.2.1.3., bir DC akkor yük boşalımının ışıltama bölgelerini, voltaj dağılımını ve katot ve anota mesafesinin bir fonksiyonu olarak alandaki net yükü gösterir. Katota yakın, katot akkor olarak bilinen parlak bir ışımaya katmanı vardır. Burası, katottan üretilerek gelen pozitif iyonlar ve yük boşalımı iyonların, çeşitli süreçlerden geçerek nötrleştirildiği bölgedir. Burası aynı zamanda katottan hızlanarak uzaklaşan ikincil elektronların oluştuğu bölgedir. Yayımlanan ışık, hem katot materyali hem de oluşan iyonların davranış biçimidir [38].



Şekil 3.2.2.1.2. Paschen Kanunu [38].

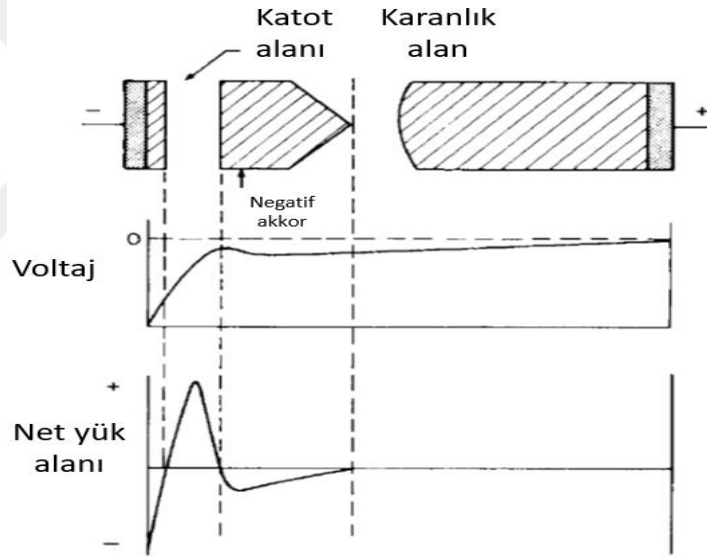
İkincil elektronlar katottan yüksek hızlarda itilir ve ortalama serbest yollarına karşılık gelen katottan daha uzak bir mesafede nötr gaz atomlarıyla çarpışma yapmak için harekete geçer. Bu, çok iyi tanımlanmış karanlık bir alanı ortadan kaldırır. Bu elektronlar çarpışmalarla enerjilerini hızla kaybettiği için neredeyse uygulanan tüm voltajlar bu karanlık alanın karşısında görülür. Karanlık boşluk, pozitif iyonların katoda doğru hızlandığı bölgedir. İyonların hareketliliği elektronların hareketliliğinden çok daha küçük olduğu için karanlık alanda başlangıçta baskın olan iyonlardır [56]. Katottan ikincil elektronların hızlanması, negatif akkor bölgesinde iyonlaştırıcı çarpışmalara neden olur.

Faraday'ın karanlık alanı ve pozitif kolonu, alanı serbest olan bölgelerdir ve tek işlevleri, negatif akkoru elektrikle bağlamaktır. Bir akkor yük boşalımı işlemi için başka hiçbir işleme gerek

yoktur. Birçok kopartma sistemlerinde, anot negatif akkorda bulunur ve bu diğer bölgelerde bulunmaz. Engellenemeyen negatif akkor uzunluğu tam olarak katottan hızlanan elektronların aralığına eşittir [57]. Negatif akkor kesildiğinde, anot tarafından hapsedilen bölgeleri üreten iyonlar elde etmek için daha yüksek voltajlar uygulanır. Genelde homojen katot bombardımanı için anotun, karanlık alanın katot ile arasında olan mesafeden en az 3-4 kat bir mesafede konumlandırılmış olması gerekir. Bu mesafe elbette gaz basıncı ile de ilişkilidir.

### 3.2.2.2. Düşük Frekanslı AC Akkor Yük Boşalımı

Düşük frekanslı AC akkor yük boşalmaları genellikle kopartma için kullanılmaz. Yaklaşık 50 kHz'e kadar frekanslarda her bir yarı döngüde her bir elektrot üzerinde tam bir DC yük boşalımı oluşması için yeterli hareket zamanına sahip iyonlar oluşabilir. Bu yüzden, yük boşalımı temelde bir DC yük boşalımı ile aynıdır, her iki elektrotta alternatif olarak katot ve anot olduğu durum alınmaz (her ikisi kopartma olarak kullanılır).

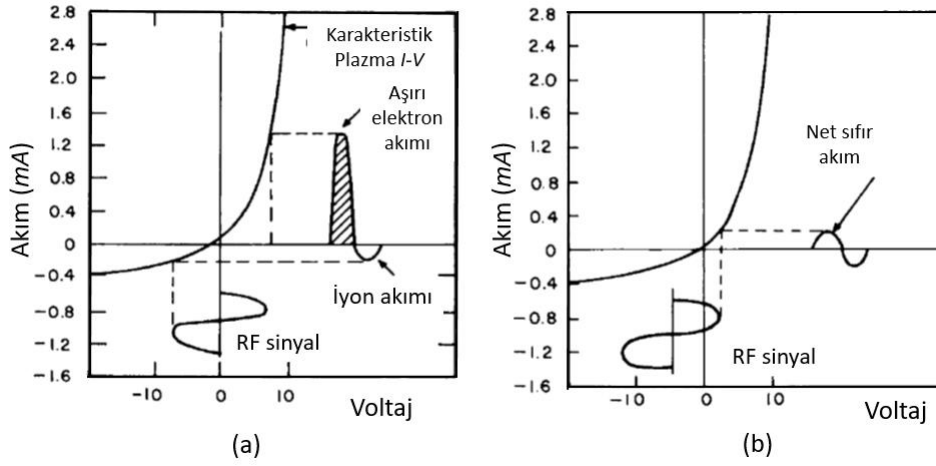


**Şekil 3.2.2.1.3.** DC bir akkor yük boşalımındaki duruma karşı, ışıma bölgeleri, voltaj ve net yük alanı [38].

### 3.2.2.3. RF Akkor Yük Boşalımı

Uygulanan bir AC sinyalinin frekansı 50 kHz'in üzerine çıktıkça iki önemli etki meydana gelir. İlk olarak, akkor alanında titreşen elektronlar, iyonlaşma çarpışmalarına neden olmak için yeterli enerjiyi alır, böylece ikincil elektronlar üzerinde yük boşalımının bağımlılığı azalır ve voltaj kesilmeleri düşer [58]. İkinci olarak, RF voltajları, herhangi bir empedansa bağlandığı için elektrotların elektriksel iletkenliklerinin olması artık gerekmez ve herhangi bir kopartma oluşması mümkün olur. Ama bu durum depolanan filmlerin hedefe benzeyeceği anlamına gelmez. Kopartma için kullanılan tipik RF frekanslarında (5-30 MHz), çoğu iyon oldukça hareketsizdir ve bu elektrotların ihmal edilebilir iyon bombardımanı yapacağı beklenilebilir ama aslında bu

durum böyle değildir. Elektrotlardan biri ya da ikisi de bir seri sığa vasıtasıyla RF üretecine bağlanırsa, bir titreşimle, elektrot üzerinde negatif voltaj gelişir [59]. Elektronlar ve iyonlar arasındaki hareketlilik farkından dolayı akkor yük boşalmanın I-V karakteristikleri sızıntılı bir doğrultucuya benzer (Şekil 3.2.2.3.1.). Sığa ile RF voltaj kaynağın uygulanması, elektrota yüksek bir başlangıç elektron akımı akmasına neden olur. Çevrimin ikinci yarısında yalnızca küçük bir iyon akımı akabilir. Sığa üzerinden hiçbir yük aktarılamayacağı için net akım (her bir çevrim boyunca ortalama olarak) sıfır oluncaya kadar elektrot yüzeyindeki voltaj kendiliğinden negatif öngerilimli olmalıdır. Bu Şekil 3.2.2.3.1.'de gösterilen negatif salınımlı potansiyelin ( $V_s$ ) sonucudur. Bu potansiyelin ( $V_s$ ) ortalama DC değeri neredeyse uygulanan en yüksek voltaja eşittir [38].

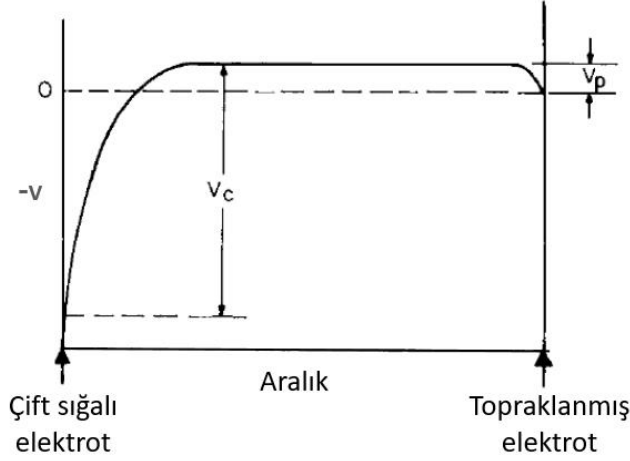


**Şekil 3.2.2.3.1.** RF akkor yük boşalımında sığa olarak birleşmiş bir yüzey üzerinde titreşen negatif bir kılıf oluşumu [38].

Bir RF sisteminde sadece bir elektrottan kopartma elde etmek için, kopartma hedefi olacak elektrot bir yalıtkan olmalı ya da RF üretecine sığa olarak bağlanmalıdır ve bu elektrot alanı, doğrudan bağlanmış elektrotunkiyile karşılaştırıldığında küçük olmalıdır. Ayrıca, küçük sığa olarak bağlanmış elektrot ( $V_c$ ) ve akkor alanı arasındaki voltajın oranı, direk olarak bağlanmış yüksek elektrot ( $V_d$ ) ve akkor alanı arasındaki voltaj oranına eşittir;

$$V_c/V_d = (A_d/A_c)^4 \quad (4)$$

burada  $A_d$  ve  $A_c$ , sırasıyla direk ve sığa olarak bağlanmış elektrotların alanıdır. Uygulamada, direk olarak bağlanmış elektrot, sistem zeminidir (altlıklar, duvarlar gibi) ve  $A_c$ 'den biraz daha büyüktür. Dolayısıyla, Şekil 3.2.2.3.2'de görüldüğü gibi, ortalama kaplama potansiyeli ( $A_s$ ) zemin ile hedef elektrot arasında değişir. Zemin elemanlarının bombardımanını en aza indirmek için tüm zemin parçalarının alanı hedefinkiyile karşılaştırıldığında çok büyük olmalıdır [38].



Şekil 3.2.2.3.2. Bir RF akkor yük boşalımındaki voltaj dağılımı [38].

### 3.2.3. Eş zamanlı iyon bombardımanına maruz kalan alttaban ve büyüyen filmin depolanması

#### 3.2.3.1. Plazma, Değişken ve Öngerilimli Potansiyeller

Akkor bir boşalmanın ışına bölgesi, elektronların ve iyonların konsantrasyonlarının eşit olmaması nedeniyle gerçek bir plazma değildir, ancak plazma koşullarına kabaca yaklaşılmış olunur[38]. Akkor bir yük boşalmasında alttabanlar hareketli-düzlem uçları olarak davranabilir. Şekil 3.2.3.1.1., böyle bir ucun I-V karakteristiklerini hemen hemen ideal bir biçimde göstermektedir. Akkor bir yük boşalmasına girmiş herhangi bir materyal, topraklanmamış ise zemine göre biraz negatif bir potansiyel kazanacaktır. Bu, değişken potansiyel ( $V_f$ ) olarak bilinir. Bu potansiyel iyonlara kıyasla daha yüksek elektronların iyonlardan daha fazla seviyeye ulaşması için yük boşalmasında iyonlara karşı daha yüksek hareketliliğinden dolayı ortaya çıkar. Değişken potansiyel, elektron sıcaklığına ( $T_e$ ), yük boşalmasında yer alan elektronun kütlesine  $m$ , ve iyon kütlesine,  $M$ , bağlıdır;

$$V_f = -(1/2e)kT_e \ln(\pi m/2M) \quad (5)$$

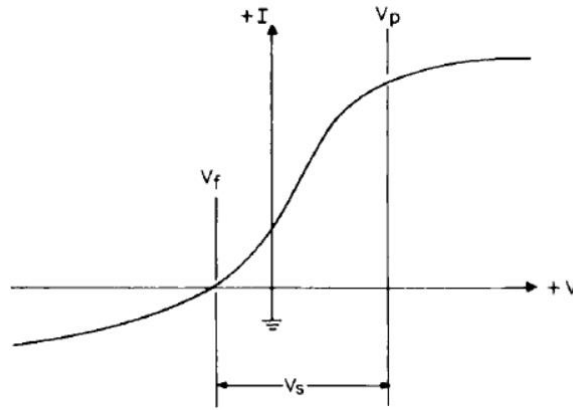
burada  $e$ , elektron yükü ve  $k$ , Boltzmann sabitidir [38].

Plazma potansiyeli ( $V_p$ ) noktasında uç, plazma ile aynı potansiyeldedir. İdeal olarak, bu noktada elektrik alanı yoktur ve yüklü parçacıklar ısısal hızlarından dolayı uca geçer. Yine, elektronlar iyonların daha hareketli olmasından dolayı, uç tarafından toplanan ağırlıklı olarak elektron akımıdır. İdeal şartlar altında plazma potansiyeli şu biçimdedir;

$$V_p = kT_i \ln(2/q_i) \quad (6)$$

burada  $T_i$  ve  $q_i$  iyonların yük ve sıcaklıklarıdır [38].

Bu denklemin türetilmesinde yapılan varsayımlar kesinlikle akkor boşalmalarında (özellikle manyetik alanların olduğu durumlarda) geçerli değildir, ancak yük boşalmalarındaki elektron ve iyon sıcaklıklarını tahmin etmek için kullanılabilirler. Şekil 3.2.3.1.1.'den öğrenilmesi gereken üç önemli pratik sonuç vardır. Birincisi, alttabanlar (topraklanmış olsa bile) plazma açısından negatif bir potansiyeldedir. Şekil 3.2.3.1.1.'de  $V_s$ , hareketli alttabanın potansiyelidir. Alttabanlar topraklanırsa,  $V_s$ ,  $V_f$ 'ye eşit miktarda azalır. İkinci sonuç, kopartma sistemlerinde alttabanların nadiren topraklanması gerektiğidir. Yalıtımlı bir alttaban topraklanmış bir zemine bağlıysa, alttabanın yüzey potansiyeli  $V_s$ 'yi alırken çevresi düşük  $V_s - V_f$  potansiyelini alır. Bu alttabanın kenarlarına yakın bombardıman düzensizliğine neden olmakta, bu da alttabanın kenarından uzaklığın bir fonksiyonu olarak değişen kalınlık, birleşme ya da diğer özellikleri değiştiren bir neden olmaktadır. Bu kuralın tek istisnası iletken bir alttaban üzerine iletken bir film depolanması durumudur. Son olarak, hedef ve alttaban voltajları (öngerilimli kopartma ya da iyon kaplama durumlarında) zemine göre ölçüldüğü için gerçek potansiyelin değeri  $V_p$  ve voltaj değerlerinin toplamı olarak alındığından, plazma potansiyelinin varlığı sistematik bir hata verir. Bazı durumlarda hata daha büyük olabilir [38].



**Şekil 3.2.3.1.1.** Bir akkor yük boşalımındaki Langmuir ucunun idealleştirilmiş  $I$ - $V$  karakteristiği [38].

Değişken potansiyelin ( $V_f$ ) çeşitli DC akkor yük boşalımı parametreleri ile değişimi Şekil 3.2.3.1.1.'de gösterilmiştir. Buradaki Langmuir ucu, bir plazmanın elektron sıcaklığı, elektron yoğunluğu ve elektrik potansiyelini belirlemek için kullanılan bir uçtur. RF akkor yük boşalımları için de, davranış aynıdır, ancak voltajların manyetik özelliğini dikkate almazsak genelde daha yüksektir, çünkü diğer eşdeğer koşullar için elektron sıcaklıkları daha yüksektir. Plazma potansiyelinin ( $V_p$ ) DC akkor yük boşalımı koşullarıyla değişimi, değişken potansiyelinkiyle aynıdır, çünkü genel olarak elektron sıcaklığını arttıran parametreler iyon sıcaklığını da arttırır. Örneğin, basınç düştükçe, sırasıyla  $V_f$  ve  $V_p$ , zemine göre daha negatif ve daha pozitif hale gelir ve daha yüksek alttaban potansiyeline ( $V_s$ ) neden olur [38].

RF akkor yük boşalımı olan durum biraz karmaşıktır, çünkü sistemin geometrisi önemli bir etken haline gelir. Denklem 4'de belirtildiği gibi, sığa olarak bağlanmış elektrot (hedef) üzerindeki ortalama oranı plazmaya göre topraklanmış elektrottaki oranı  $(A_d/A_c)^4$  olarak verilir. Bu alanlar akkor yük boşalmasıyla temas halindeki alanlarla ilgilidir. Yük boşalımı başlatılmışsa (hedef etrafına bir silindir yerleştirerek), toplam topraklanmış alanın sınırlı bir kısmı aslında yük boşalımı ile temas halindedir. Plazma potansiyellerin, çeşitli sınırlamalarla oranı ölçülmüştür [60].

Alttabanların bombardımanı, yüklü parçacıklarla sınırlı değildir. Hedeften yansıyan veya çeşitli uyarılma süreçleri ile akkor yük boşalmasında üretilen yüksek enerjili nötrler de alttabanı bombardıman eder. Bunlar, alttabanın potansiyelinden etkilenmez ve bu kaynaktan gelen bombardıman, akkor yük boşalımı kopartmasında tamamen ortadan kaldıramaz. İyon kaplamada [61, 62], alttaban bombardımanı sırasındaki iyon katkısı, % 10 ve enerjik nötr katkısı, % 90 civarında olmaktadır.

### 3.2.3.2. Gaz Katılımı ve Salımı

Kopartma süreçleri sırasında, büyüyen filme gaz katılır. Bu katılma miktarı, hedef voltajına, alttabanın öngerilim potansiyeline, hedef ile alttaban arası mesafeye, kopartma gazı basıncına, gazın atom hacmine, alttaban sıcaklığına, manyetik alana ve sistem geometrisine bağlıdır. Gazın dahil edildiği iki parametre vardır: İyonlar hedef yüzeyinde nötrleşebilir ve katılıma girecekleri alttaban üzerinde yüksek enerjilerde yansıyabilir; iyonlar alttabanı bombalayabilir ve etkin alttaban öngerilimi nedeniyle alttabana katılabilir [38].

#### 3.2.3.2.1. Alttaban Öngerilimi

Etkin alttaban öngerilimi, gaz katılımını belirlemede önemli bir parametredir [38]. Çok düşük öngerilimli voltajlarda, gazın katılımını sağlamak için yeterli enerji olmaz, ancak bazı ısıl salım oluşabilir. Daha yüksek voltajlarda, gaz içeriği  $V_b^2$  olarak artar; burada  $V_b$ , alttaban öngerilim voltajıdır. Çok yüksek öngerilimlerinde alttaban ısınması, katılıma katılacak gazın salımına neden olur [38].

#### 3.2.3.2.2. Hedef Voltajı

Hedef yüzeyinden yansıyan enerjik nötr kopartma gaz atomlarının tuzaklanması yeterince ispatlanmıştır [38]. Örneğin altın filmlerde *He* katılımında, sabit basınç ve ön gerilim voltajında düşük hedef voltajlarının, daha yüksek hedef voltajlarından daha az gaz katılımına neden olduğu gösterilmiştir. Ar'ın, hem üçlü hem de ikili kopartmalarda Tungsten (W) filmleri için yoğun olarak bulunduğu ve filmde bulunan Ar miktarının hedef malzemenin atomik sayısı ile arttığı görülmüştür.

### 3.2.3.2.3. Alttaban Sıcaklığı

Alttaban sıcaklığı arttıkça, dış kopartma gazın yapışma olasılığı artar [38]. Bunun yanı sıra reaktif kopartmada, reaksiyon hızı da artmaktadır.

### 3.2.3.2.4. Basınç

Artan basınç gaz katılımını azaltır. Azalan basınca karşın gaz içeriğindeki artış, plazma potansiyelindeki artıştan kaynaklanmaktadır [38].

### 3.2.3.2.5. Sistem Geometrisi

Hedef-alttaban mesafesi gibi geometrik etkilerin filmlerdeki gaz miktarını etkilediği gösterilmiştir. Hedefin alttabana olan mesafesinin büyümesi, oluşan filmde gaz katılımını azaltabilir [63]. Örneğin, Tungsten (W) filmlerinin DC üçlü kopartmasında [38], 9 cm hedef-alttaban mesafesinde Ar'ın yaklaşık olarak %15 katılıma, 18 cm mesafesinde ise % 0,1 katılıma girdiği görülmüştür.

Filmin gaz içeriğini etkileyen başka bir geometrik etki, sabit bir sistem için hedef boyutudur. Örneğin RF öngerilimli voltaj ile amorf filmlerde gaz konsantrasyonu hedef elektrot alanı ile ters orantılı iken DC üçlü koparılmış filmlerde hedef alan arttıkça Ar konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir [63].

### 3.3.5. Düzlemsel RF Magnetron Kopartma Yöntemi ile Sn İnce film Üretimi

SnS yarıiletken ince filmlerin üretimi, Şekil 3.3.5.1.'de gösterilen düzlemsel RF magnetron kopartma sistemi kullanılarak Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Grubu (SNTG) Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Örnek malzeme, yalıtkan ise uygulanacak akım çeşidi önemli olmaktadır; iyonların, iletkenlik bandında serbestçe hareket edebilmesi ve malzemede yük birikmesi olmaması için yüksek frekans değişiminden etkilenemeyeceği RF alternatif akım kaynağı kullanılır, bu sayede yalnızca serbest elektronlar örnek yüzeyine çarpar ve yük nötrlenir. Enerjik asal gaz atomları, nötrleşen örnek malzemeye çarparak yüzeyinden atom ya da molekülleri kopartırlar. Çoğu nötr hedef atomları, momentum transferiyle uzaklaştırılır ve bunlar ince bir film olarak örnek alttabana depolanır. Sn İnce film üretimi süreci şu şekilde gerçekleştirilir;

1. Temizlik işlemi yapılan örnek alttabanlar, tutucuya yerleştirilir ve sistemin mekanik ve daha sonra turbo moleküler pompaları devreye sokularak, yaklaşık 7-9 x 10<sup>-6</sup> Torr aralığında bir basınçta vakum ortamı oluşturulur.
2. % 5 H<sub>2</sub> +% 95 Ar gaz bileşimi sisteme verilir, vakum ortamında bulunabilecek su buharı gibi istenmeyen maddeleri temizlemek için sistemin basıncı 250 mTorr



civarına getirilir ve daha sonra 20 mTorr basınç değerlerine kadar düşürülür, bu işlem üç defa tekrarlanır. Burada % 5 H<sub>2</sub> +% 95 Ar gaz bileşiminin kullanılmasının nedeni, yalnızca Ar gazının kullanılması durumunda oluşan Sn ince filmlerde oksitlenme olmasıdır ve oksitlenmenin oluşmaması için bu gaz bileşimi kullanılmıştır.

3. Hedef üzerinde olabilecek kirlilikleri yok etmek için sistemde, 20 Watt-20 mTorr değerlerinde yaklaşık 5 dakika kadar, bir ön-kopartma işlemi yapılır.
4. Son olarak, büyütme için sistem, 40 Watt-20 mTorr değerlerine getirilerek 60 dakika kadar Sn ince filmin örnek alttabana üzerine büyütülmesi sağlanır.

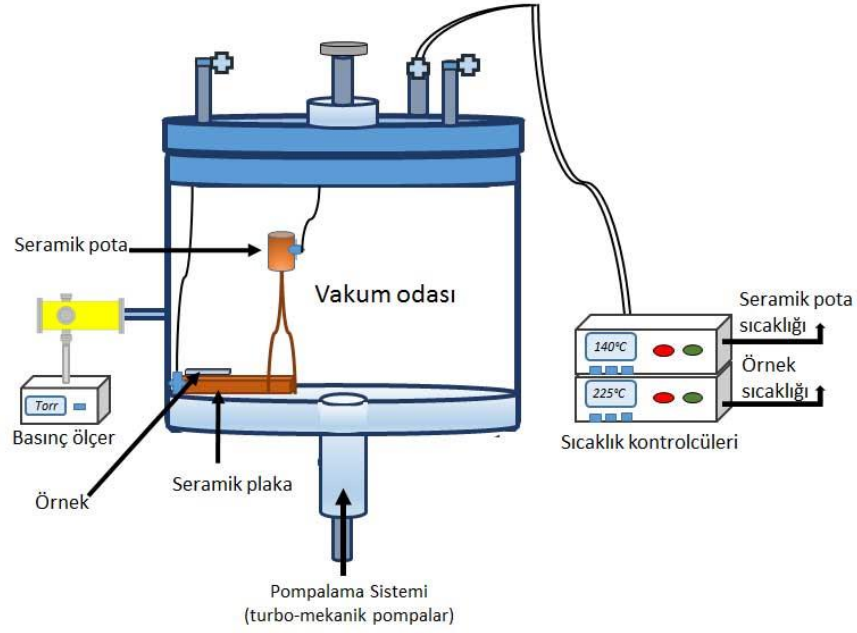


Şekil 3.3.5.1. Düzlemsel RF magnetron kopartma sistemi

### 3.4. Sülfürleme Tekniği

Şekil 3.4.1., SLG alttaban üzerine kaplanmış kalay (Sn) ince filminin vakum ortamında sülfürlenmesi için tasarlanmış deney düzeneğini göstermektedir [64].

Bu tür büyütme reaksiyonları, genel olarak heterojen reaksiyonların olduğu durumlardır. Çünkü homojen reaksiyonlar yoluyla katı fazın oluşturulması, iyi yapışan filmler yerine toz halinde veya pul pul oluşmuş katı filmler meydana getirir.



**Şekil 3.4.1.** Sülfürleme sistemi.

Olağan heterojen süreçlerde olayların sırası şöyle tanımlanabilir:

1. Gaz halindeki malzemenin hedef yüzeye difüzyonu,
2. Gaz halindeki malzemenin hedef yüzeyde tutunması,
3. Kimyasal reaksiyon, yüzey hareketi ve kristal kafes oluşumu gibi yüzey olayları,
4. Yüzeyden salınan ürünler,
5. Ürünlerin yüzeyden difüzyon ile uzaklaşması.

Büyütme oranı, büyütülecek olan alttaban örneğinin kristal yapısına (yönelimine) büyük ölçüde bağlı olabilir [65]. Bu nedenler şu şekilde sıralanabilir:

1. Yüzey bölgelerinin geometrik düzenlenimleri ve yoğunlukları,
2. Yüzey bağlarının sayısı ve niteliği,
3. Çeşitli kristal yüzeylerin yapısına,
4. Boşluk, çukurluk ve düzensizlik gibi yüzey yapısının doğası ve sayısı.

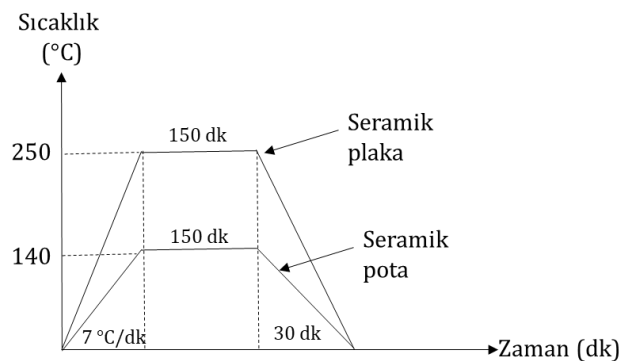
Bu faktörlerin tümü, yüzey tutulumunu, salınan ürünleri, yüzeyin taşıyıcı hareketliliği ve ürünlerin reaksiyona girme kabiliyeti gibi durumlar, büyütme etkileyebilir. Hem termodinamik nedenlerin hem de kinetik olayların oluşacak reaksiyonu etkileyeceği bilinmelidir. Yarı-kararlı fazların varlığında ve yarıiletken büyütme oranındaki katkılama etkileri gibi kinetik etkiler, sıcaklığa, kütleye, momentum transferine ve benzeri fiziksel etkilere bağlıdır. Akışkanlardaki (gazlar ve sıvılar) fiziksel transfer olgusu, akışkan akısının doğasına bağlıdır; akış hızı, sistemdeki

sıcaklık ve sıcaklık dağılımı, sistemdeki basınç, sistem geometrisi ve gaz ya da buhar özellikleri gaz akısının doğasını etkileyen faktörlerdir.

Gazlarda difüzyon, basınç ile ters orantılıdır, bu nedenle basıncın 760 Torr'luk atmosfer basıncı değerinden 0.5-1 Torr'luk değere düşürülmesi difüzyon oranını yaklaşık 1000 kat kadar artırır [65]. Bu nedenle, düşük basınçlı bir sistemde kütle transferi değişkenlerine çok daha dikkat etmek gerekir.

Sülfürleme sistemi şu şekilde çalışmaktadır:

1. İlk olarak sisteme örnek ve uygun miktarda sülfür tozu yerleştirilerek, sistem yaklaşık olarak  $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  Torr basınç aralığına getirilir. Herhangi bir alttaban üzerine büyütülmüş Sn ince film örneği, seramik plaka üzerinde, sıcaklık kontrolcüsü ile belli adımlarla ( $7^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ) sıcaklık artırılarak istenilen bir sıcaklıkta tutulur.
2. Aynı süre zarfında, seramik pota içine yerleştirilmiş toz halindeki sülfür, gaz faza gelinceye kadar ısıtılır ve sülfürleme yapılacak süreye göre sabit bir sıcaklıkta tutulur.
3. Gaz fazına geçen sülfür, vakum pompasının alt tarafta konumlandırılması nedeniyle oluşan yoğunluk farkından dolayı, çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru bir difüzyon hareketine başlar.
4. Yoğunluğun az olduğu bölgede bulunan Sn ince film üzerine gelen sülfür gazları, Sn metaline difüz ederek ve koşullara bağlı olarak SnS yarıiletken ince filmini oluşturur. Yüksek sıcaklıklarda ( $>300^{\circ}\text{C}$ ) ya da uzun süreli sülfürleme işlemi  $\text{SnS}_2$  ve  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  fazlarının oluşmasına neden olabilir.
5. Belli bir süre belirlenmiş sıcaklıklarda tutulan seramik plaka ve seramik pota soğutularak işlem tamamlanır. Şekil 3.4.2.'de sülfürleme işleminin süreye bağlı sıcaklık değişiminin temsili bir biçimi verilmiştir.



**Şekil 3.4.2.** Sülfürleme işlemi sırasında seramik ve kelepçe ısıtıcıların sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. SLG Alttaban Üzerine Büyütülmüş CdS Yarıiletken İnce Film Karakterizasyonu

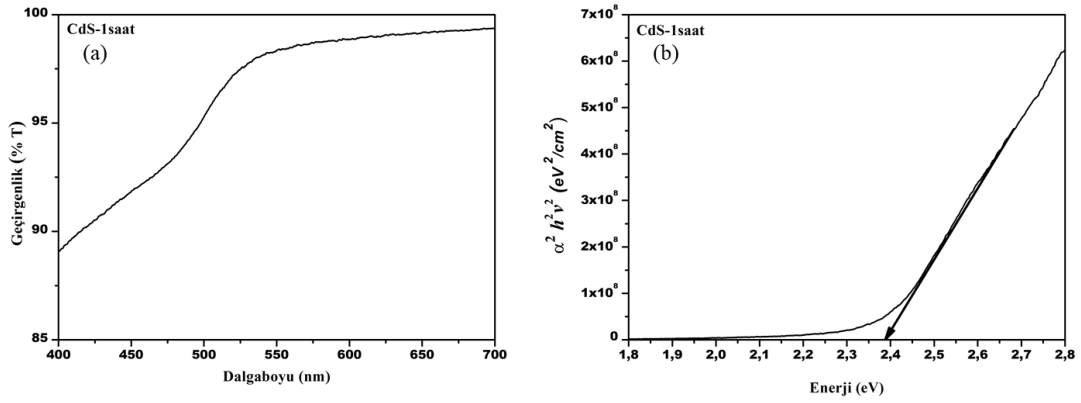
Kimyasal büyütme yöntemi ile elde edilen CdS ince filmleri, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat ve son olarak 5 saatlik büyütme süresi ile 5 farklı kalınlıkta SLG alttaban üzerine 70 °C'de büyütülmüştür. Daha sonra, 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmi, 100 °C, 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda 1 saat süreyle hava ortamında tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen CdS ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik yüzdeleri 300-1100 nm aralığında olan UV-Visible spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Ölçülen bu grafikten ve Beer-Lambert yasasından yararlanarak soğurma katsayısı hesaplanmıştır.

Yarıiletken soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) ile yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) arasında,

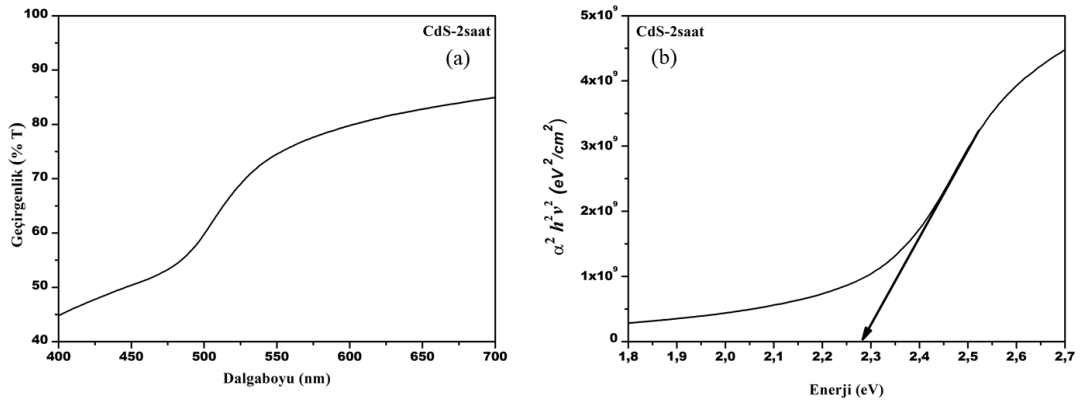
$$\alpha = A(h\nu - E_g)^n / h\nu \quad (7)$$

bağıntısı bulunmaktadır. Burada A bir sabiti,  $h\nu$  foton enerjisini,  $n$  direk bant aralığına sahip yarıiletkenler için 1/2 'ye eşit olan bir sabiti göstermektedir. Filmlerin yasak enerji aralığı, oda sıcaklığında elde edilen geçirgenlik grafikleri için Beer-Lambert yasası ve Denklem 7 kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun için önce  $\alpha^2 h^2 \nu^2 - h\nu$  grafiği çizilir ve bu grafiğin eğiminin  $h\nu$  eksenini kestiği,  $\alpha^2 h^2 \nu^2 = 0$  olduğu yer, filmin yasak enerji aralığını verir.

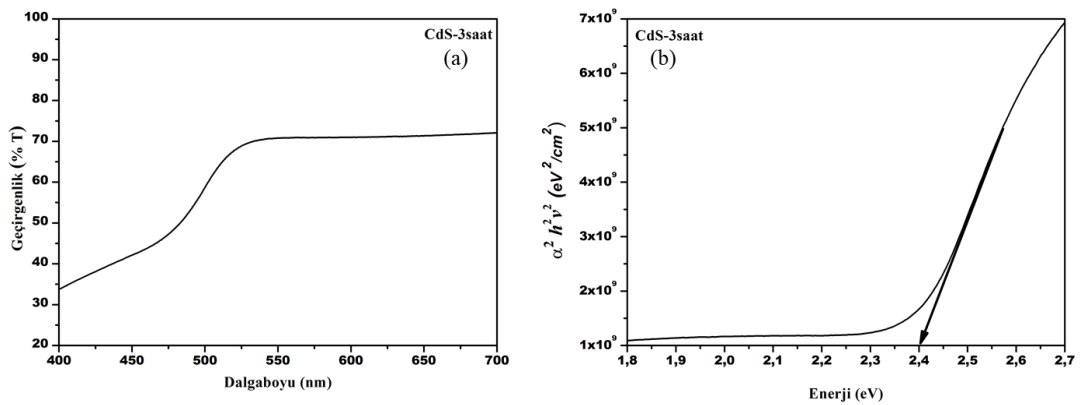
Sırasıyla, Şekil 4.1.1. ile Şekil 4.1.8. arasındaki tüm grafikler farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilmiş CdS ince filmlerinin yüzde geçirgenliklerini ve yasak enerji aralıklarını göstermektedir. Grafikler incelendiğinde CdS ince filmlerinin tamamının görünür bölgedeki geçirgenlikleri %70 ile %100 aralığı değerlerindedir. Bu sonuç, görünür ışığı yüksek oranda geçirdiği için güneş pillerinde kullanılan n-CdS ince filmi için ihtiyaç duyulan önemli bir özelliktir. Aynı zamanda elde edilen grafikler incelendiğinde beş farklı sürelerde büyütülen CdS ince filmlerinin yasak enerji aralıklarının 2,28-2,42 eV aralığında değerlere sahip olduğu görülmektedir, bu değerler CdS ince filmi için literatür ile tam uyumludur [13-14].



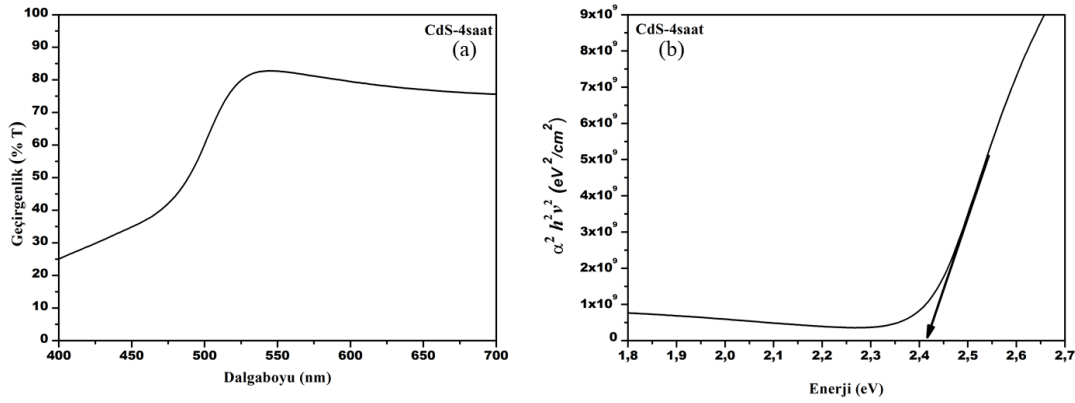
**Şekil 4.1.1.** SLG alttaban üzerine bir saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$  grafiği.



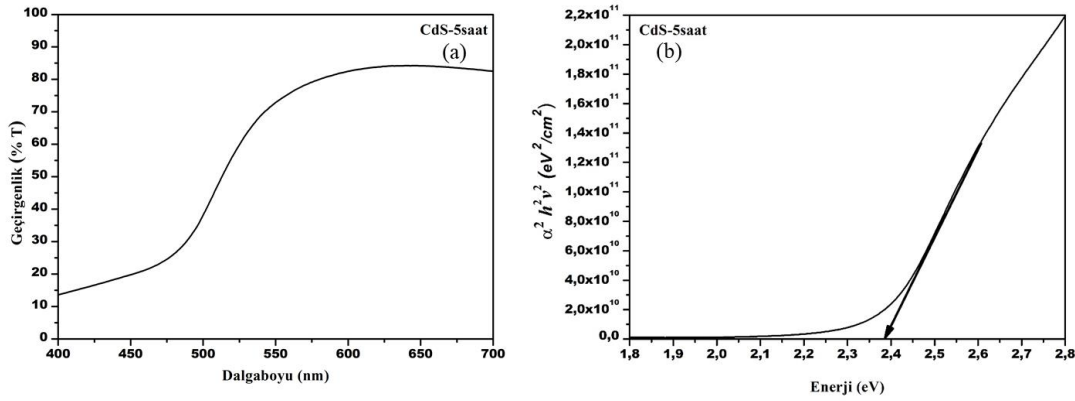
**Şekil 4.1.2.** SLG alttaban üzerine iki saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$  grafiği.



**Şekil 4.1.3.** SLG alttaban üzerine üç saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$  grafiği.

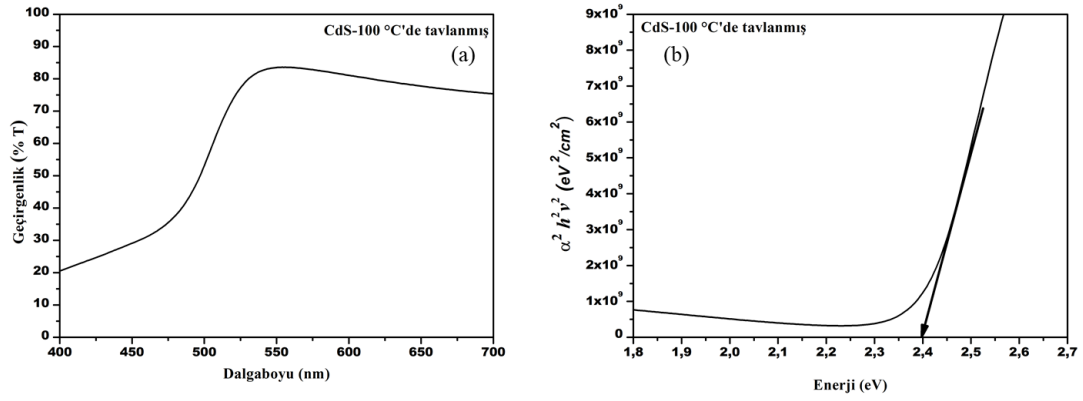


**Şekil 4.1.4.** SLG alttaban üzerine dört saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 \nu^2 - h\nu$  grafiği.

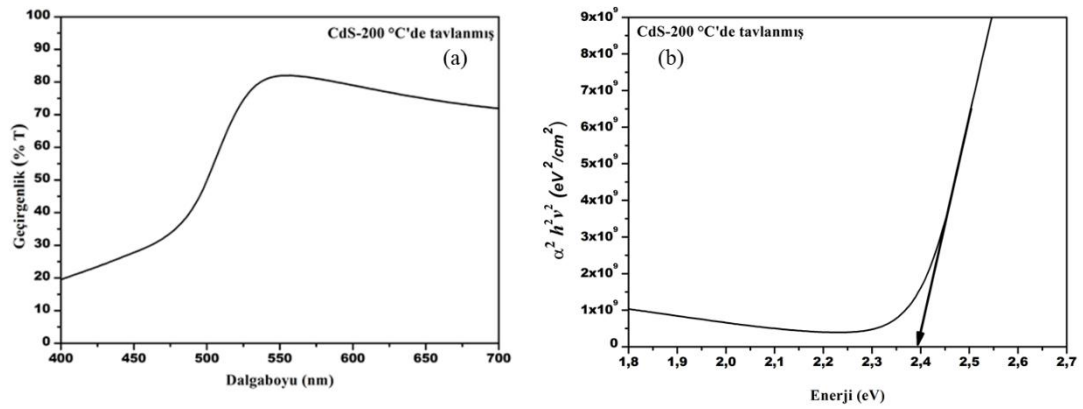


**Şekil 4.1.5.** SLG alttaban üzerine beş saatlik büyütülmüş CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 \nu^2 - h\nu$  grafiği.

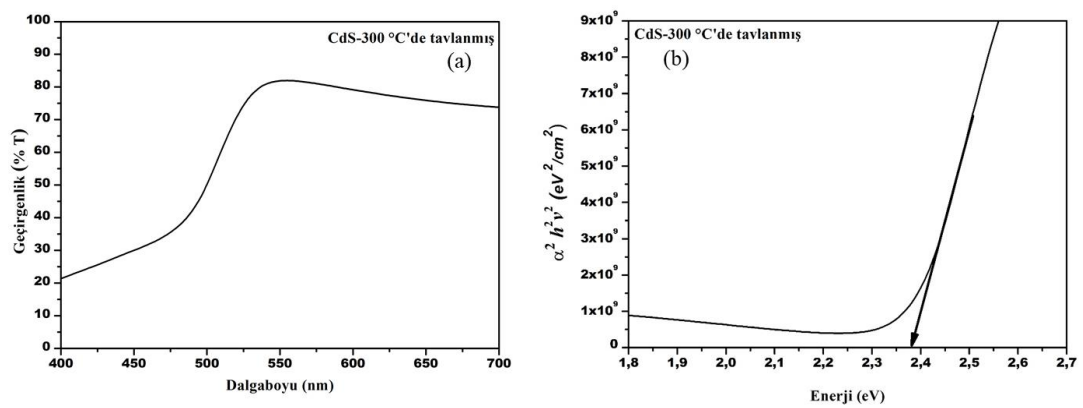
4 saatlik CdS ince filmi, literatürde CdS yarıiletken ince filmi için verilen 2,42 eV yasak enerji aralığı ile bire bir uyumlu olduğu için bu film 100 °C, 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda 1 saat süreyle hava ortamında tavlama işlemine tabi tutulmuş ve tavlama sıcaklığının CdS ince filmi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sırasıyla, Şekil 4.1.6. ile Şekil 4.1.8. arasındaki grafikler incelendiğinde, tavlama sıcaklığının artması CdS ince filmlerinin yasak enerji aralıklarında azalmalara neden olduğu görülmektedir. CdS ince filmin yasak enerji aralıkları, 100 °C tavlama işlemi sonucunda 2,40 eV, 200 °C tavlama işlemi sonucunda 2,39 eV ve 300 °C tavlama işlemi sonucunda 2,38 eV değerlerine düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni tavlama sıcaklığının artmasıyla film üzerindeki su buharı uçmakta film daha kararlı bir yapıya sahip olmaktadır. Bu düşünce aşağıda tartışacağımız gibi XRD ve SEM verileriyle de desteklenmektedir.



Şekil 4.1.6. 100 °C'de tavllanmış CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 \nu^2 - h\nu$  grafiği.



Şekil 4.1.7. 200 °C'de tavllanmış CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 \nu^2 - h\nu$  grafiği.

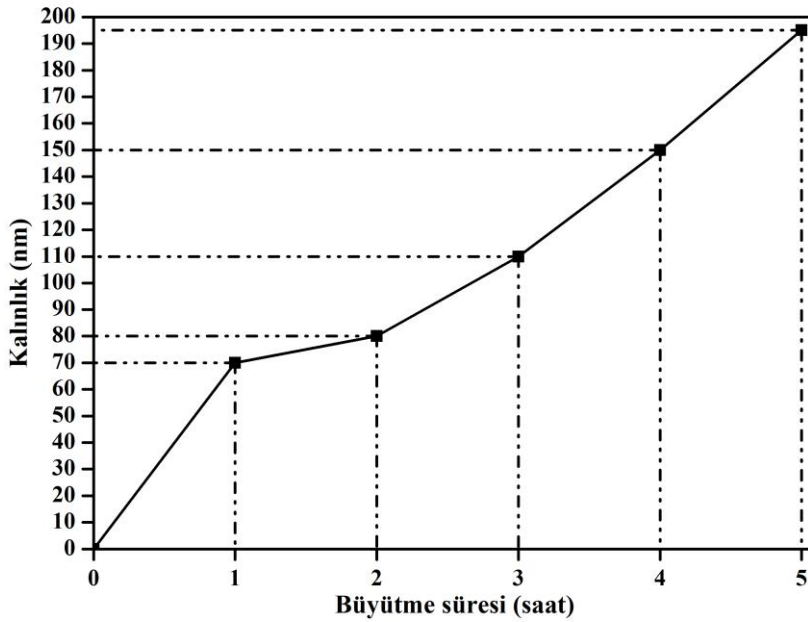


Şekil 4.1.8. 300 °C'de tavllanmış CdS ince filmin (a) dalga boyuna karşı yüzde geçirgenlik ve (b)  $\alpha^2 h^2 \nu^2 - h\nu$  grafiği.

Şekil 4.1.9. grafiği, elde edilen CdS ince filmlerinin büyütme süresine karşı kalınlığını vermektedir. CdS ince filmlerin kalınlığı, filmlerin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafiklerindeki ardışık iki tepe (tam dalga) ya da bir tepe bir çukur (yarım dalga) değerleri kullanılarak aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilmiştir,

$$d = \frac{1}{2n_1\Delta(1/\lambda)} \quad (8)$$

burada  $d$ , optiksel film kalınlığını,  $n_1$ , kırılma indisini ve  $\lambda$  ise maksimum ya da minimum iki dalga boyunu ifade etmektedir. Filmlerin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafiklerinde yarım dalga değerleri kullanılması durumunda, Denklem 8'de paydadaki 2 çarpan değeri 4 olarak alınır. CdS ince filmlerinin optiksel kalınlığı, büyütme süresine bağlı olarak sırasıyla 70, 80, 110, 150 ve 195 nm değerlerinde hesaplanmıştır. CdS ince filmi, güneş pillerinde n-tipi pencere materyali olarak kullanıldığı için oldukça ince ve geçirgenliği yüksek olmalıdır, elde edilen değerler bu bakımdan uygun ve önemlidir.

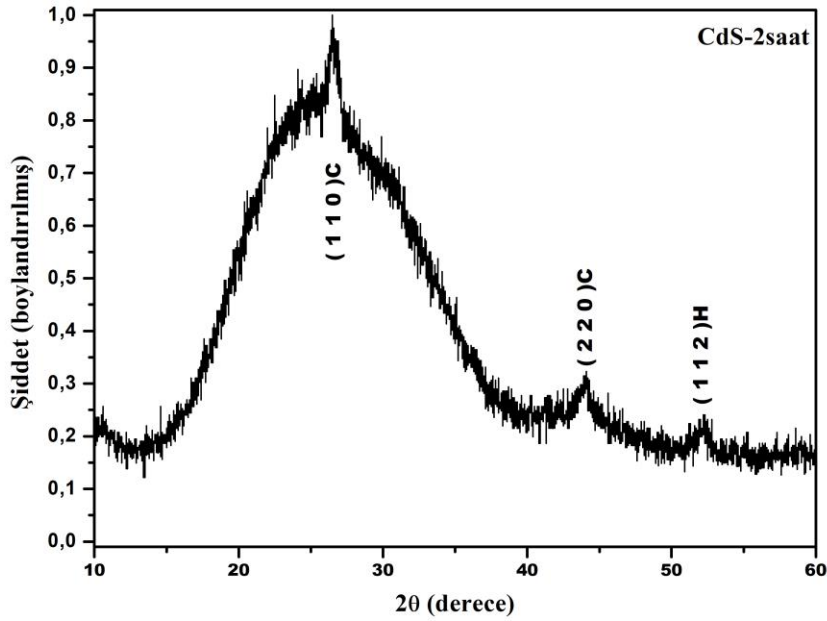


**Şekil 4.1.9.** CdS ince filmin büyütme süresine karşı kalınlık grafiği.

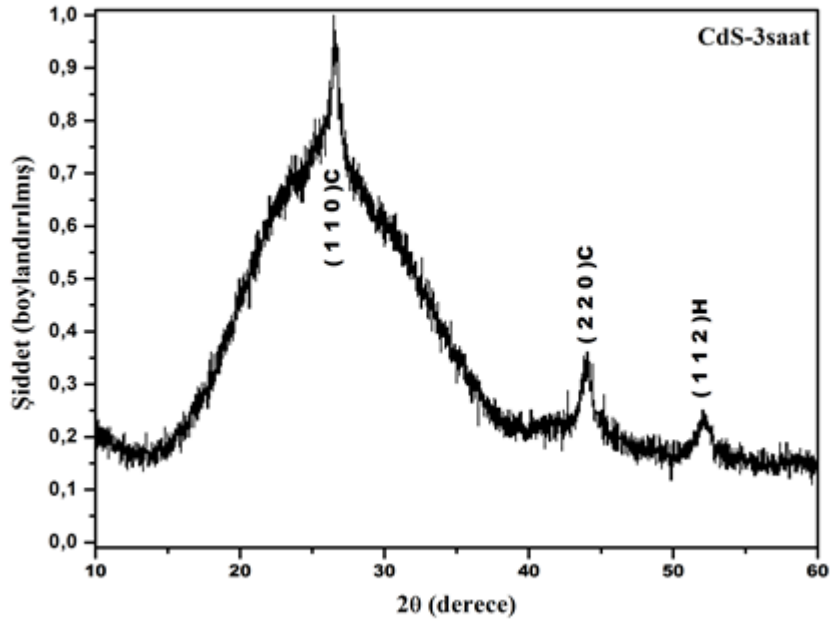
Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerinin optiksel özellikleri belirlendikten sonra X-ışını kırınım desenleri ölçümleri Bruker marka X-ışını difraktometresi ile Mersin Üniversitesi Araştırma Laboratuvarında ölçüldü. CdS filmlerinin ölçümleri 40 kV ve 30 mA'ya ayarlanmış nikel filtreden  $\lambda=1,5406\text{\AA}$   $\text{CuK}_\alpha$  radyasyonunda  $10 \leq 2\theta < 60^\circ$  aralığında  $0,02^\circ$  adımlar ile yapıldı. Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilmiş



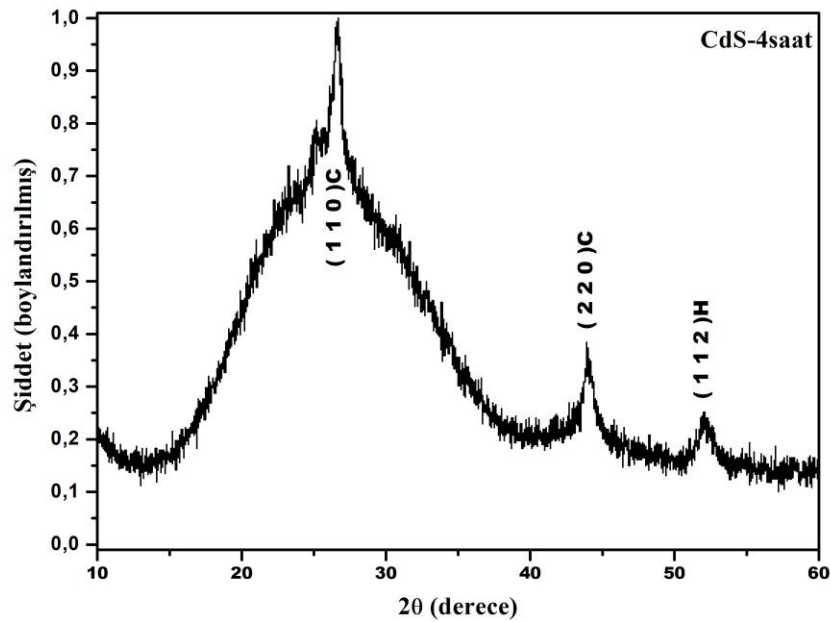
CdS ince filmlerinin XRD sonuçları, Şekil 4.1.10. ile Şekil 4.1.16. arasındaki grafiklerle gösterilmektedir. 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin X-ışını kırınımında kristal pikleri, bu filmin oldukça ince olmasından dolayı elde edilememiştir. CdS ince filmin kalınlaştırılmasıyla, kristal yapı kendini göstermeye başlamıştır. Şekil 4.1.10. ile Şekil 4.1.16. arasındaki tüm grafiklerde, 15-40° arasındaki 2θ değerlerindeki tepe tamamen cam alttabanın amorf yapısından kaynaklanmaktadır. CdS ince filmlerin XRD desen indislemesi, 01-079-6256 ve 01-74-9664 numaralı standart pdf kartları kullanılarak, kübik (C) ve hekzagonal (H) yapıları, (111)C, (220)C ve (112)H, biçiminde bulunmuştur. XRD desenleri incelendiğinde, CdS ince filmlerinin büyütme sürelerinin artmasıyla (111)C, (220)C ve (112)H yapılarının XRD pik şiddetlerinde belirgin bir artış görülmektedir. Bu artış, CdS ince filmlerinin tavlama sıcaklığının artmasıyla da kendini göstermiştir. Bu artışlar, kristal büyüklüğünün artmasıyla kristal yapının daha belirgin hale geldiğini göstermektedir.



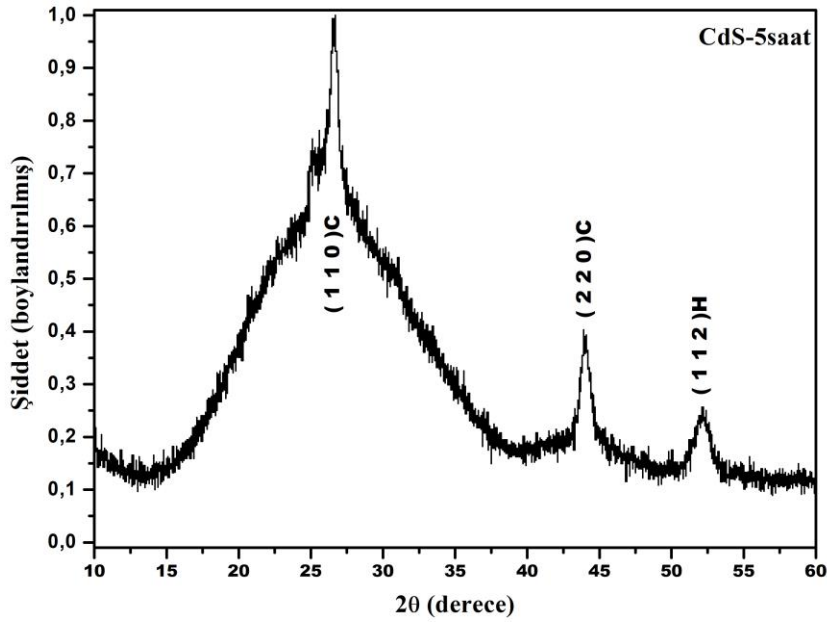
Şekil 4.1.10. 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.



Şekil 4.1.11. 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.



Şekil 4.1.12. 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.



**Şekil 4.1.13.** 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.

CdS ince filminin tanecik yapısı, XRD desenlerindeki piklerin yarı maksimum genişliği (FWHM) kullanılarak Scherrer formülü yardımıyla anlaşılabilir,

$$D_{hkl} = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (8)$$

burada  $D_{hkl}$  tanecik büyüklüğünü,  $K=0,9$  değerinde bir sabiti,  $\lambda$  kullanılan X-ışınının dalga boyunu,  $\beta$  radyan yansımaların yarı maksimum genişliğini ve  $\theta$  Bragg yansıma açısını ifade etmektedir. Ayrıca  $\beta$ ,  $D_{hkl}$ , ve  $\theta$  değerleri kullanılarak CdS ince filmin tanecik yapısı hakkında bilgi sahibi olunabilir; örneğin, kristal yapı içerisindeki düzensizliğin ölçüsü olarak ifade edilen dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ), birim yüzeye düşen kristal sayısı ( $N$ ) ve yüzey bozulumunu ifade eden örgü gerinimi ( $\varepsilon$ ) gibi nicelikler sırasıyla,

$$\delta = 1/D_{hkl}^2 \quad (9)$$

$$N = d/D_{hkl}^3 \quad (10)$$

$$\varepsilon = \beta \cos \theta / 4 \quad (11)$$

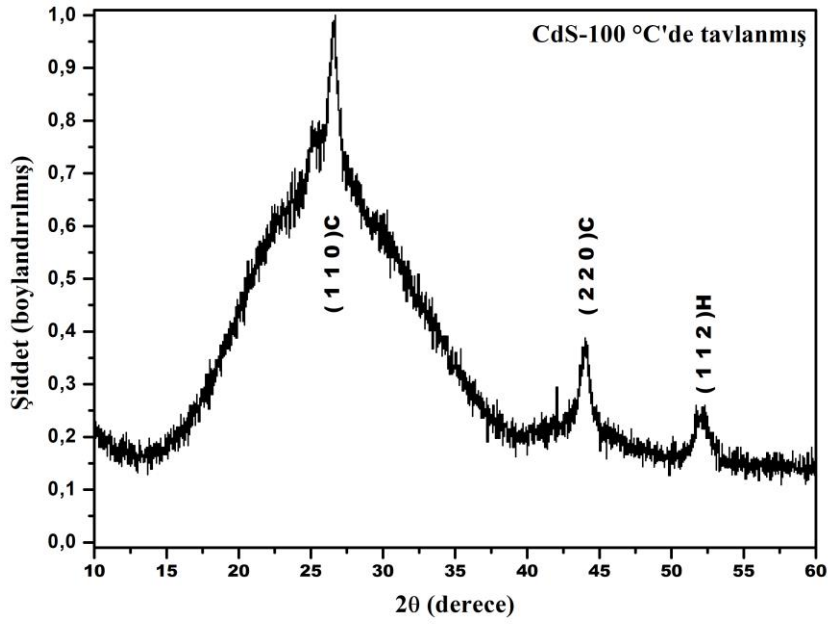
bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir. Burada  $d$  değeri filmin kalınlığını ifade etmektedir.

Tablo 4.1.1., CdS ince filmlerinin karakteristik piki olan (111)C piki kullanılarak hesaplanan yapısal özelliklerini göstermektedir. Tablo 4.1.1. incelendiğinde CdS ince filmlerinin büyütme süresinin artmasıyla CdS kristal büyüklüğünün arttığı görülmekte, buna bağlı olarak

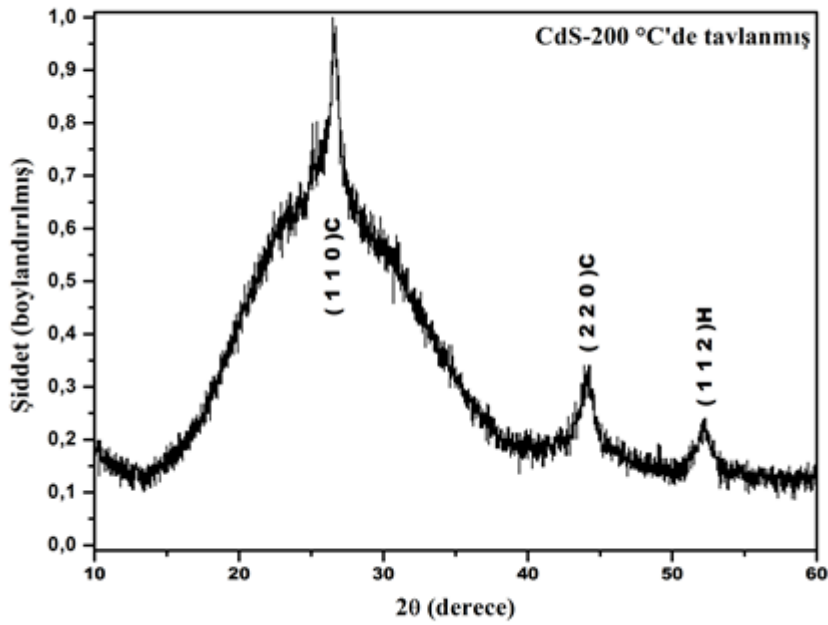
dislokasyon yoğunluğunun, birim yüzeye düşen kristal sayısının ve örgü gerinimi değerinin azaldığı görülmektedir. Bu sonuç, kristal büyüklüğünün artmasıyla daha düzenli bir yapı oluştuğunun bir göstergesidir. Ayrıca, CdS ince filmlerinin tavlama işlemine tabi tutulması ve tavlama sıcaklığının artmasıyla CdS kristal büyüklüğünün arttığı, buna bağlı olarak dislokasyon yoğunluğunun, birim yüzeye düşen kristal sayısının ve örgü gerinimi değerinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla, literatürde oldukça yaygın bir işlem olan tavlama işleminin CdS ince filmin kristal yapısı üzerinde olumlu etkileri olduğu saptanmıştır [14].

**Tablo 4.1.1.** Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri.

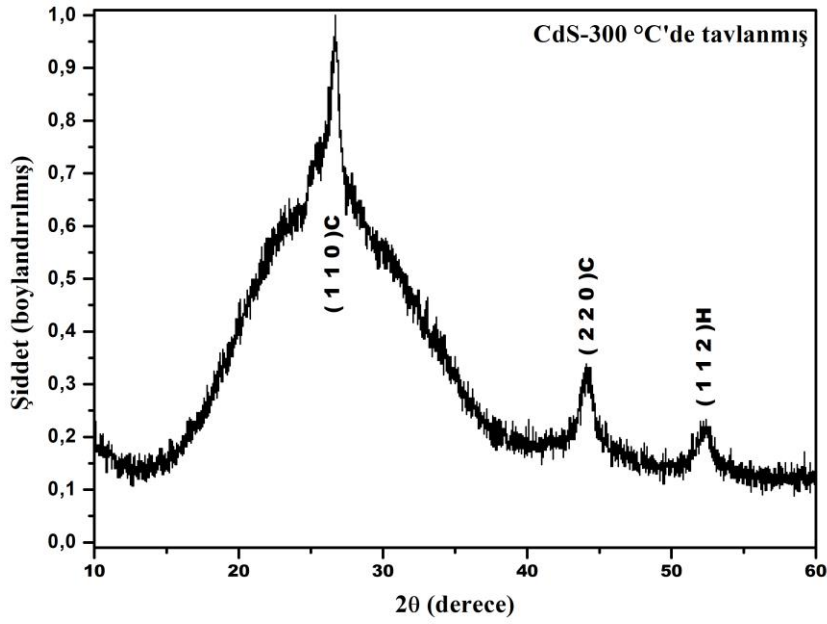
CdS ince film büyütme süresi ve tavlama sıcaklığı	FWHM $\beta$ (rad) ( $10^{-2}$ )	Kristal büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu ( $10^{15}$ çizgi/ $m^2$ )	Kristallerin sayısı/birim yüzey alan ( $10^{17} m^{-2}$ )	Örgü Gerinimi ( $10^{-4}$ )
2 saat	8,37	1,70	345	162	203
3 saat	2,70	5,27	35,97	7,50	65,80
4 saat	1,13	12,50	6,32	0,75	27,60
4 saat-100 °C	1,09	12,96	5,94	0,68	26,75
4 saat-200 °C	1,04	13,61	5,39	0,59	25,47
4 saat-300 °C	1,01	14,09	5,03	0,53	24,63
5 saat	1,02	13,85	5,21	0,73	25,05



Şekil 4.1.14. 100 °C'de tavllanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.

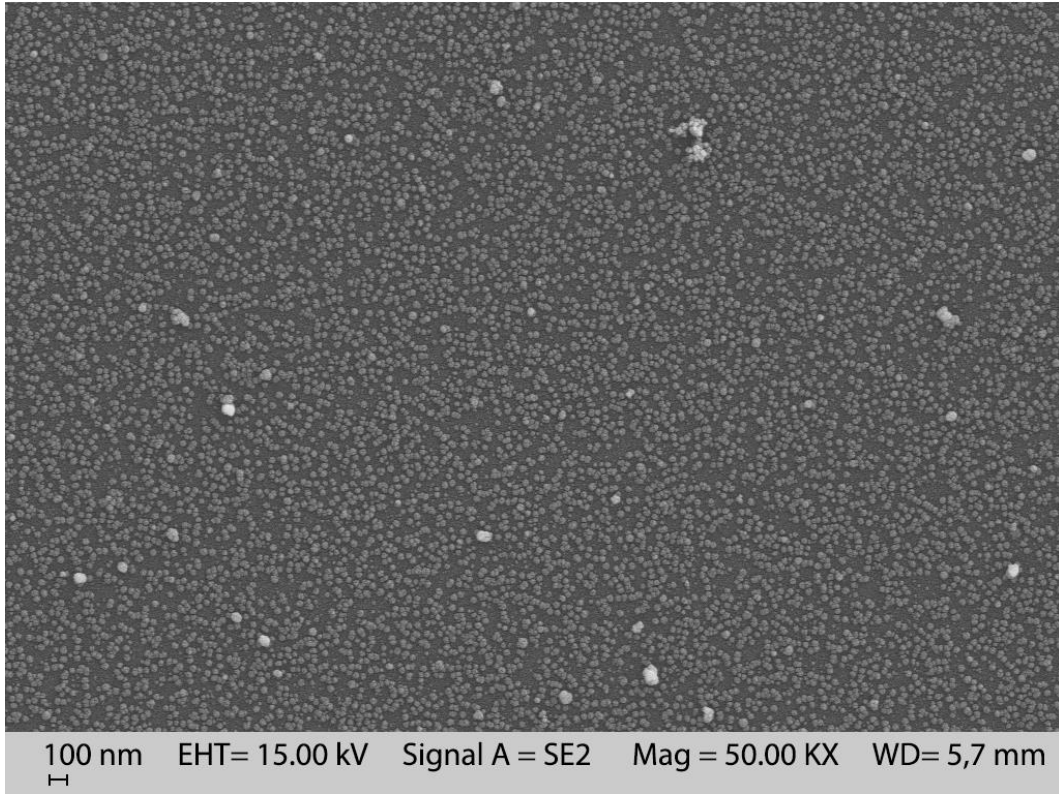


Şekil 4.1.15. 200 °C'de tavllanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.

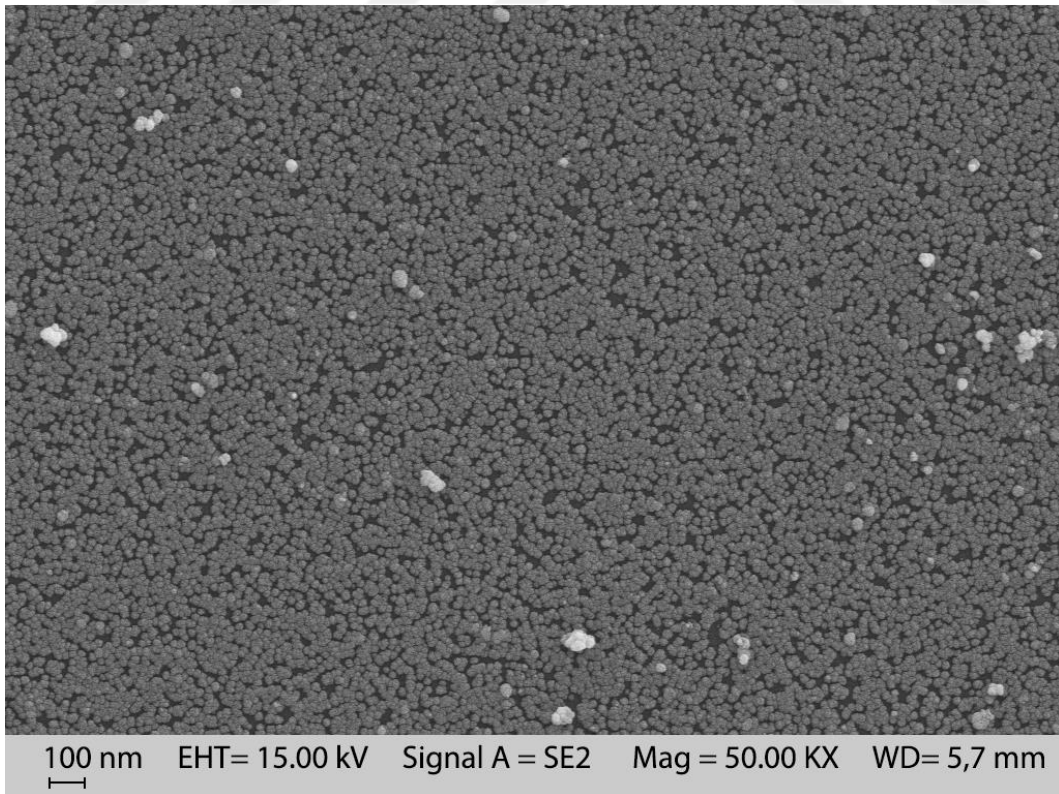


**Şekil 4.1.16.** 300 °C'de tavllanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin XRD deseni.

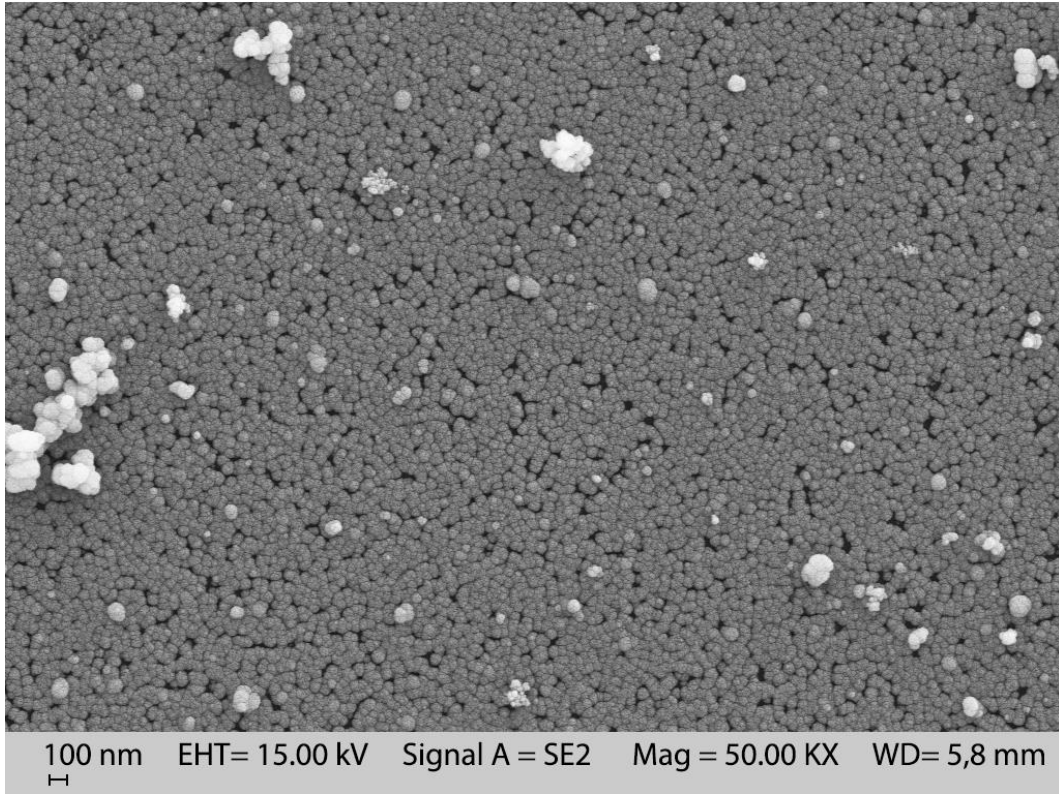
Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri SLG üzerindeki CdS kristallerinin açıklanmasında bize yardımcı olur. Optik özellikleri ve X-ışını kırınımıyla yapısı tayin edilen farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerinin SEM görüntüleri Şekil 4.1.17. ile Şekil 4.1.25. arasında gösterilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde CdS ince filmin büyütme süresinin artmasıyla CdS tanecik büyüklüğünün arttığı görülmektedir. Buna bağlı olarak cam yüzey üzerindeki boşluklarında hemen hemen yok olduğu ve CdS ince filmin yüzey üzerine tamamen kaplandığı anlaşılmaktadır. Aynı zamanda bu sonuç, Tablo 4.1.1. ile elde edilen CdS tanecik büyüklüğü ile uyusmaktadır. Hem CdS ince filmin XRD sonuçları hem de SEM görüntüleri sonuçları karşılaştırıldığında büyütme süresinin tanecik büyüklüğünü etkilediği ve büyütme süresinin artmasıyla daha düzenli bir yapının oluştuğu ve boşlukların hemen hemen yok olduğunu tavlanan CdS ince filmlerinde de gözlenmiştir.



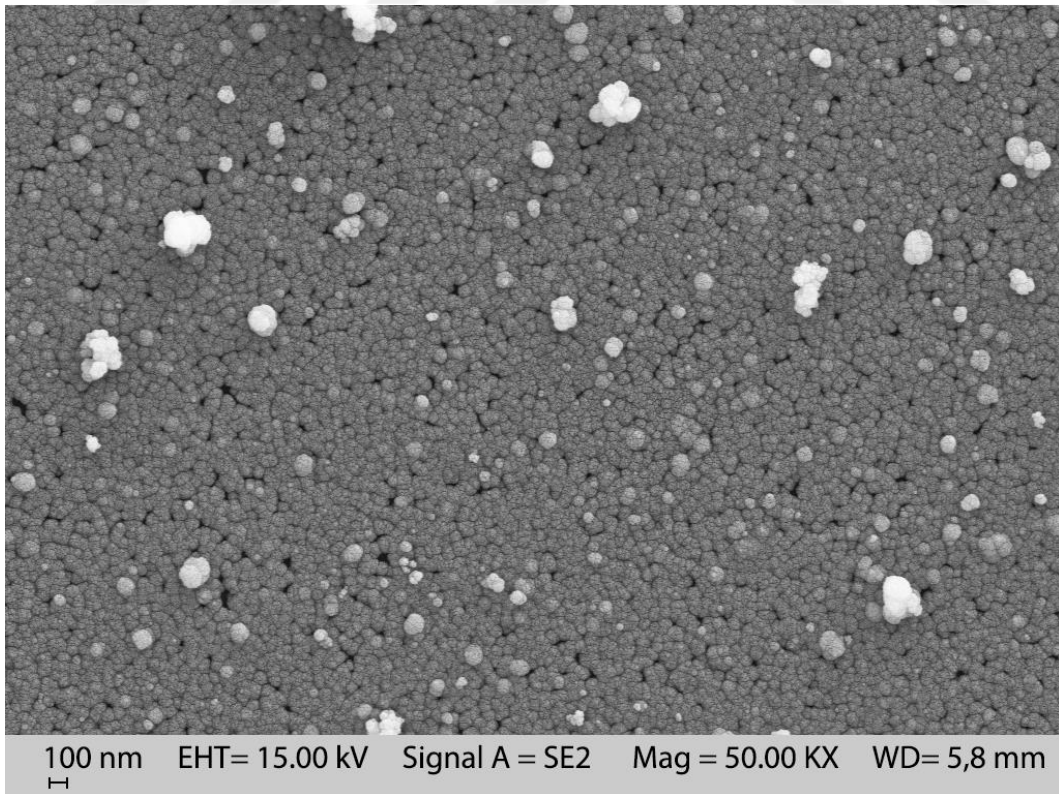
**Şekil 4.1.17.** SLG alttaban üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.1.18.** SLG alttaban üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

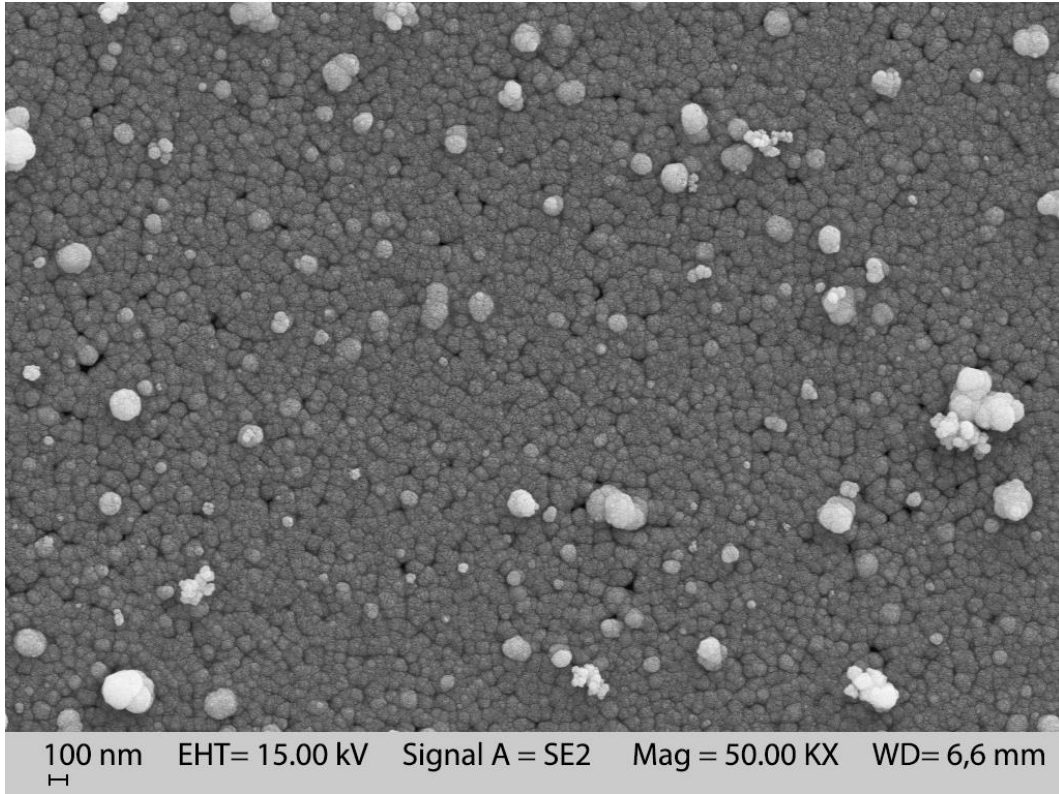


**Şekil 4.1.19.** SLG alttaban üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

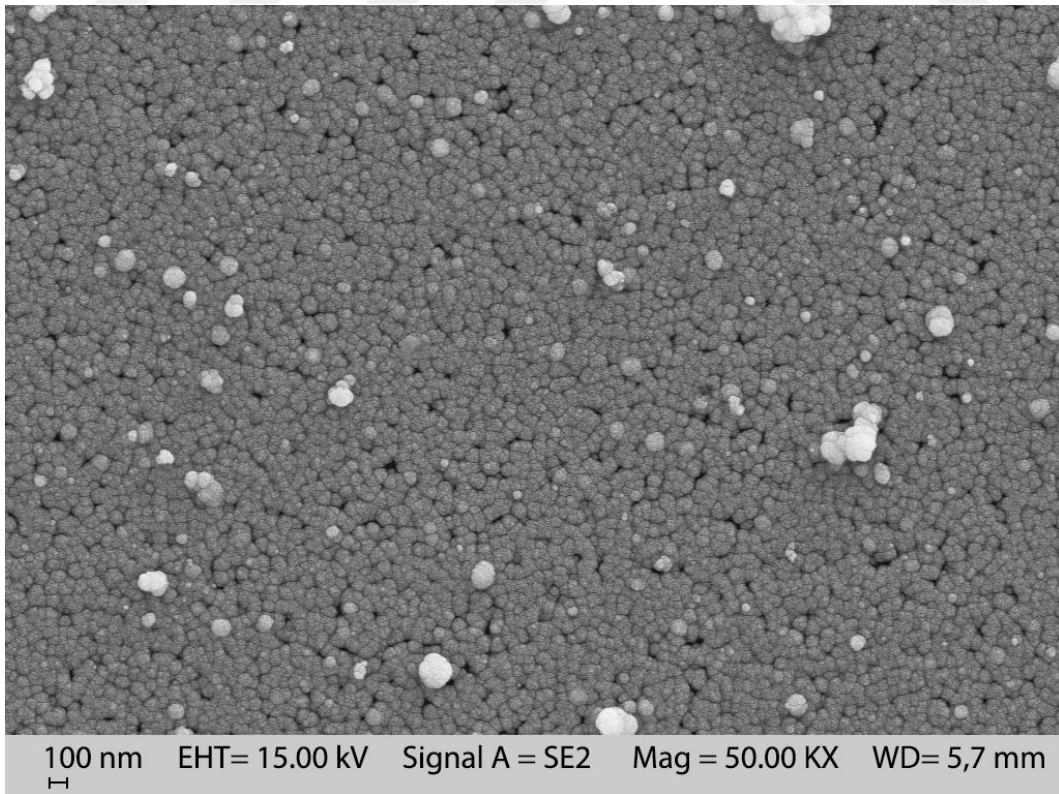


**Şekil 4.1.20.** SLG alttaban üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

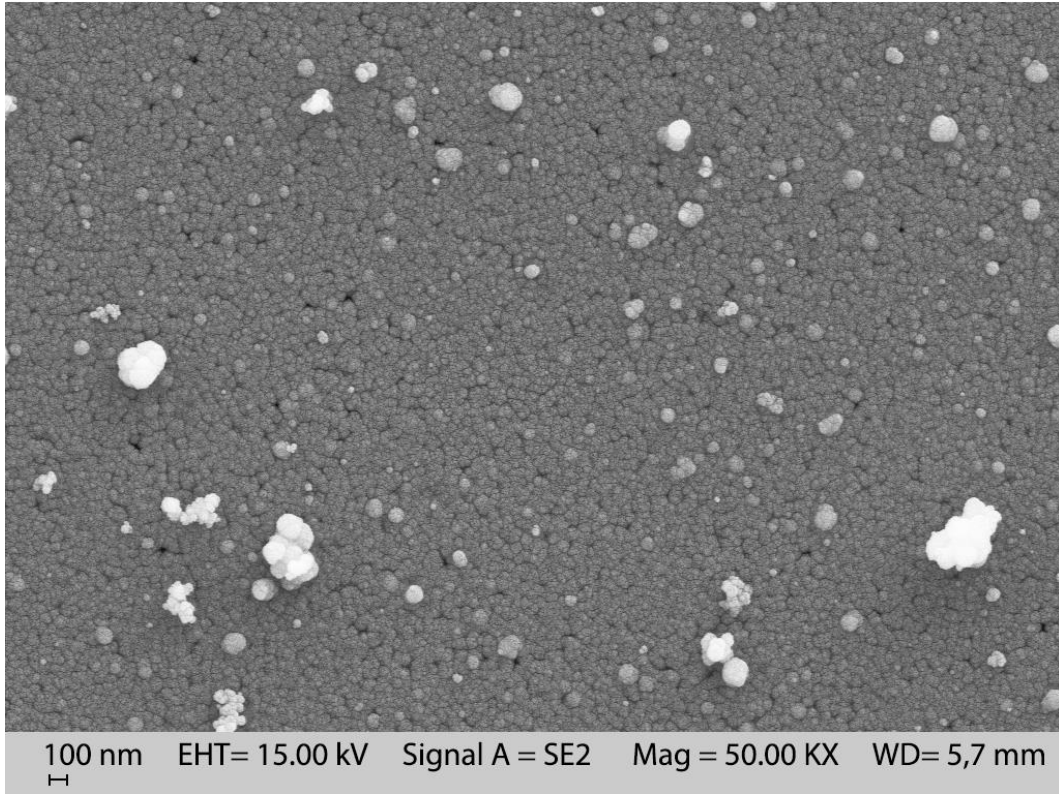




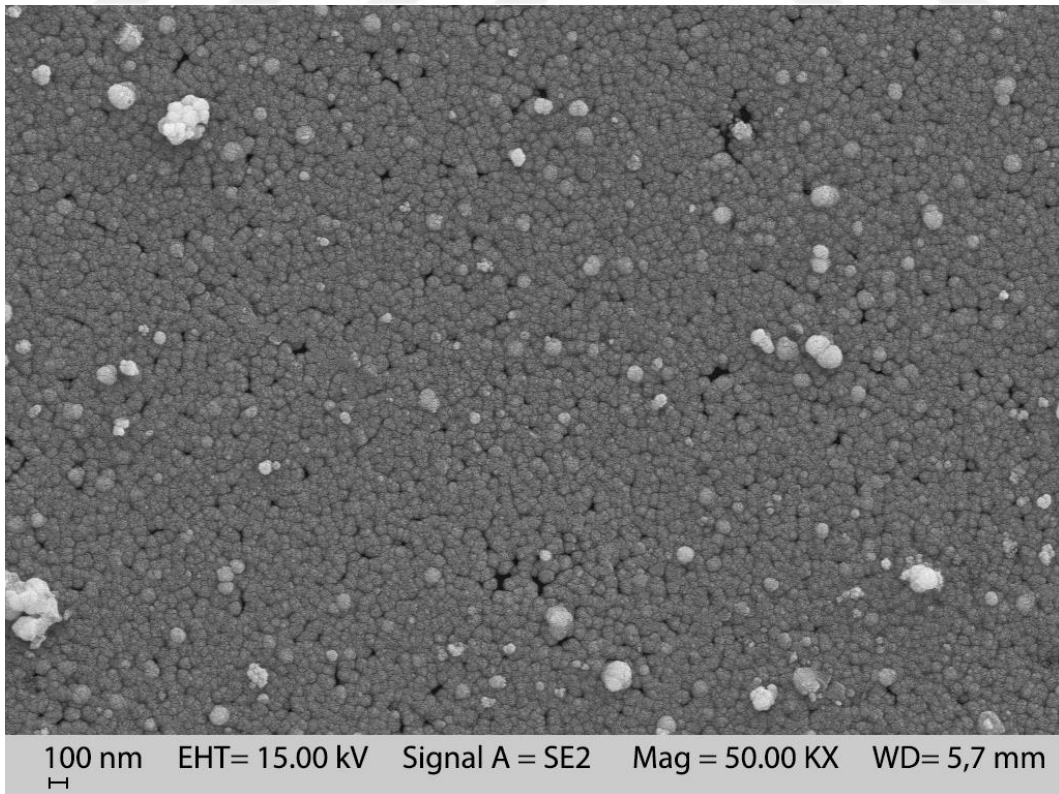
**Şekil 4.1.21.** SLG alttaban üzerine 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.1.22.** 100 °C'de tavllanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

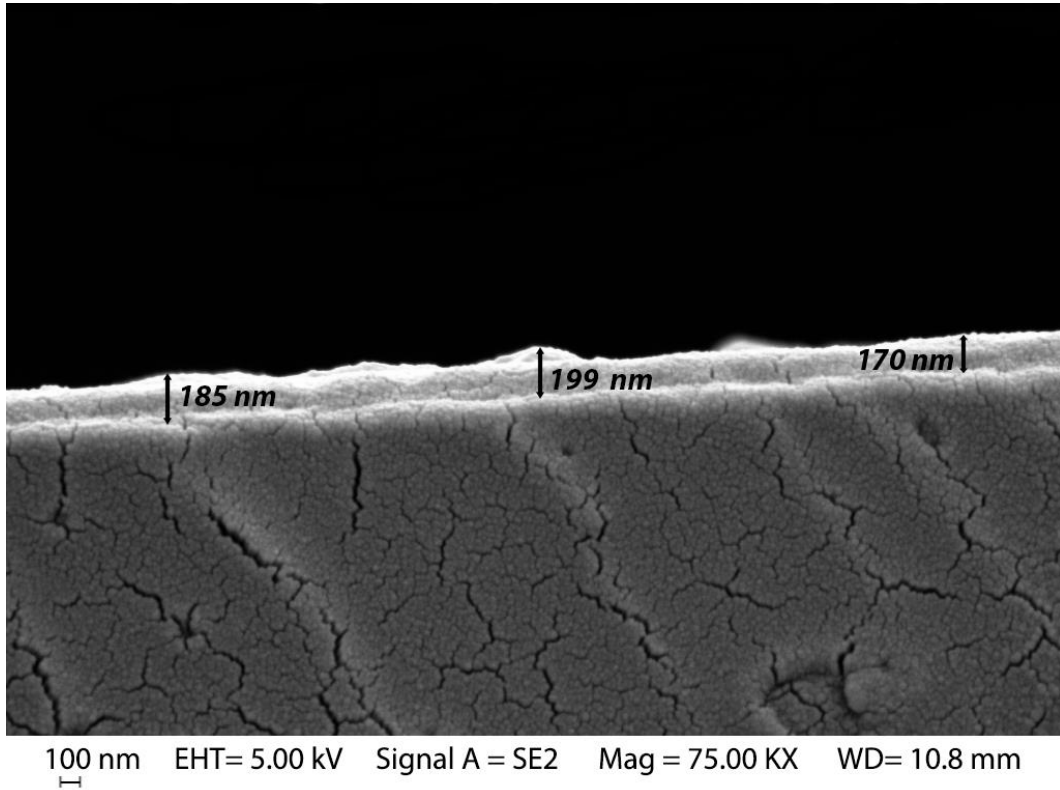


**Şekil 4.1.23.** 200 °C'de tavllanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.1.24.** 300 °C'de tavllanmış 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

Şekil 4.1.25., 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin kesit SEM görüntüsü göstermektedir. Bu kesit görüntüsü incelendiğinde 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin fiziksel kalınlığının yaklaşık olarak 170-199 nm aralığında bir değere sahip olduğu görülmektedir. Bu kalınlık değerinin, Şekil 4.1.9.'deki elde edilen 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filminin optik kalınlığı ile fiziksel kalınlık ölçümlerinin uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



**Şekil 4.1.25.** SLG alttaban üzerine 5 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin kesit SEM görüntüsü.

Tablo 4.1.2., farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerin EDX analiz sonuçlarını vermektedir. EDX verileri incelendiğinde CdS ince filmin farklı büyütme sürelerinde, Cd ve S oranı hemen hemen birbirine yakındır. Cd/S oranının 1'e yakın olması, Cd ve S atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir. CdS ince filminin farklı tavlama sıcaklıklarında da Cd/S oranı aynı sonuçları vermiştir. Bu sonuç, aynı zamanda CdS ince filmlerinin 300 °C'ye kadar tavlama sıcaklığının yapının içeriğini değiştirmedikçe göstermektedir. Yapılan tavlama işlemlerinde 300 °C'den yüksek sıcaklıklarda sülfür atomunun buharlaştığı ve CdS yapısının bozulduğu görülmüştür [14]. Bu yüzden CdS ince filmi için yüksek sıcaklıklarda tavlama işlemi yapılmamıştır.

**Tablo 4.1.2.** Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları.

CdS ince film büyütme süresi ve tavlama sıcaklığı	Kadmiyum (Cd) (at. %)	Sülfür (S) (at. %)	Cd/S Oranı
1 saat	52,4	47,6	1,10
2 saat	48,3	51,7	0,93
3 saat	51,5	48,5	1,06
4 saat	51,0	49,0	1,04
4 saat-100 °C	50,3	49,7	1,01
4 saat-200 °C	50,9	49,1	1,03
4 saat-300 °C	50,8	49,2	1,03
5 saat	51,5	48,5	1,06

Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerinin elektriksel özellikleri oda sıcaklığında Hall Etkisi ölçüm sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu sistemle filmlerin taşıyıcı yoğunluğu, mobilitesi, öz direnci ve taşıyıcı tipi belirlenmiştir. Hall etkisi ölçümleri Van der Pauw geometrisi ile gerçekleştirilmiştir. Kare şeklinde kesilmiş CdS filmlerinin 4 köşesine indiyum metali lehimleyerek ohmik kontaklar elde edilmiştir. Ölçüm sırasında uygulanan manyetik alan 0,54 Tesla ve uygulanan akımların tipik değeri 1 mA'dir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için her bir numune ölçümü üç defa tekrarlanmıştır.

Tablo 4.1.3., farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerinin elektriksel özelliklerini veren Hall Etkisi ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Oda koşullarında alınan ölçümler sonucunda bütün büyütme süreleri ve tavlama sıcaklıklarındaki CdS ince filmlerinin elektriksel direnci, yarıiletkenlerin karakteristik elektrik direnci ile uyumlu,  $\sim 10^5 \Omega$  cm mertebesinde bulunmuştur [14]. Ayrıca bu ölçümlerle, sentezlenen CdS ince filmlerin tamamının n-tipi yarıiletken özellik gösterdikleri belirlenmiştir.

**Tablo 4.1.3.** Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS yarıiletken ince filmlerin Hall etkisi sonuçları.

CdS ince film büyütme süresi ve tavlama sıcaklığı	Taşıyıcı yoğunluğu (cm <sup>-3</sup> )	Mobilite (cm <sup>2</sup> /Vs)	Özdirenç (Ω cm)	Taşıyıcı tipi
1 saat	2,60 x 10 <sup>11</sup>	5,70 x 10 <sup>1</sup>	4,19 x 10 <sup>5</sup>	n
2 saat	5,39 x 10 <sup>11</sup>	2,12 x 10 <sup>1</sup>	5,45 x 10 <sup>5</sup>	n
3 saat	2,27 x 10 <sup>11</sup>	7,00 x 10 <sup>1</sup>	3,92 x 10 <sup>5</sup>	n
4 saat	2,87 x 10 <sup>11</sup>	5,12 x 10 <sup>1</sup>	4,23 x 10 <sup>5</sup>	n
4 saat-100 °C	1,08 x 10 <sup>12</sup>	1,43 x 10 <sup>1</sup>	4,02 x 10 <sup>5</sup>	n
4 saat-200 °C	3,62 x 10 <sup>11</sup>	7,41 x 10 <sup>1</sup>	2,32 x 10 <sup>5</sup>	n
4 saat-300 °C	3,52 x 10 <sup>11</sup>	3,97 x 10 <sup>1</sup>	4,45 x 10 <sup>5</sup>	n

Tavlama sıcaklığının artması ile ince filmlerin elektriksel özelliklerinde önemli değişimler olmamıştır. Benzer sonuçlar önceki çalışmalarda da elde edilmiştir[14].

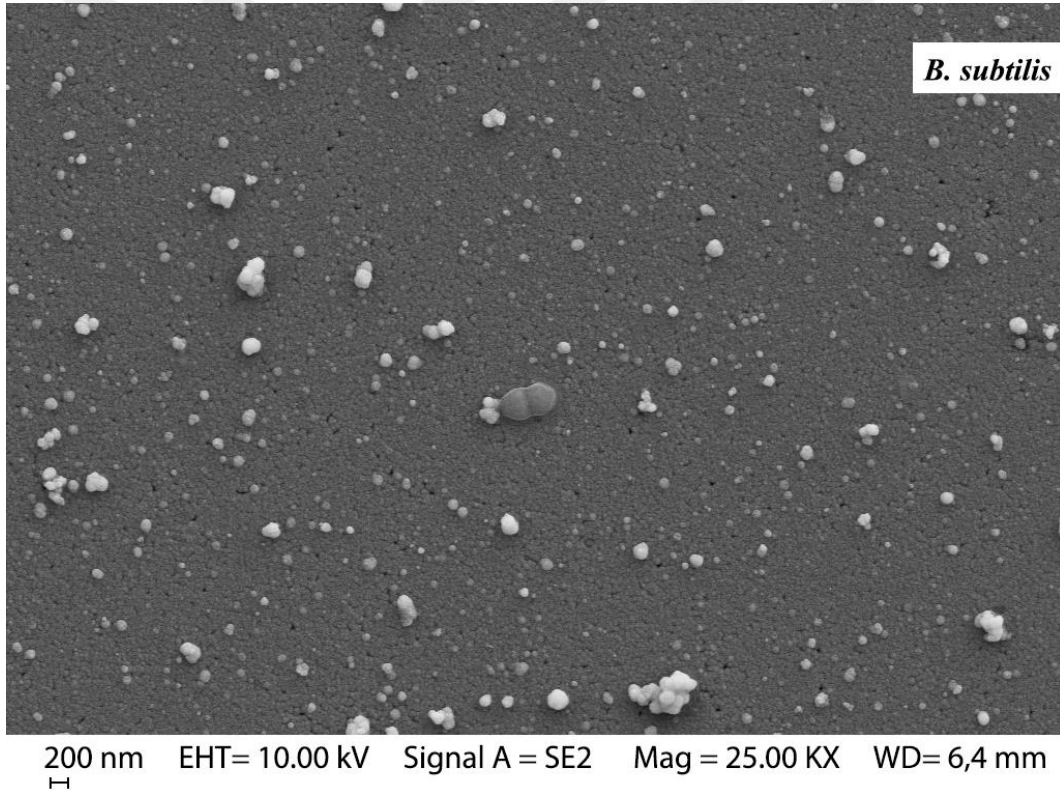
#### 4.1.1. Bakterilerin CdS İnce Filmleri Üzerine Etkisi

Mikroorganizmalar hava, toprak, nehir, deniz ve okyanus gibi farklı ortamlarda yaygındır ve biyolojik ya da biyolojik olmayan yüzeylerle etkileşime girerler, yüzeylere yapışır ve kolonize olurlar. Bu nedenle, birçok mikroorganizma, özellikle de biyofilm oluşum yeteneğine sahip olan birçok mikroorganizma, metaller ve ince filmler gibi kuru yüzeylerde biyofilm oluşumlarına neden olur [66]. Biyofilm oluşumu, malzeme ile biyofilm ara yüzeylerinde korozyona neden olarak malzeme yüzeyine zarar verir [67]. Bununla birlikte, birçok inorganik bileşik, mikroorganizmalara karşı güçlü bir direnç gösterebilir, örneğin D. Thomas ve arkadaşları [68], saf ve kadmiyum katkılı çinko oksit ince filmlerin antibakteriyel aktivitesini incelemiştir. H J. Jeon ve arkadaşları [69], gümüş katkılı silika ince filmlerin, antibakteriyel etkisini çalışmış ve *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı gümüş katkılı silika ince filmlerin mükemmel antibakteriyel performansı sergilediğini göstermişlerdir. Ayrıca CdS ince filmlerin Gram-pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel özellikleri de araştırılmıştır [70].

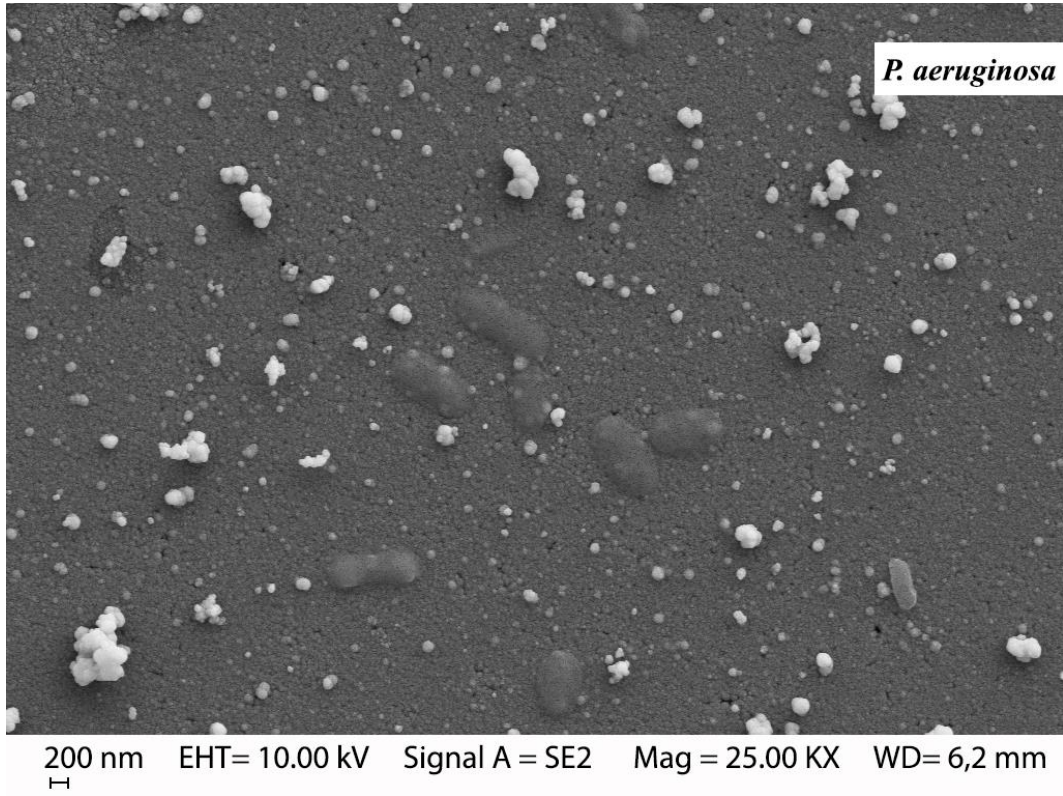
Mikroorganizmaların bu özelliklerinden dolayı, kimyasal banyo yöntemi ile elde edilen 4 saatlik CdS ince filmlerinin bir seti, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* gibi bakteriler ile inkübe edilmiştir. Ardından, film yüzeyleri

üzerindeki bakterilerin yapışması ve kolonizasyonu incelenmiştir. Bu bakterilerle etkileşen ve etkileşmeyen CdS ince filmlerin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri karşılaştırılmıştır [71]. Ayrıca CdS ince film üretimi için kullanılan CdS nano-parçacıklarının antimikrobakteriyel etkisi de belirlenmiştir.

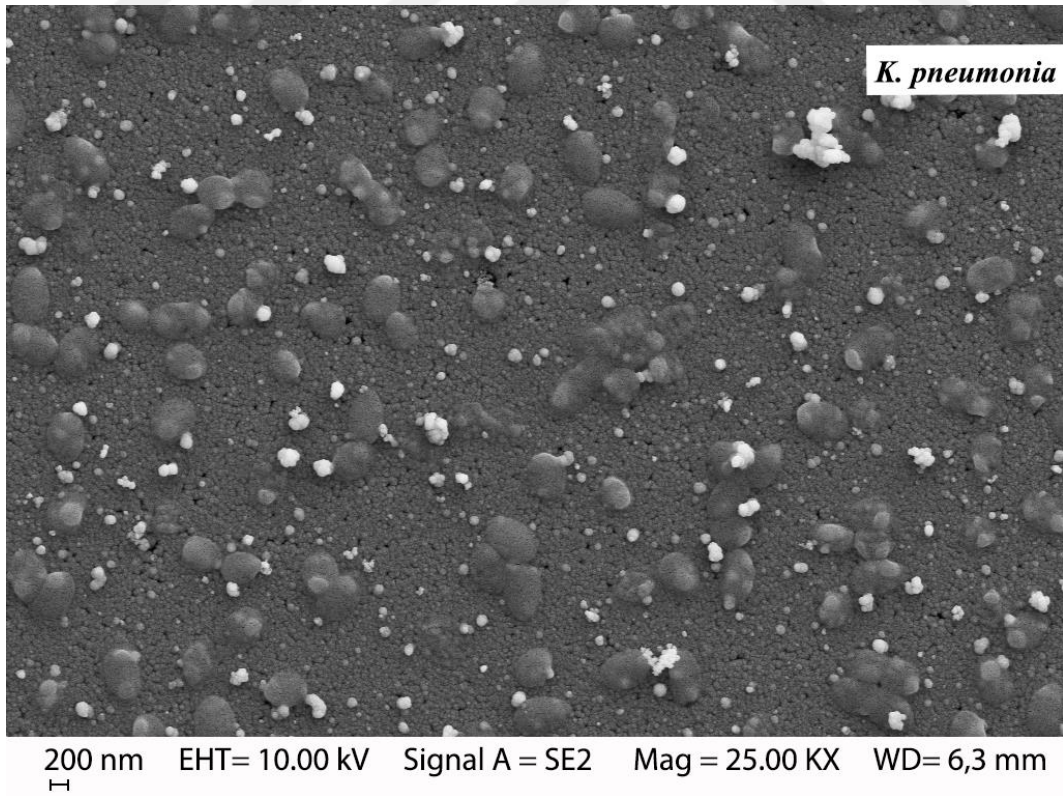
Şekil 4.1.1.1 ile Şekil 4.1.1.4 arasındaki SEM görüntüleri *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri ile etkileşime giren ve girmeyen CdS ince filmlerinin yüzey görüntülerini vermektedir. CdS ince film yüzeyi, *B. subtilis* ve *P. aeruginosa* bakterilerine karşı iyi direnç gösterirken *K. pneumonia* ve *S. aureus* bakterilerine karşı direnç gösterememiş ve film yüzeyi üzerinde biyofilm oluşturmaya başladıkları gözlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda bakterilerle etkileşime giren CdS ince filmlerin bant aralığında bir değişim olmadığı (2,42 eV), ayrıca filmlerin kristal yapısı ve elektriksel özelliklerinin bakteriyel yapışmadan etkilenmediği tespit edilmiştir.



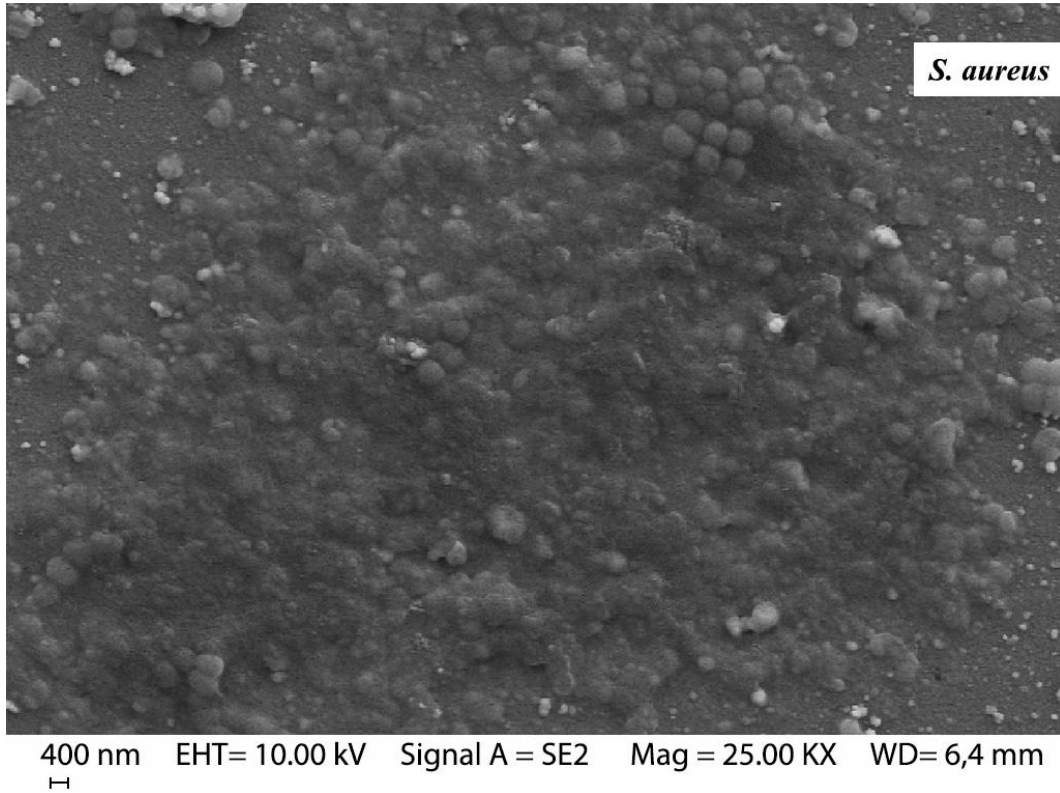
**Şekil 4.1.1.1.** *Bacillus subtilis* bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü.



Şekil 4.1.1.2. *Pseudomonas aeruginosa* bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü.

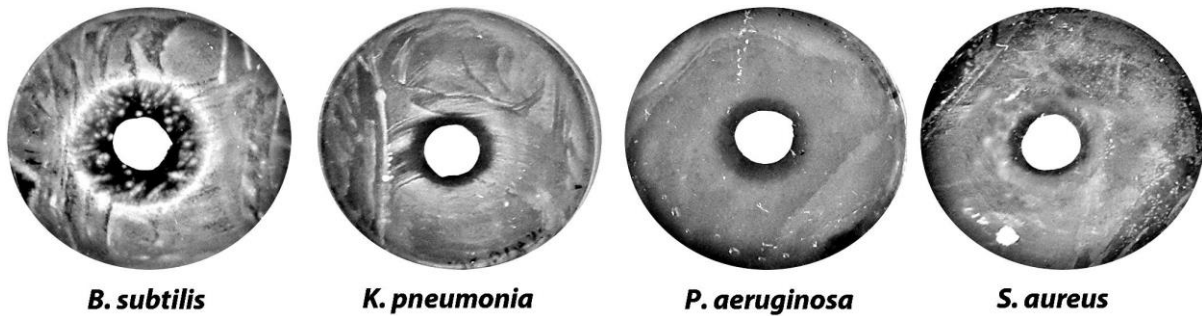


Şekil 4.1.1.3. *Klebsiella pneumoniae* bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.1.1.4.** *Staphylococcus aureus* bakterisi ile etkileşime sokulan CdS ince filmin SEM görüntüsü.

Şekil 4.1.1.5., disk difüzyon yöntemi kullanılarak *B. subtilis*, *K. pneumonia*, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* bakterilerine karşı CdS nano-parçacıklarının antimikrobakteriyel etkisini göstermektedir. CdS nano-parçacıklarının *B. subtilis*'e karşı daha yüksek antimikrobakteriyel etki sergilediğini, *S. aureus*'a karşı daha düşük antimikrobakteriyel etki sergilediğini göstermiştir [71].



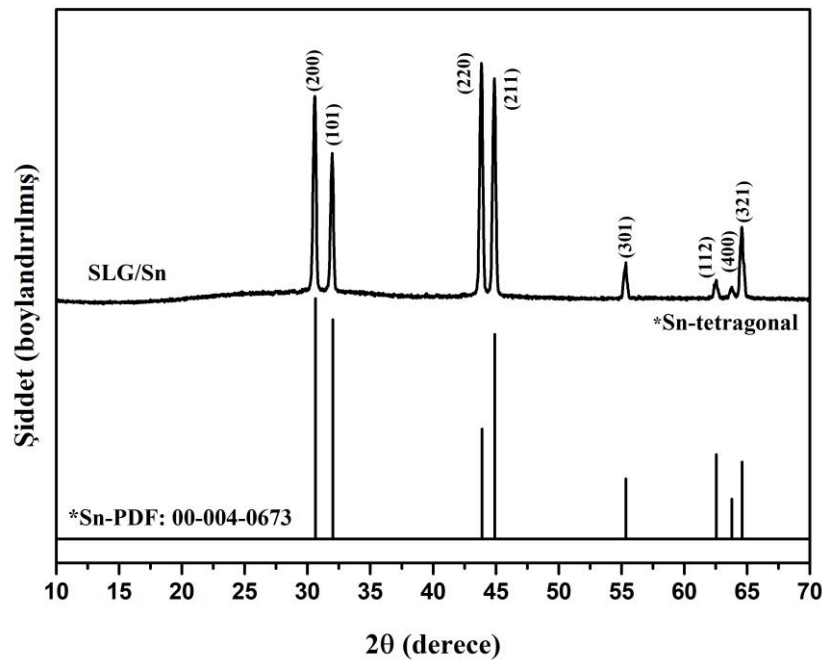
**Şekil 4.1.1.5.** *B. subtilis*, *K. pneumonia*, *P. aeruginosa* ve *S. aureus* bakterilerine karşı CdS nano-parçacıklarının antimikrobakteriyel etkisi.



#### 4.2. SLG Alttaban üzerine büyütülmüş SnS Yarıiletken İnce Film Karakterizasyonu

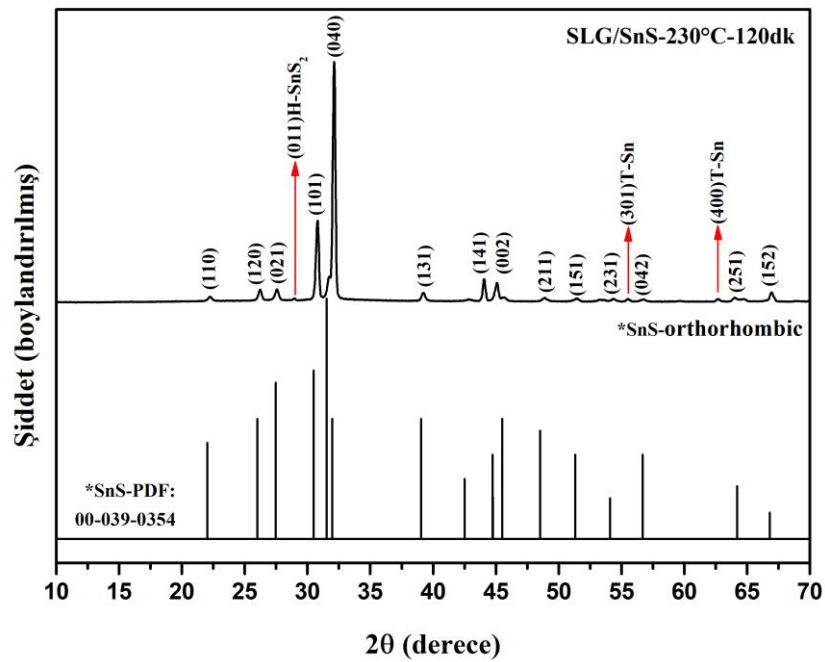
SnS ince film tabanlı güneş pili için yapılan birçok çalışmada verimin oldukça düşük değerlerde kaldığı tespit edilmiş, bunun sebebinin ise SnS ince filmi üretim aşamalarından kaynaklanan sorunlardan dolayı ortaya çıkan ikincil fazların ( $\text{SnS}_2$ ,  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  vb.) en önemli etken olduğu anlaşılmıştır [9, 16-18, 20-22, 24, 25, 28-32]. Bu nedenle araştırmacılar, SnS ince filmi içinde meydana gelen bu ikincil fazların oluşmaması için farklı yöntemler denemeye başlamış ve özellikle son yıllarda iki aşamalı üretim teknikleri üzerinde çalışmaya başlamışlardır [33-36]. Bu sebepten dolayı, bu çalışmada SnS ince filmi üretmek için RF magnetron kopartma sistemi ve sülfürleme sistemi kullanılmıştır.

SnS yarıiletken ince film için öncelikle, RF magnetron kopartma sistemi 40 Watt-20 mTorr-60dk değerlerine getirilerek, metalik Sn ince filmin SLG alttaban üzerine depolanması sağlanmıştır. Daha sonra sülfürleme vakum sistemi kullanılarak SLG/Sn ince filmi farklı sıcaklıklarda ve sürelerde sülfürleme işlemine tabi tutularak, SLG/SnS yarıiletken ince film elde edilmiştir. Elde edilen SnS ince filmlerinin tek faza sahip olup olmadığı, yapı içerisinde değişmeden kalan metalik Sn atomlarının ya da  $\text{SnS}_2$  gibi ikincil fazların oluşup oluşmadığını anlamak için öncelikle SnS ince filmlerinin XRD sonuçları incelenmiştir. Şekil 4.2.1. Sn metalik ince filmin XRD sonucunu göstermektedir. Sn metalik ince filmin XRD desen indislemesi için 00-004-0673 numaralı standart pdf kartı kullanılmış ve Sn atomlarının tetragonal (T) kristal yapıda ve farklı yönelimlere sahip olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 4.2.1. Sn metalik ince filmin XRD deseni.

Sn metalik ince filmin XRD deseni incelendiğinde Sn kristal piklerinin oldukça belirgin olduğu, buna bağlı olarak düzgün bir Sn kristal yapısının oluştuğu söylenebilir. Ayrıca, Denklem 8 kullanılarak, metalik Sn ince filmin tanecik büyüklüğü, en belirgin pik olan (220)T kristal piki için 30 nm değerinde bulunmuştur. Şekil 4.2.2. ile Şekil 4.2.8. arasındaki tüm grafikler SLG/Sn ince filmin farklı sıcaklıklarda ve sürelerde sülfürleme işlemine tabi tutularak, elde edilen SLG/SnS yarıiletken ince filmlerinin XRD sonuçlarını göstermektedir. SnS ince filmin XRD desen indislemesi için 00-039-0354 numaralı standart pdf kartı kullanılmış ve SnS atomlarının ortorombik (O) kristal yapıda ve farklı yönelimlere sahip olduğu anlaşılmıştır. Şekil 4.2.2., 230 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin X-ışını kırınım grafiği göstermektedir. XRD deseni incelendiğinde yapı içerisinde hem metalik Sn atomu hem de SnS<sub>2</sub> gibi ikinci bir fazın olduğu görülmektedir. Metalik Sn fazının yapı içerisinde bulunması sülfürleme sıcaklığının ya da süresinin yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, SnS ince filmin, sülfürleme sıcaklığı ilk olarak arttırılmış ve 240 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilmiştir.

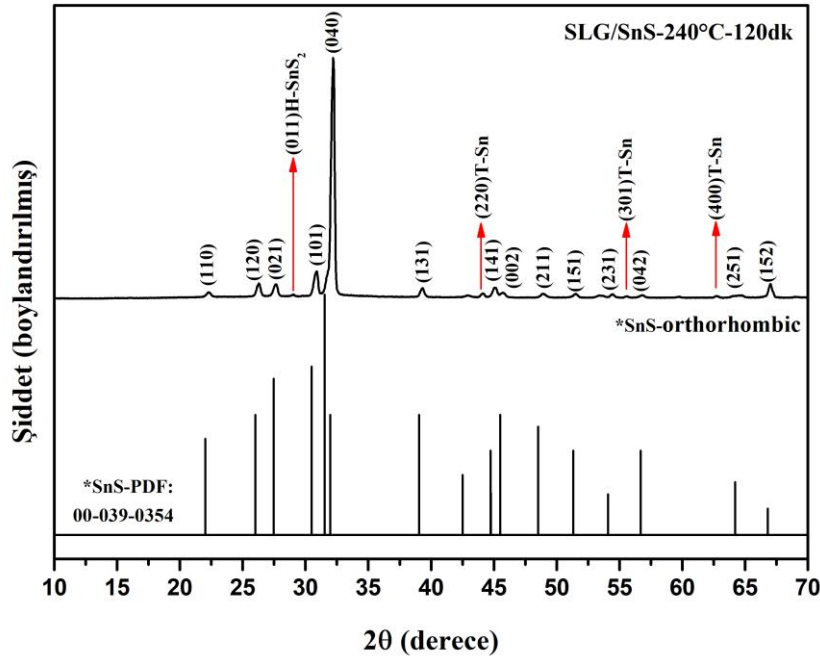


Şekil 4.2.2. 230 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.

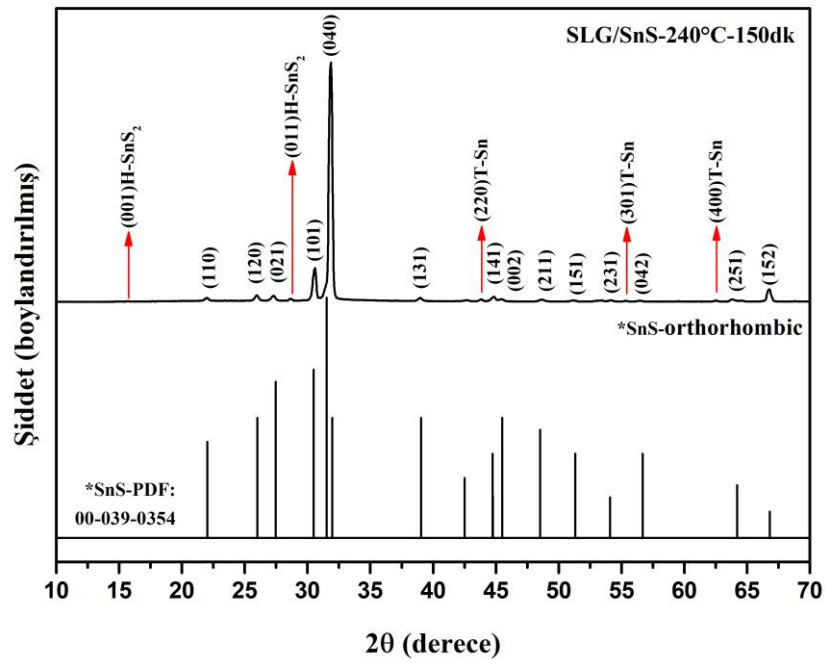
Şekil 4.2.3.'de XRD deseni incelendiğinde yapı içerisinde hala Metalik Sn fazının bulunduğu tespit edilmiş, aynı sıcaklıkta sülfürleme süresi 150 dk'ya çıkarılmıştır. Şekil 4.2.4.'deki XRD deseni incelendiğinde yapı içerisinde hala Metalik Sn fazının bulunduğu tespit

edilmiş, sülfürleme sıcaklığının yetersiz olmasından dolayı sülfürleme sıcaklığı 10 °C daha arttırılmıştır. Şekil 4.2.5.'deki XRD deseni incelendiğinde yapı içerisinde hala Metalik Sn fazının bulunduğu buna karşın bu pik şiddetlerinde azalma meydana geldiği görülmüş, 250 °C sıcaklıkta, sülfürleme süresi 150 dk'ya çıkarılmıştır. Şekil 4.2.6., 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD grafiğini göstermektedir. XRD deseni incelendiğinde yapı içerisinde Metalik Sn fazlarının yok olduğu buna karşın oldukça düşük pik şiddetlerinde SnS<sub>2</sub> ikincil fazların oluştuğu tespit edilmiştir. Şekil 4.2.7. 250 °C'de 180 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin ve Şekil 4.2.8. 250 °C'de 210 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD grafiklerini göstermektedir. SnS ince filmin 180 dk ve 210 dk sülfürleme sürelerindeki XRD desenleri incelendiğinde her iki durumda da Metalik Sn fazlarının görünmediği buna karşın SnS<sub>2</sub> gibi ikinci bir fazın pik şiddetlerini küçük artışların olduğu tespit edilmiştir. Bu XRD deseni sonuçlarından, SLG alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için 250 °C'de sülfürleme sıcaklığının oldukça uygun bir sıcaklık olduğu anlaşılmıştır.

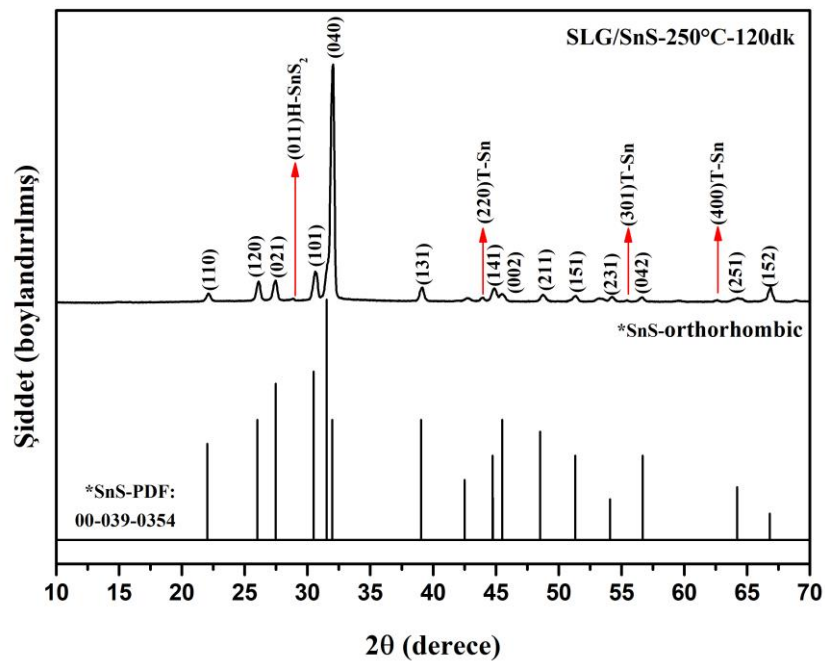
Elde edilen tüm XRD sonuçları, literatür ile karşılaştırıldığında oldukça iyi kristal yapıya sahip olduğu anlaşılmış ve ikincil fazların oldukça az olduğu ve pik şiddetlerinin en az seviyede olduğu anlaşılmıştır [16, 22, 33, 35, 72]. Örneğin, S. H. Chaki ve arkadaşları [72], üç farklı yöntem kullanarak SLG alttaban üzerine elde ettikleri SnS ince filmleri için yapı içerisinde oldukça fazla SnS<sub>2</sub> ve Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ikincil fazlarını gözlemlemişlerdir.



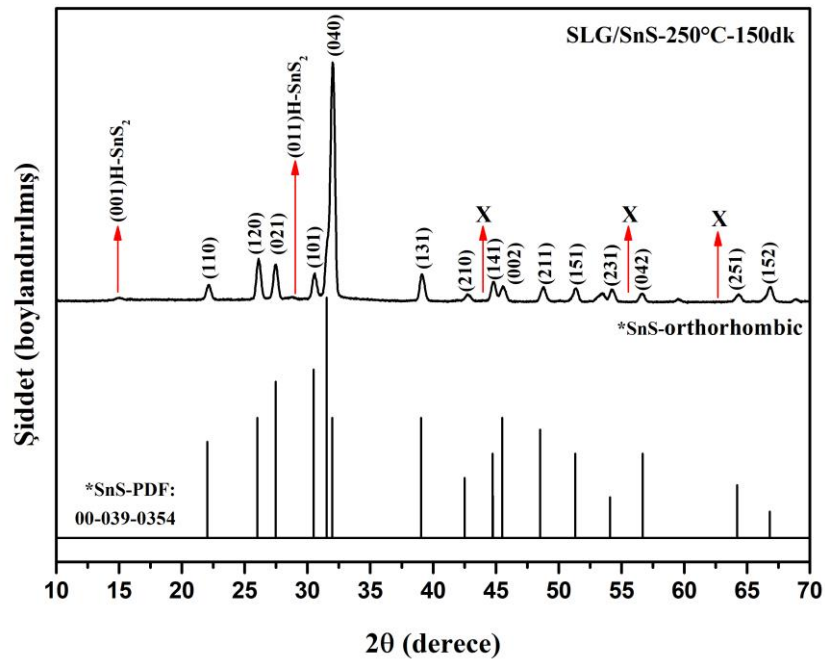
Şekil 4.2.3. 240 °C'de 120 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.



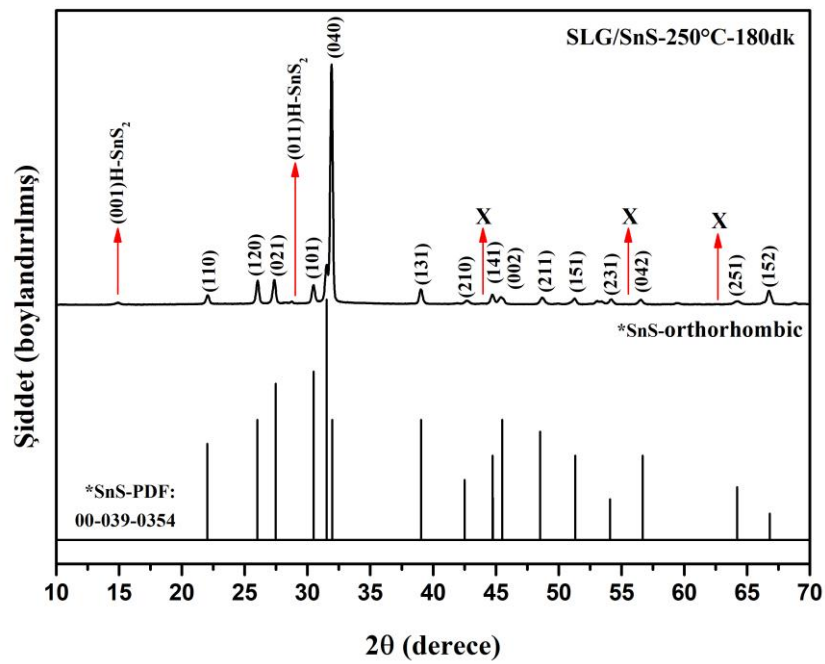
Şekil 4.2.4. 240 °C'de 150 dk süfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.



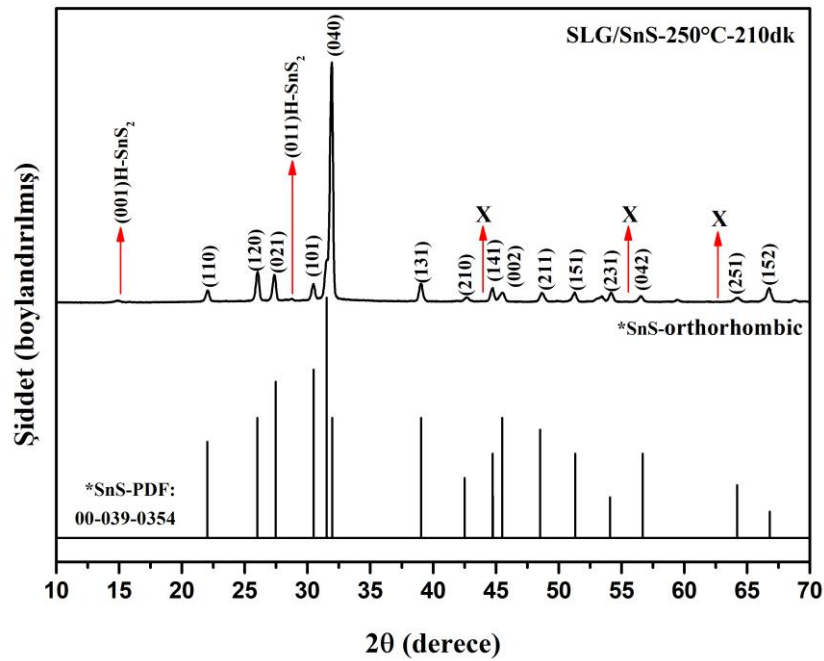
Şekil 4.2.5. 250 °C'de 120 dk süfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.



Şekil 4.2.6. 250 °C'de 150 dk süförlöme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.

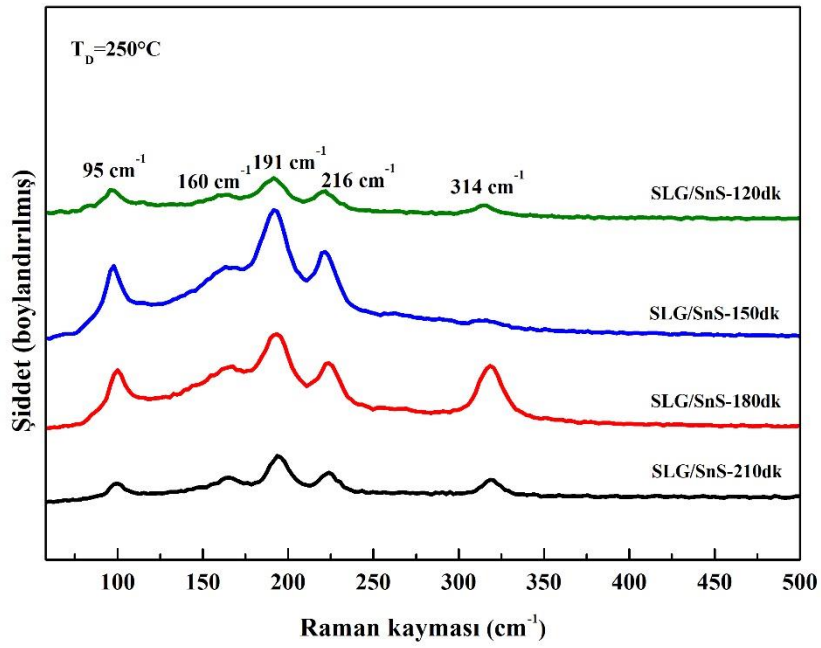


Şekil 4.2.7. 250 °C'de 180 dk süförlöme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.

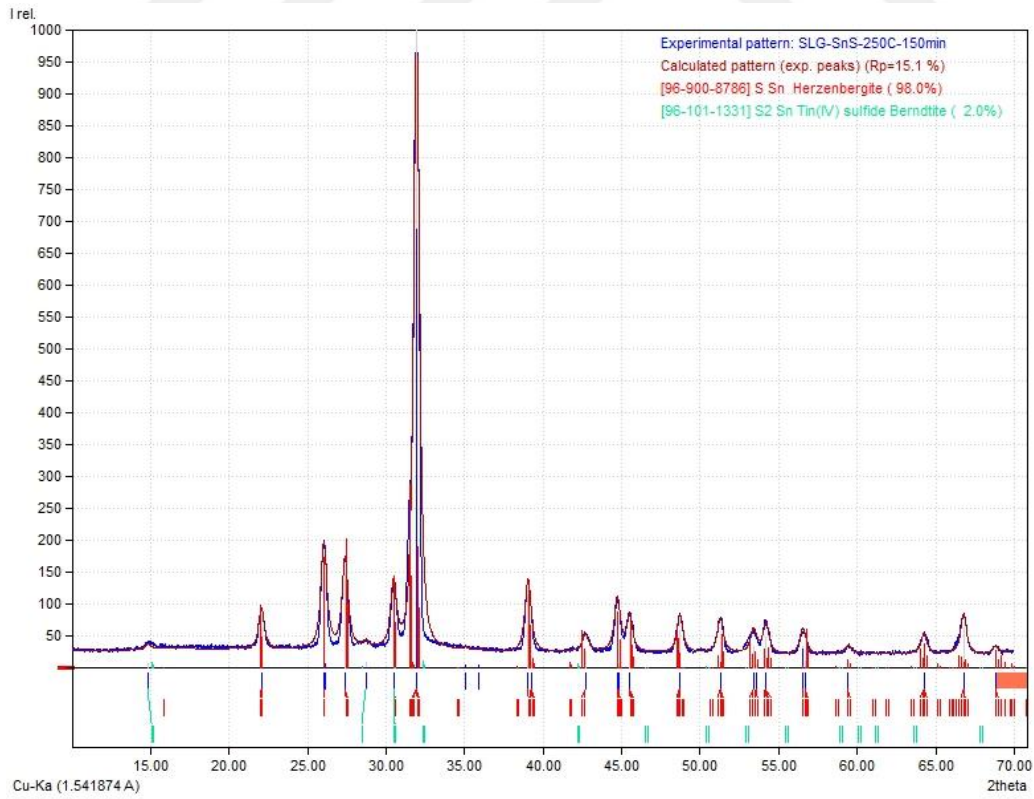


**Şekil 4.2.8.** 250 °C'de 210 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD deseni.

Şekil 4.2.9., farklı sürelerde 250 °C sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmlerinin Raman spektrumu grafiğini göstermektedir. SnS ince filmlerinin Raman spektrumu, oda sıcaklığında 40 mW güçte 532 nm dalga boyunda Nd-YAG lazer ışığına sahip UniRam MicroRaman mikroskobu kullanılarak alınmıştır. Raman spektrumundaki, 95  $\text{cm}^{-1}$ , 160  $\text{cm}^{-1}$ , 191  $\text{cm}^{-1}$  ve 216  $\text{cm}^{-1}$  modlarına ait pikler SnS bileşiğine ait pikleri temsil ederken, 314  $\text{cm}^{-1}$  moduna ait pik ise  $\text{SnS}_2$  bileşiğine ait piki temsil etmektedir [64]. 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilmiş SnS ince filmin Raman spektrumu incelendiğinde 314  $\text{cm}^{-1}$  moduna ait pik  $\text{SnS}_2$  bileşiğine ait pikin hemen hemen yok olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında tek fazlı SnS ince filmine sahip en yakın değerler olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, bu sonuç ile XRD verilerini hesaplayan Match! yazılım programı kullanılarak 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin XRD elemental analizi karşılaştırılmıştır. Şekil 4.2.10. XRD analiz grafiği incelendiğinde yapı içerisinde % 98 tek fazlı SnS atomunun % 2  $\text{SnS}_2$  ikincil faza sahip atomun olduğu görülmektedir. Bu değerler de kabul edilebilir değerler olarak alınabilir. Tablo 4.2.1., SnS ince filmlerinin en belirgin piki olan (040)O piki kullanılarak elde edilen yapısal özelliklerini göstermektedir. 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin kristal tanecik büyüklüğü 23 nm iken, aynı sıcaklıkta farklı sürelerde sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmlerinin kristal tanecik büyüklükleri 34-39 nm aralığında değerlere sahiptir.



Şekil 4.2.9. Farklı sürelerde 250 °C sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin Raman spektrumu.



Şekil 4.2.10. 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin X-ışını kırınımının elemental analiz grafiği.

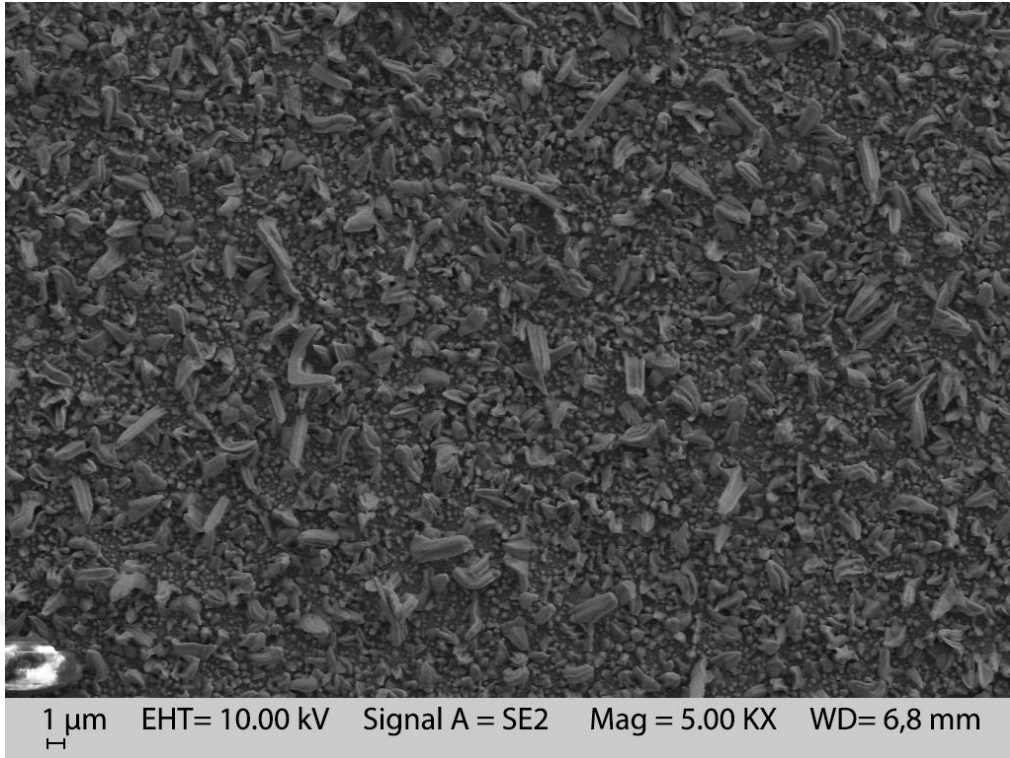
**Tablo 4.2.1.** SnS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri.

SLG/SnS sülfürleme sıcaklığı ve süresi	FWHM $\beta$ (rad) ( $10^{-2}$ )	Kristal büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu ( $10^{15}$ çizgi/m <sup>2</sup> )	Kristallerin sayısı/birim yüzey alan ( $10^{17}$ m <sup>-2</sup> )	Örgü gerinimi ( $10^{-4}$ )
250 °C-120dk	0,40	36	0,78	0,22	9,69
250 °C-150dk	0,62	23	1,89	0,78	15,12
250 °C-180dk	0,37	39	0,63	0,16	8,73
250 °C-210dk	0,43	34	0,87	0,28	10,24

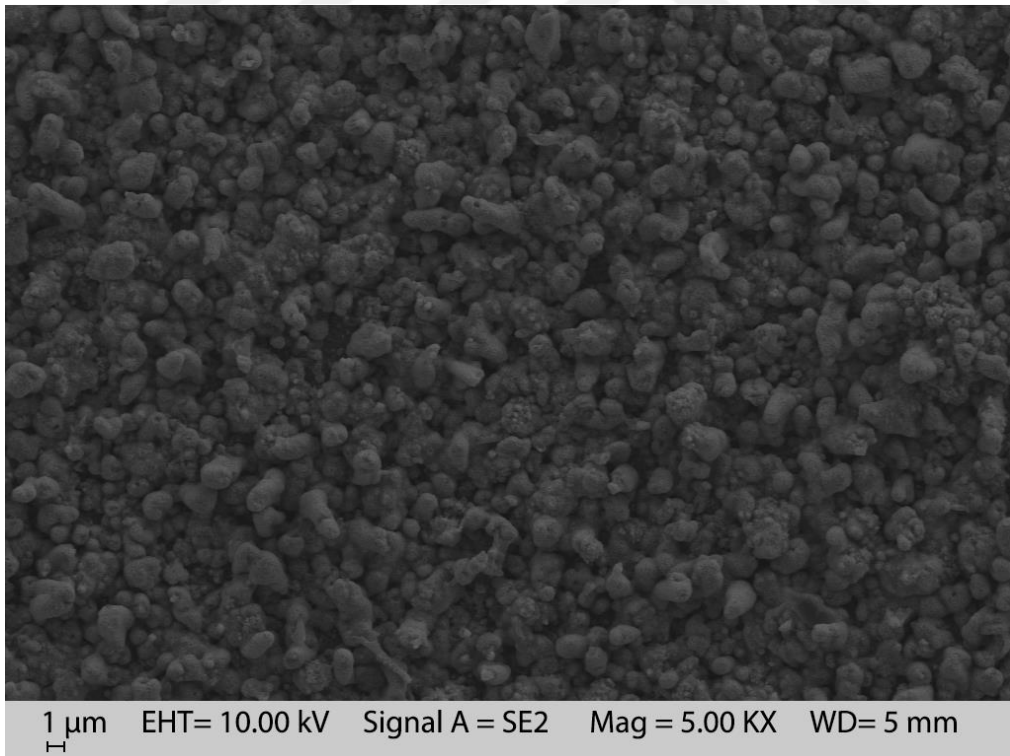
Ayrıca, 250 °C ve 150 dk sülfürleme şartları için SLG üzerine büyütülen SnS ince filmlerinin örgü parametreleri hesaplanmış ve  $a=4,318$  Å,  $b=11,229$  Å ve  $c=3,996$  Å biçiminde bulunmuştur. Bu değerler, literatür ( $a=4,329$  Å,  $b=11,192$  Å,  $c=3,983$  Å) ile karşılaştırıldığında oldukça uyumlu değerler olduğu anlaşılmıştır [64].

Şekil 4.2.11. ile Şekil 4.1.15. arasındaki tüm resimler metalik Sn ince filmin ve SnS ince filmlerinin SEM görüntülerini göstermektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde metalik Sn ince filmin ve SnS ince filmlerinin SLG alttaban üzerinde herhangi bir boşluk kalmayacak biçimde kaplandığı görülmektedir. Ayrıca, SnS ince filmlerinin SLG alttaban üzerine küresel tanecik boyutlarında kaplandığı görülmektedir.

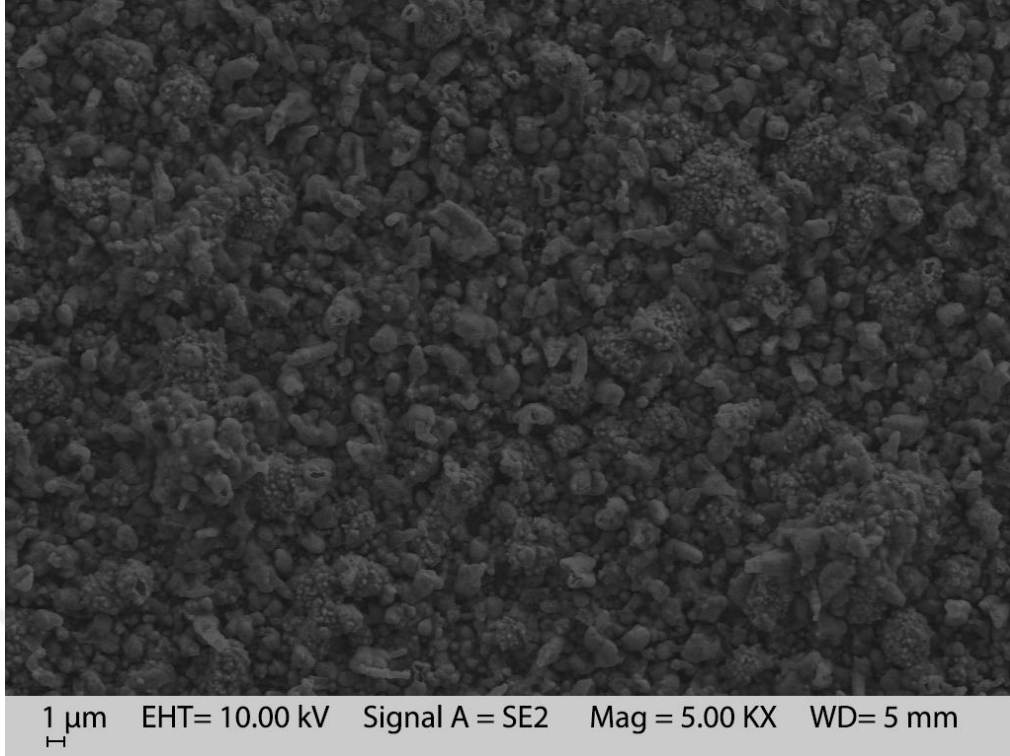




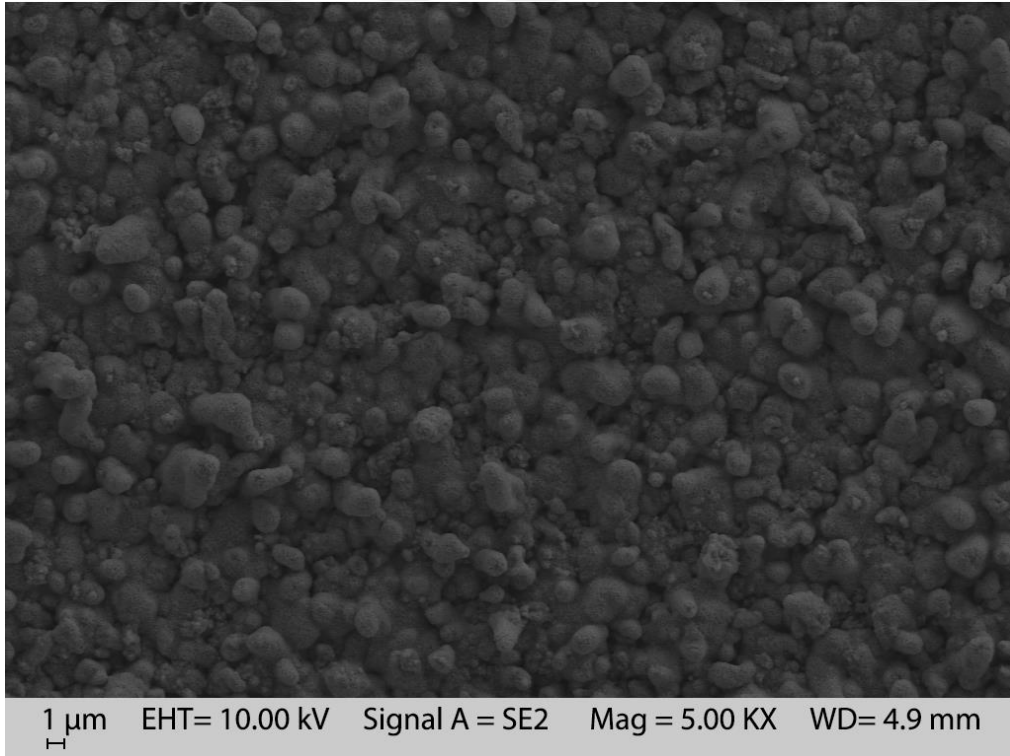
**Şekil 4.2.11.** SLG alttaban üzerine 40W-20mTorr-60dk şartlarında büyütülmüş metalik Sn ince filmin SEM görüntüsü.



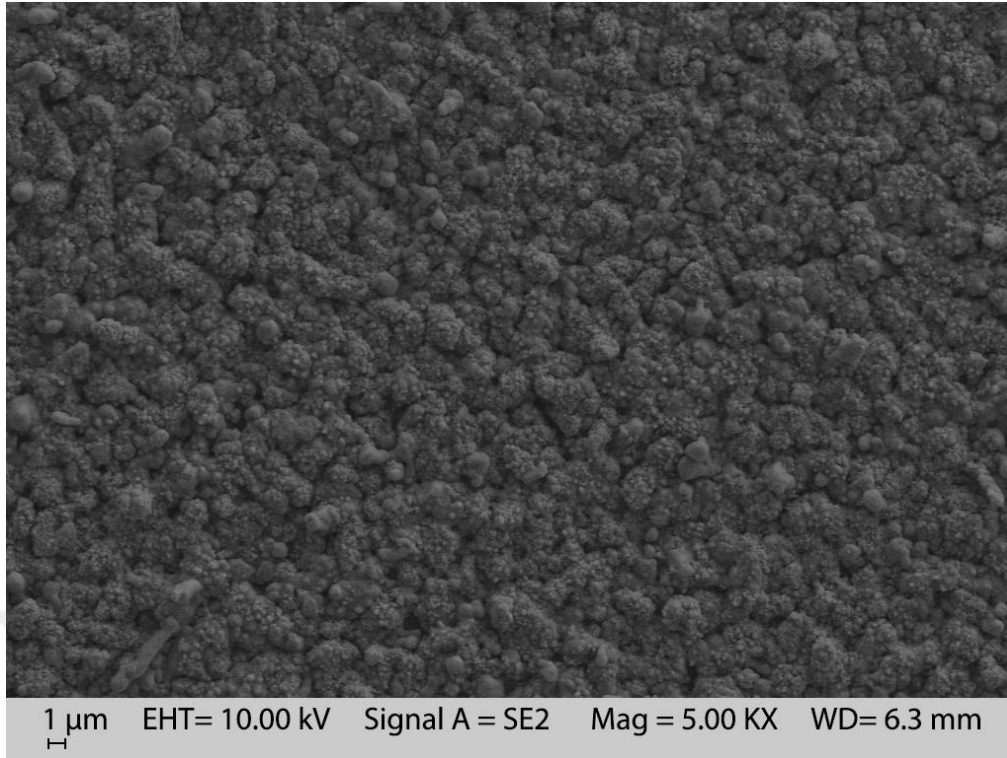
**Şekil 4.2.12.** SLG alttaban üzerine 250 °C, 120 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.2.13.** SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.2.14.** SLG alttaban üzerine 250 °C, 180 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.2.15.** SLG alttaban üzerine 250 °C, 210 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SEM görüntüsü.

Tablo 4.2.2., farklı sürelerde 250 °C sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmlerinin EDX analiz sonuçlarını vermektedir. EDX verileri incelendiğinde SnS ince filmin farklı sülfürleme sürelerinde, kalay ve sülfür oranı hemen hemen birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sn/S oranının bire yakın olması, kalay ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir. Bu sonuç, Şekil 4.2.16 ile 4.2.19. SLG alttaban üzerine büyütülmüş SnS ince filmin SIMS analizleri ile de kanıtlanabilir.

Herhangi bir malzemenin derinlik analizini ve elemental birleşim analizini anlamak için SIMS cihazı kullanılır. SIMS, herhangi bir malzemeye birkaç keV enerjili odaklanmış birincil iyon ışını ile bombardımana maruz bırakarak, malzemenin yüzeyinden yayılan ikincil iyonları analiz ederek katı yüzeyler hakkında derinlik analizi ve elemental bilgi elde edilmesini sağlayan çok hassas yüzey analitik tekniğidir. Tüm SIMS ölçümleri için cihaz 10 mbar başlangıç basıncında tutulmuştur. O<sub>2</sub> iyonlarının ilk bombardımanı 3850 eV güç ile başlatılmış ve O<sub>2</sub> iyonlarının birincil iyon akımı 0.4 µA değerinde yapılmıştır. İkincil iyonlar, 200 µm<sup>2</sup> merkez alanından toplanmıştır.

SIMS sonuçlarına bakıldığında, kalınlığa bağlı Sn, S ve SnS atomlarının varlığını ifade eden şiddet değerlerinin aynı biçimde azaldığı görülmektedir. SnS yarıiletken ince filmi için bu sonuç bize, yüzeyden başlayan ve SLG alttabana kadar doğru gidildikçe, kalay ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir. Ayrıca SIMS sonuçlarındaki kalınlığa karşı

şiddet dağılımı, Tablo 4.2.3.'de verilen SnS ince film için yaklaşık olarak kalınlık değerlerini elde etmemizi sağlar.

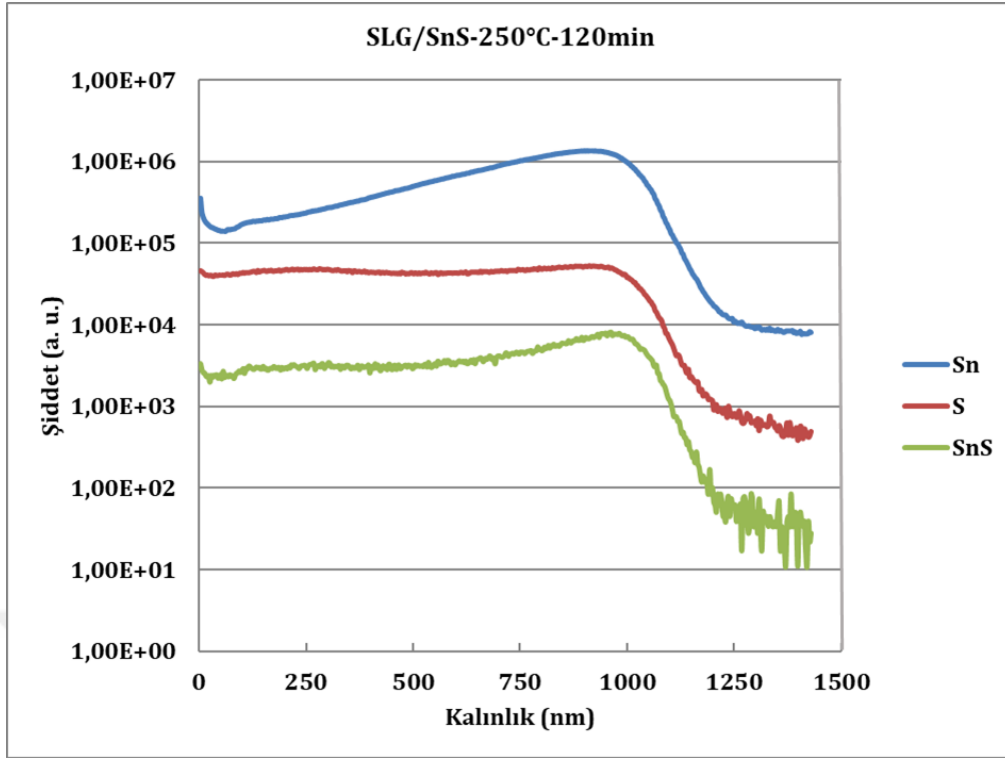
**Tablo 4.2.2.** SLG/SnS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları.

SLG/SnS sülfürleme sıcaklığı ve süresi	Kalay (Sn) (at. %)	Sülfür (S) (at. %)	Sn/S oran
250 °C-120dk	50,7	49,3	1,02
250 °C-150dk	48,5	51,5	0,94
250 °C-180dk	48,0	52,0	0,92
250 °C-210dk	49,2	50,8	0,97

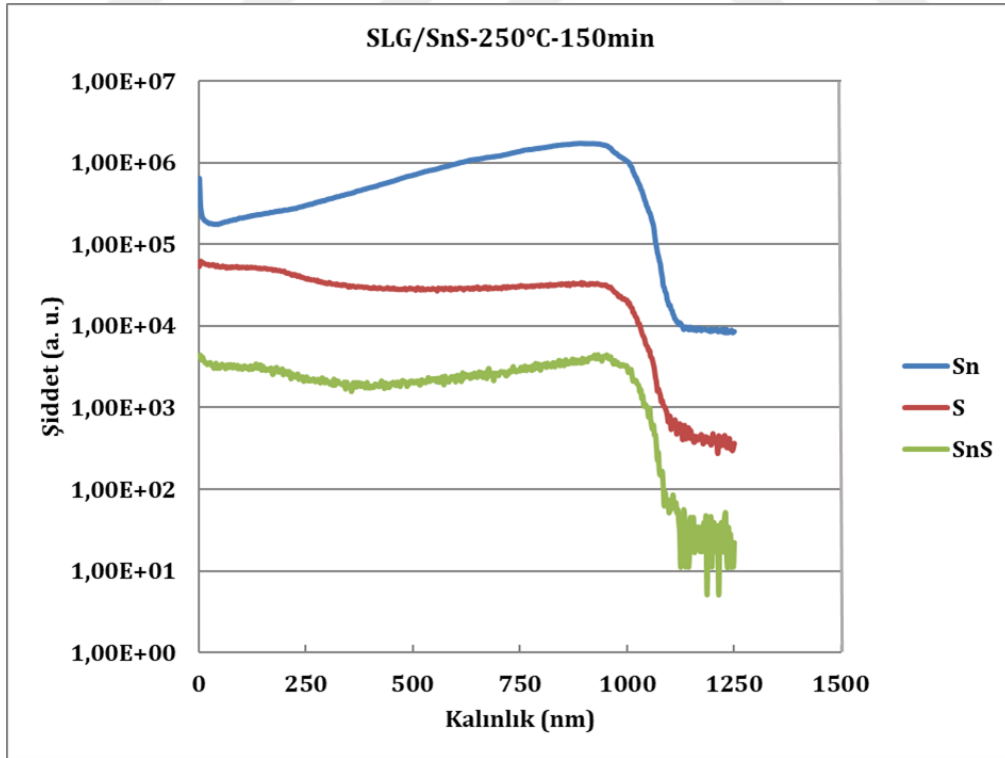
Tablo 4.2.4., SnS yarıiletken ince filmlerinin elektriksel özelliklerini veren Hall Etkisi ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Oda koşullarında alınan ölçümler sonucunda elde edilen SnS yarıiletken ince filmlerinin elektriksel direnci, yarıiletkenlerin karakteristik elektrik direnci ile uyumlu,  $\sim 10^1 \Omega \text{ cm}$  mertebesinde bulunmuştur. Filmlerin taşıyıcı yoğunluğu ise  $\sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  mertebesinde elde edilmiştir. Aynı zamanda elde edilen SnS yarıiletken ince filmlerin iletkenlik karakteristiği p-tipi biçiminde olduğu saptanmıştır. Elde edilen tüm elektriksel sonuçlar incelendiğinde literatürde elde edilmiş birçok sonuçtan oldukça iyi veriler olduğu görülmüştür [16, 30, 35, 72-73].

**Tablo 4.2.3.** SLG/SnS yarıiletken ince filmlerin kalınlıkları.

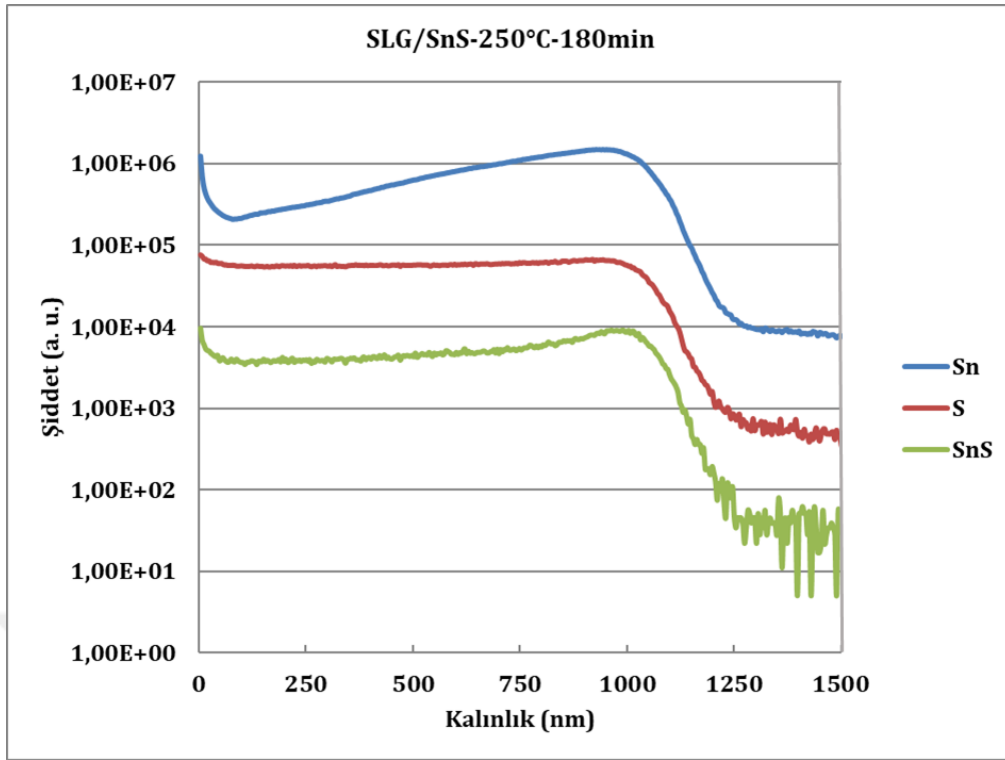
SLG/SnS sülfürleme sıcaklığı ve süresi	250 °C-120dk	250 °C-150dk	250 °C-180dk	250 °C-210dk
Kalınlık nm	$\sim 1100$	$\sim 1050$	$\sim 1100$	$\sim 1200$



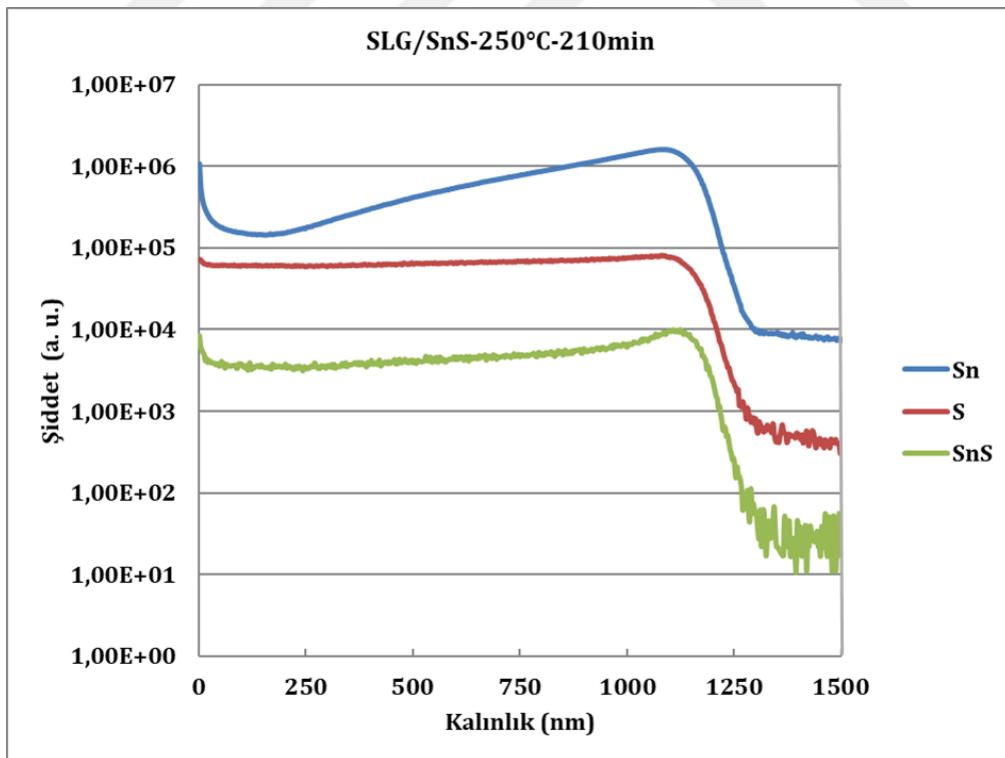
Şekil 4.2.16. SLG alttaban üzerine 250 °C, 120 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları.



Şekil 4.2.17. SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları.



Şekil 4.2.18. SLG alttaban üzerine 250 °C, 180 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları.

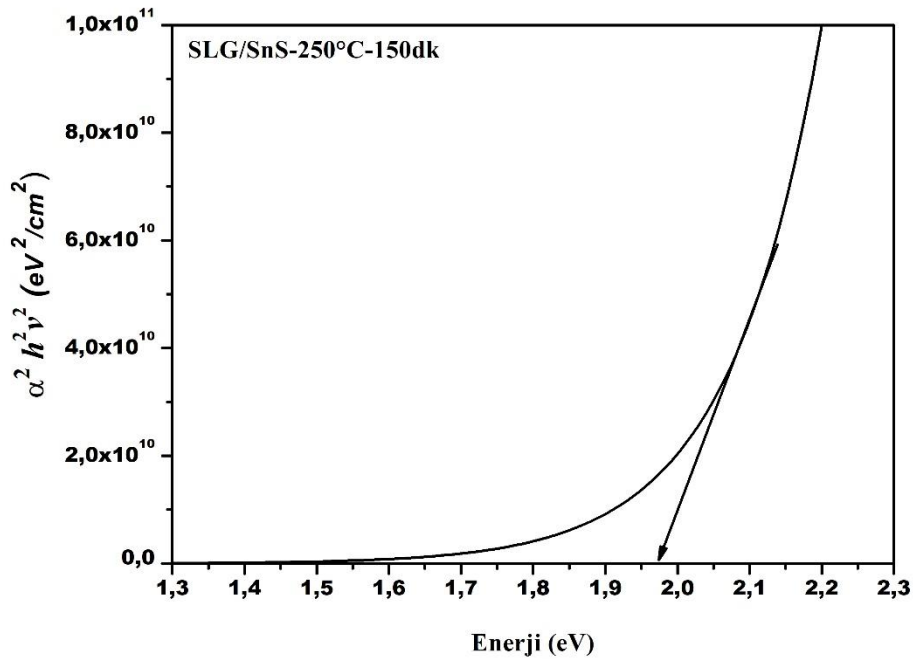


Şekil 4.2.19. SLG alttaban üzerine 250 °C, 210 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin SIMS sonuçları.

**Tablo 4.2.4.** SLG-SnS yarıiletken ince filmlerin Hall etkisi sonuçları.

SLG/SnS sülfürleme sıcaklığı ve süresi	Taşıyıcı yoğunluğu ( $\text{cm}^{-3}$ )	Mobilite ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Özdirenç ( $\Omega \text{ cm}$ )	Taşıyıcı tipi
250 °C-120dk	$9,37 \times 10^{16}$	$7,18 \times 10^{-1}$	$8,92 \times 10^1$	p
250 °C-150dk	$2,96 \times 10^{17}$	$4,08 \times 10^{-1}$	$5,16 \times 10^1$	p
250 °C-180dk	$4,30 \times 10^{16}$	4,53	$3,19 \times 10^1$	p
250 °C-210dk	$3,75 \times 10^{16}$	5,29	$3,13 \times 10^1$	p

Şekil 4.2.20. SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin yasak enerji aralığını göstermektedir. Deneysel ölçüm, J. Woollam VASE HS-190 spektrometresi ile alınmıştır. SnS ince filmin yasak enerji aralığı 1,97 eV olarak elde edilmiştir. Teorik olarak hesaplanan yasak enerji aralığından ( $\sim 1.30-1.50$  eV) oldukça büyük olmasının nedeni SnS<sub>2</sub> ikincil fazının yasak enerji değerini yükseltmesidir [64].



**Şekil 4.2.20.** SLG alttaban üzerine 250 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin  $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$  grafiği.

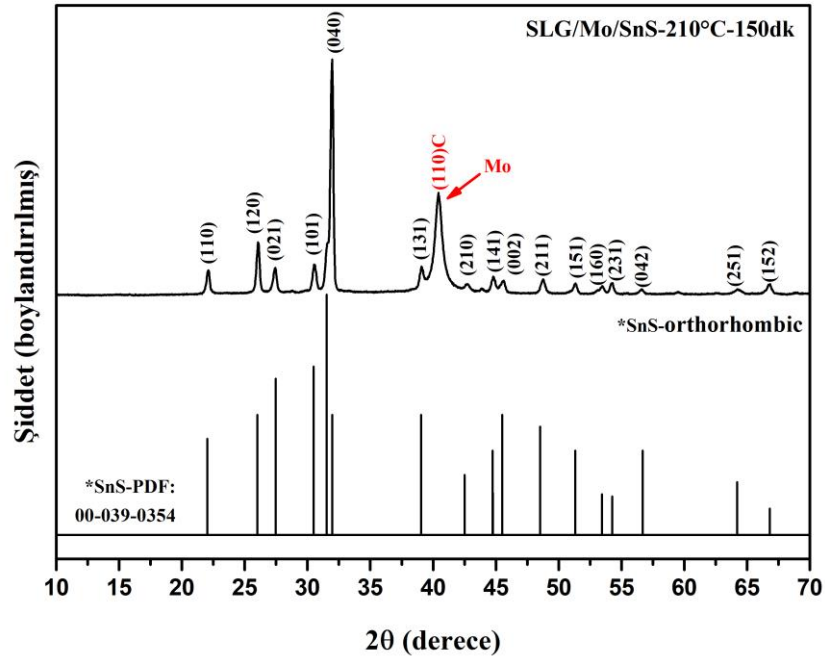
### 4.3. SLG/Mo Alttaban Üzerine Büyütülmüş SnS Yarıiletken İnce Film Karakterizasyonu

SLG alttaban üzerinde büyütülmüş SnS yarıiletken ince filmde elde edilen deneysel veriler ışığında metalik Sn ince filmin sülfürleme süresinin 120-180 dk arasında uygun olduğu ve özellikle 150 dk sülfürleme süresinin en iyi olduğu tespit edilmiştir. SLG/Mo alttaban için de birçok deney yapılmış ve 150 dk sülfürleme süresinin, farklı bir alttaban olmasına rağmen aynı değerde olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden, yapılan birçok deney arasından SLG/Mo/Sn ince filmi için 150 dk sülfürleme süresi sabit tutulmuş, en iyi dört adet sülfürleme sıcaklığı üzerinde, 210 °C, 220 °C, 230 °C ve 240 °C, karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan SLG/Mo alttabanı ticari olarak satın alınmış olup, yaklaşık Mo film kalınlığı 1000-1100 nm civarındadır.

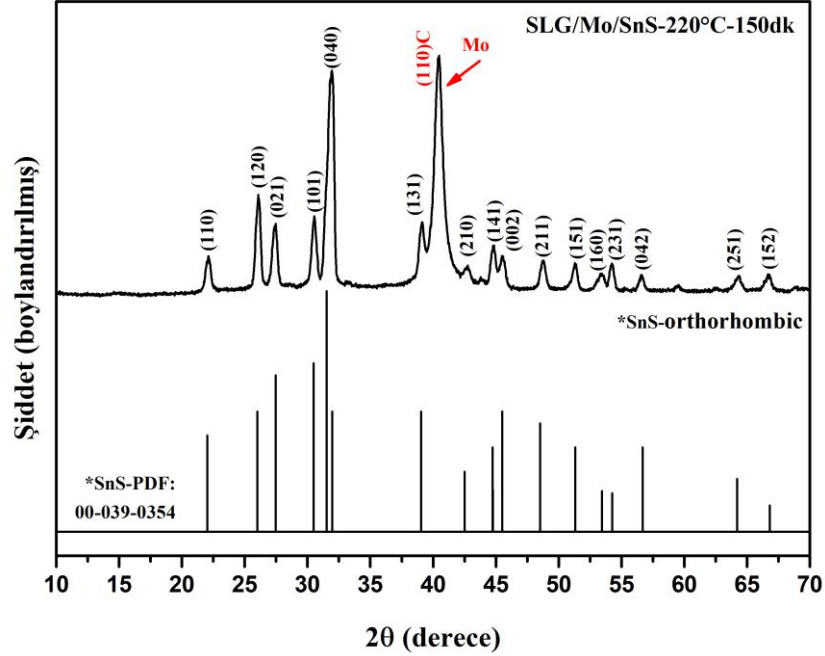
Şekil 4.3.1. ile Şekil 4.3.4. arasındaki tüm grafikler SLG/Mo/Sn ince filmin farklı sıcaklıklarda ve 150 dk sülfürleme işlemine tabi tutularak, elde edilen SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerinin XRD sonuçlarını göstermektedir. SnS ince filmin XRD desen indislemesi için 00-039-0354 numaralı standart pdf kartı kullanılmış ve SnS bileşiğinin ortorombik (O) kristal yapıda ve farklı yönelimlere sahip olduğu anlaşılmıştır. XRD grafiklerindeki  $2\theta = 40,28$  derecedeki XRD piki (110)C Molibden iletken filmin pikidir. Mo iletken filmin XRD desen indislemesi için 01-089-5156 numaralı standart pdf kartı kullanılmış ve Mo atomları kübik (C) kristal yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. SLG/Mo/SnS ince filmlerin XRD grafikleri incelendiğinde ikincil faz olan SnS<sub>2</sub> fazı net bir şekilde XRD desen piki tespit edilememiştir.

Şekil 4.3.5., farklı sıcaklıklarda 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmlerinin Raman spektrumu grafiğini göstermektedir. Raman spektrumundaki, 95 cm<sup>-1</sup>, 160 cm<sup>-1</sup>, 191 cm<sup>-1</sup> ve 216 cm<sup>-1</sup> modlarına ait pikler, SnS bileşiğine ait pikleri temsil ederken, 314 cm<sup>-1</sup> moduna ait pik ise SnS<sub>2</sub> bileşiğine ait piki temsil etmektedir [64].

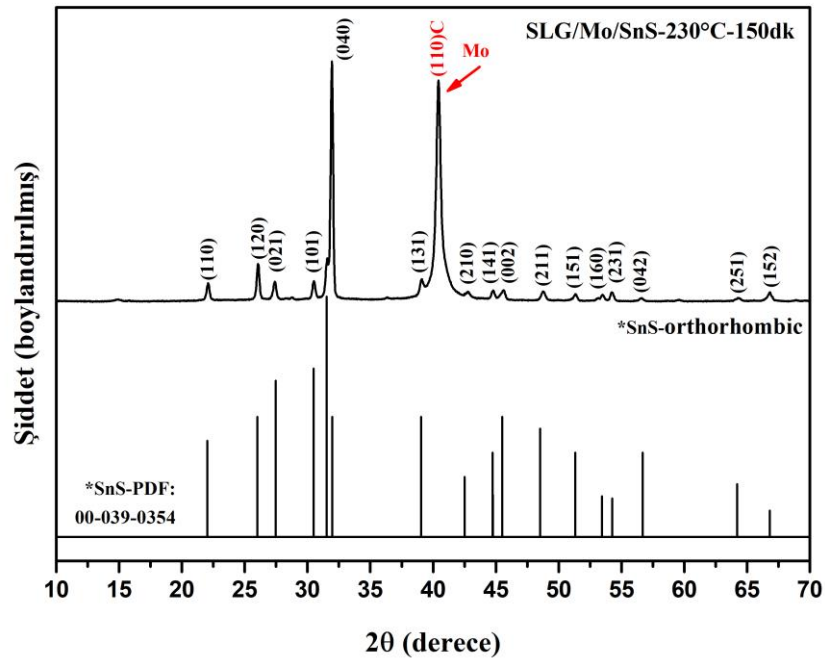




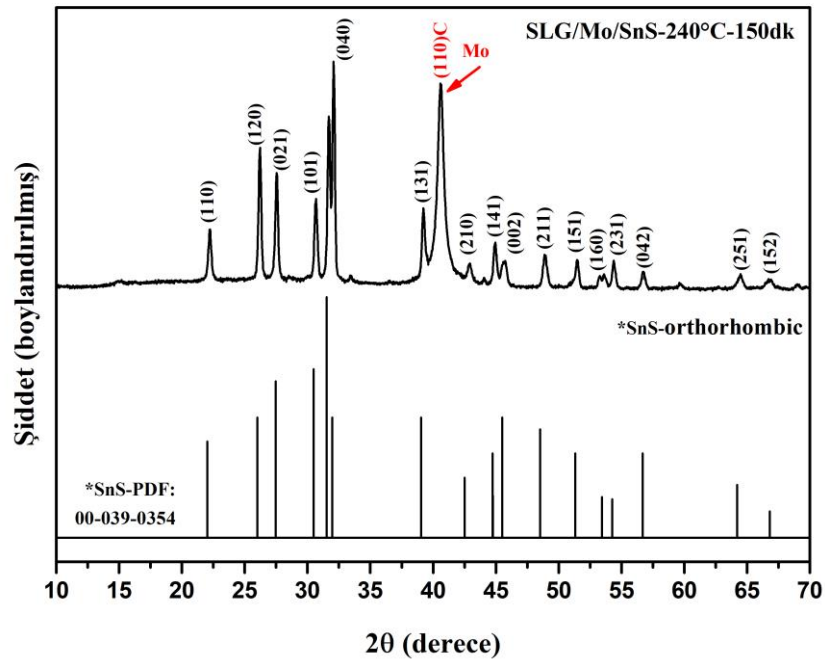
Şekil 4.3.1. 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni.



Şekil 4.3.2. 220 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni.



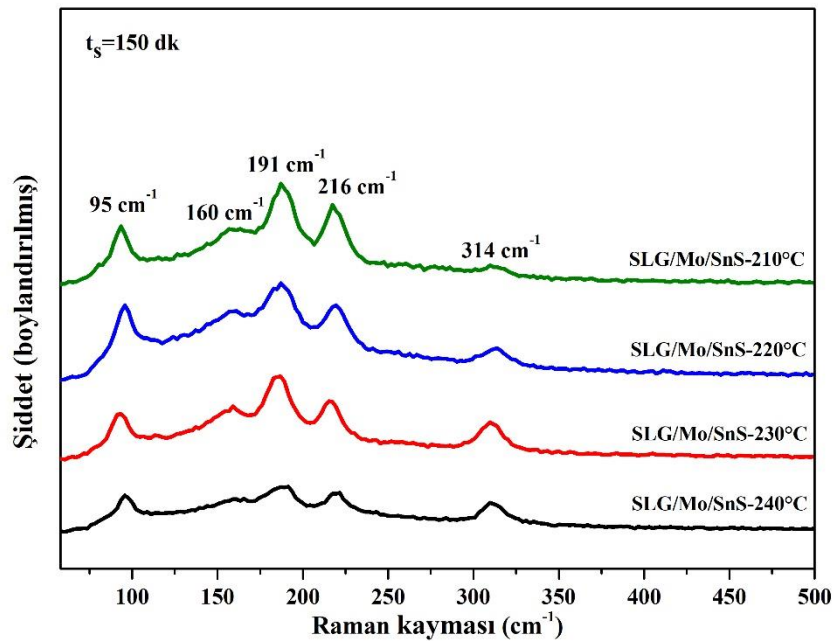
Şekil 4.3.3. 230 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni.



Şekil 4.3.4. 240 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD deseni.

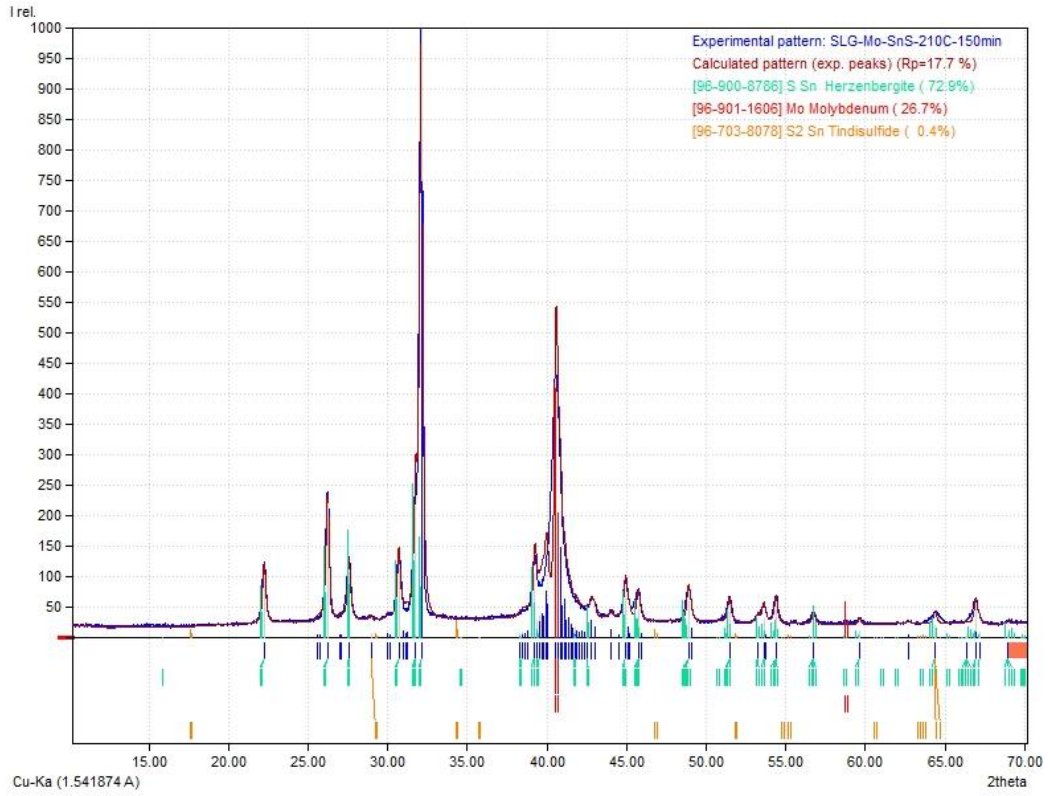
210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilmiş SLG/Mo/SnS ince filmin Raman spektrumu incelendiğinde 314  $\text{cm}^{-1}$  moduna ait pik,  $\text{SnS}_2$  bileşiğine ait pikin, hemen hemen yok

olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, 950 nm kalınlıktaki metalik Sn ince filmi için 210 °C, 150 dk sülfürleme şartları tek fazlı SnS ince filmine sahip en yakın değerler olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, bu sonuç ile XRD verilerini hesaplayan Match! yazılım programı kullanılarak 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin XRD elemental analizi karşılaştırılmıştır. Şekil 4.3.6. XRD analiz grafiği incelendiğinde yapı içerisinde % 72,9 tek fazlı SnS atomunun % 0,4 SnS<sub>2</sub> ikincil faza sahip bileşiğin ve % 26,7 Mo atomunun olduğu görülmektedir. Bu % 0,4 SnS<sub>2</sub> ikincil faz değeri de kabul edilebilir bir değer olarak alınabilir.



**Şekil 4.3.5.** Farklı sıcaklıklarda 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin Raman spektrumu.

Elde edilen tüm XRD sonuçları, literatür ile karşılaştırıldığında oldukça iyi kristal yapıya sahip olduğu anlaşılmış ve ikincil fazların oldukça az olduğu ve pik şiddetlerinin en az seviyede olduğu anlaşılmıştır [16, 22, 33, 35, 72]. Örneğin, V. R. M. Reddy ve arkadaşları [35] DC magnetron kopartma yöntemi ve sülfürleme sistemi kullanarak SLG/Mo üzerine elde ettikleri SnS ince filmleri için yapı içerisinde oldukça fazla SnS<sub>2</sub> ve Sn<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ikincil fazlarını gözlemlemişlerdir.



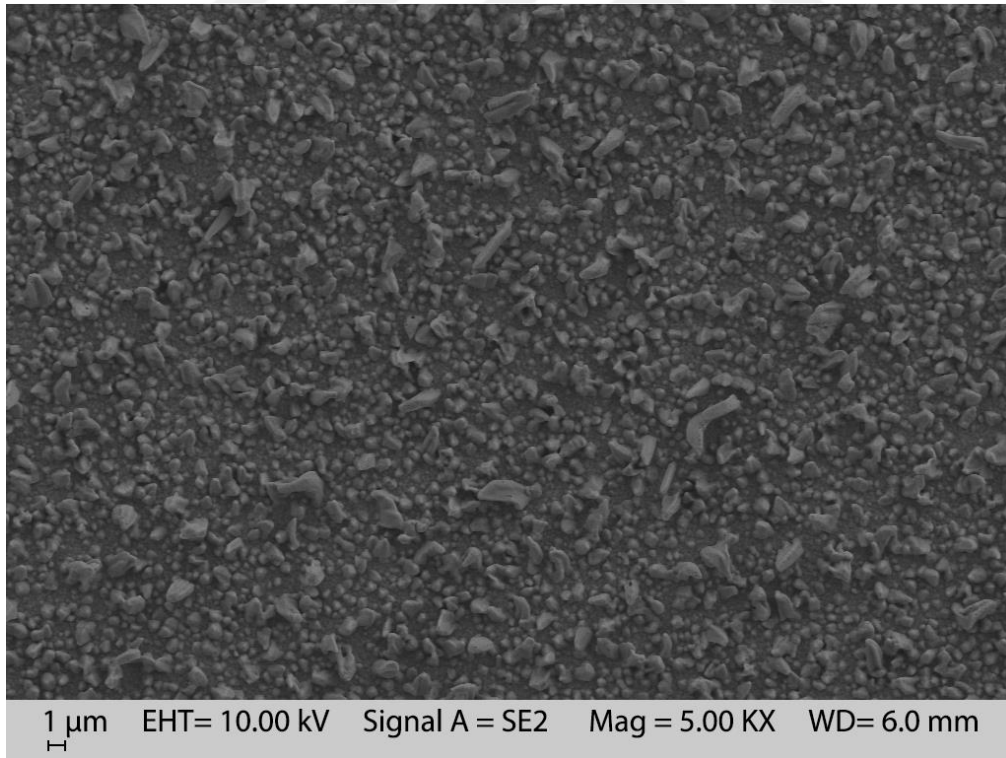
**Şekil 4.3.6.** Farklı sıcaklıklarda 150 dk süfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin X-ışını kırınımının elemental analiz grafiği.

Tablo 4.3.1., SLG/Mo/SnS ince filmlerinin en belirgin piki olan (040)0 piki kullanılarak elde edilen yapısal özelliklerini göstermektedir. Farklı sıcaklıklarda elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmlerinin kristal tanecik büyüklüğü, 210 °C için 31 nm, 220 °C için 14 nm, 230 °C için 39 nm, 240 °C için 35 nm değerlerinde bulunmuştur. Ayrıca, 210 °C ve 150 dk süfürleme şartları için SLG/Mo üzerine büyütülen SnS ince filmlerinin örgü parametreleri hesaplanmış ve  $a=4,315 \text{ \AA}$ ,  $b=11,202 \text{ \AA}$  ve  $c=3,983 \text{ \AA}$  biçiminde bulunmuştur. Bu değerler, literatür ( $a=4,329 \text{ \AA}$ ,  $b=11,192 \text{ \AA}$ ,  $c=3,983 \text{ \AA}$ ) ile karşılaştırıldığında oldukça uyumlu değerler olduğu anlaşılmıştır [64].

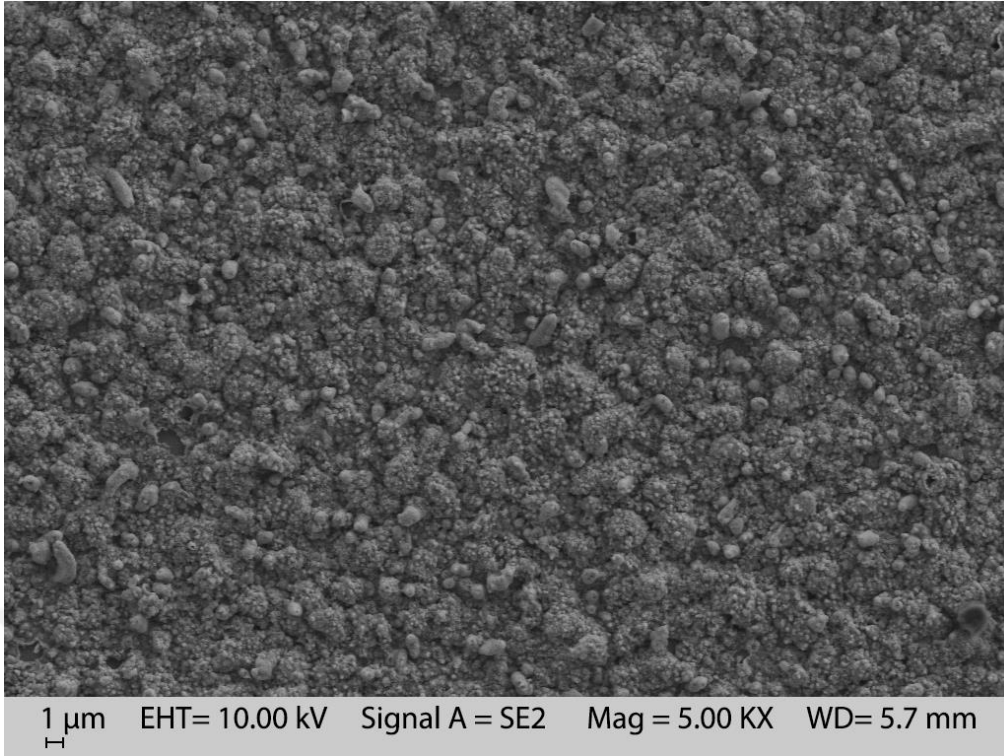
**Tablo 4.3.1.** SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerinin yapısal özellikleri.

SLG/Mo/SnS süfürleme sıcaklığı ve süresi	FWHM $\beta$ (rad) ( $10^{-2}$ )	Kristal büyüklüğü (nm)	Dislokasyon yoğunluğu ( $10^{15}$ çizgi/m <sup>2</sup> )	Kristallerin sayısı/birim yüzey alan ( $10^{17}$ m <sup>-2</sup> )	Örgü gerinimi ( $10^{-4}$ )
210 °C-150dk	0,47	31	1,07	0,38	11,32
220 °C-150dk	1,02	14	5,09	0,55	24,75
230 °C-150dk	0,37	39	0,66	0,29	8,93
240 °C-150dk	0,41	35	0,81	0,39	9,85

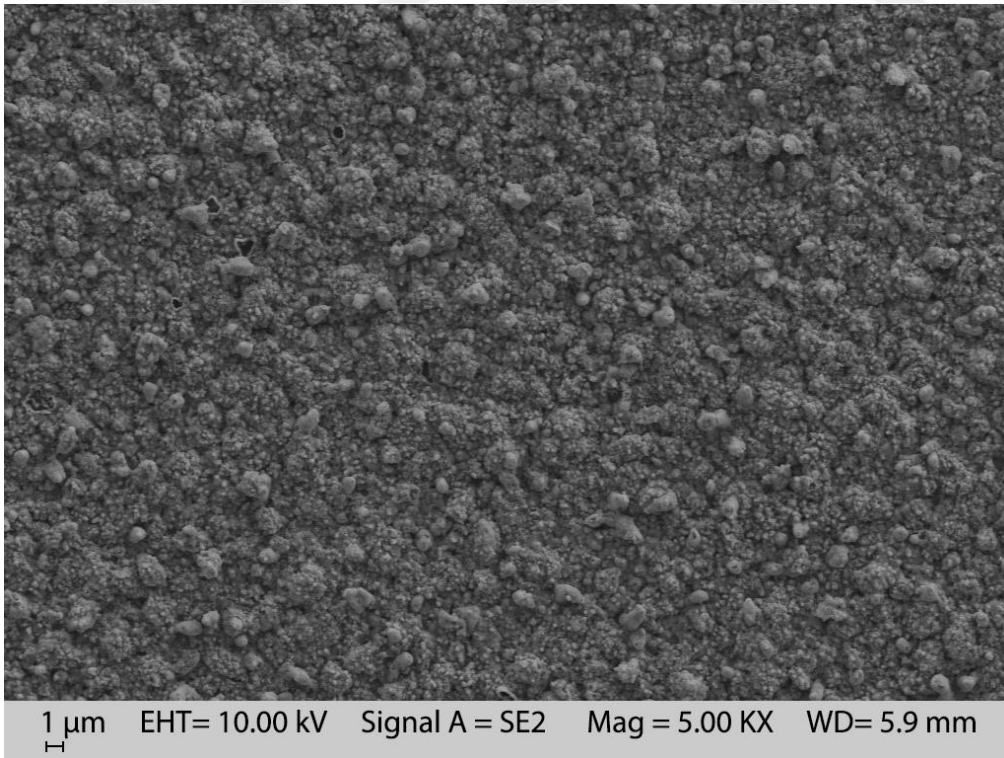
Şekil 4.3.7. ile Şekil 4.3.11. arasındaki tüm resimler SLG/Mo/Sn ince filmin ve SLG/Mo/SnS ince filmlerinin SEM görüntülerini göstermektedir. Hem SLG/Mo/Sn ince filmin hem de SLG/Mo/SnS ince filmleri SLG/Mo alttaban yüzeyinde herhangi bir boşluk kalmayacak biçimde kaplanmıştır. Ayrıca, SLG/Mo alttaban yüzeyinde SnS ince filmlerinin küresel tanecik boyutlarında kaplandığı görülmektedir. SLG/Mo/SnS ince filmlerin yüzey morfolojisi dikkatli bir biçimde incelenirse sülfürleme sıcaklığının 210 °C'den daha yüksek sıcaklıklara artmasıyla film yüzeyinde çeşitli biçimlerde çatlaklar oluştuğu görülmüştür. Dolayısıyla SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için yüksek sıcaklıklarda sülfürleme uygun şartlar olmaktan çıkmaktadır. Buna karşın SLG alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için 250 °C'nin altındaki sülfürleme sıcaklıklarında yapı içerisinde belirgin bir şekilde metalik Sn atomlarının kaldığı bir önceki kesimde görülmüştür. Sonuç olarak, SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için düşük sıcaklıklarda sülfürleme uygunken, SLG alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için yüksek sıcaklıklarda sülfürleme uygun olduğu anlaşılmıştır.



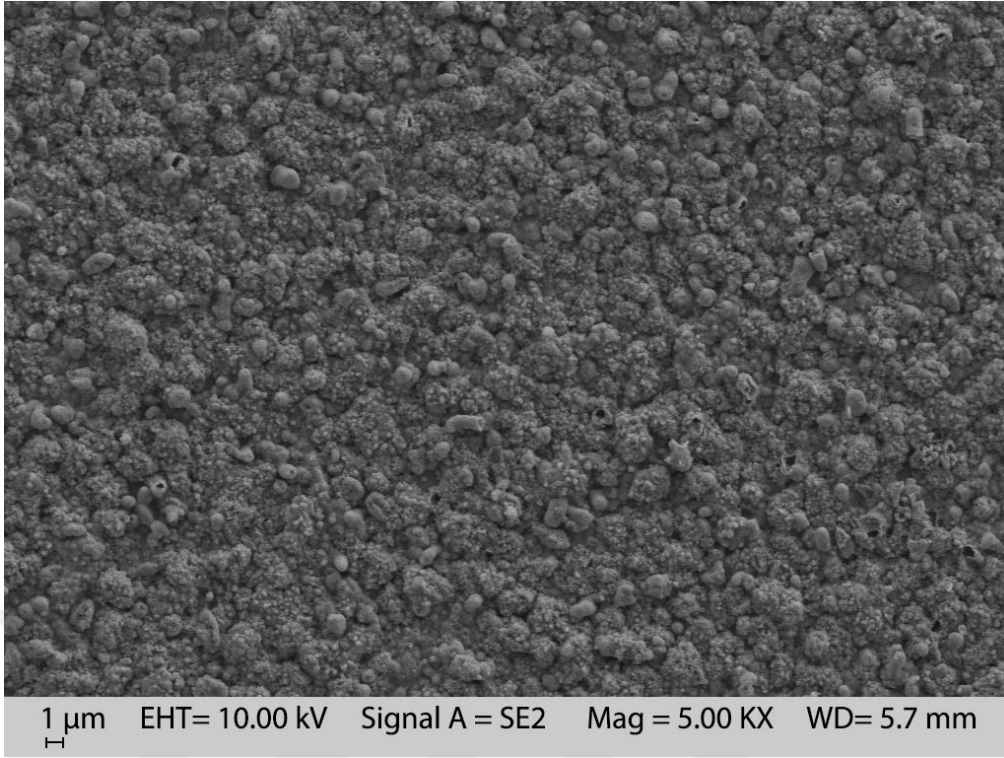
**Şekil 4.3.7.** SLG/Mo alttaban üzerine 40W-20mTorr-60dk şartlarında büyütülmüş metalik Sn ince filmin SEM görüntüsü.



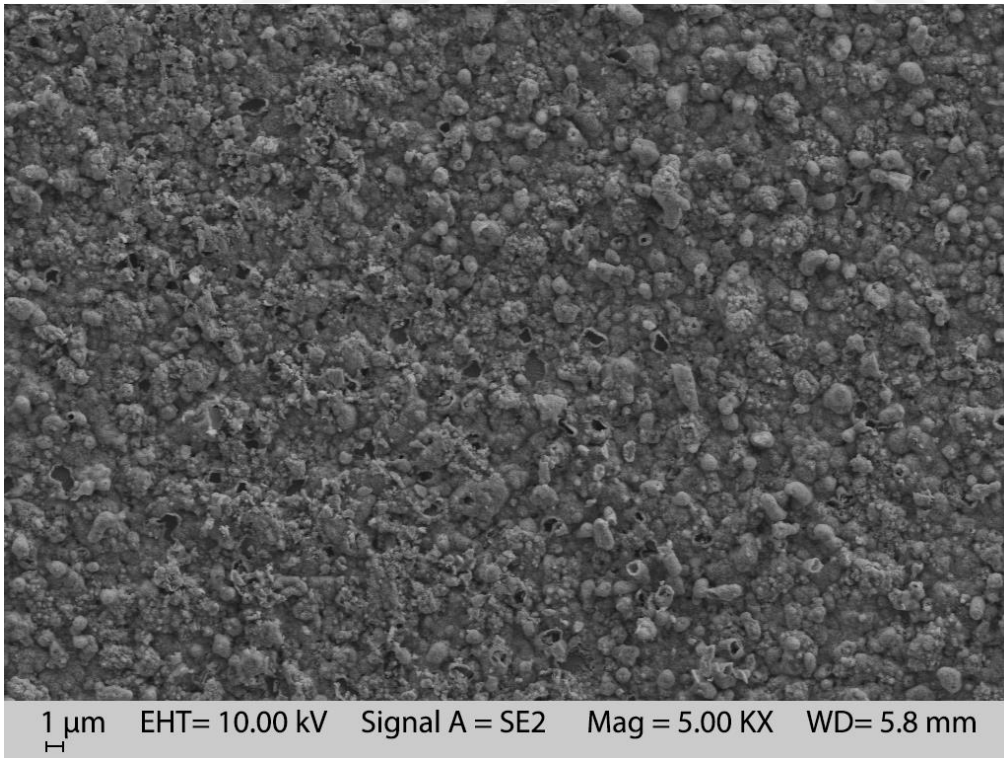
**Şekil 4.3.8.** 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.3.9.** 220 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.3.10.** 230 °C'de 150 dk süförlöme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.3.11.** 240 °C'de 150 dk süförlöme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SEM görüntüsü.

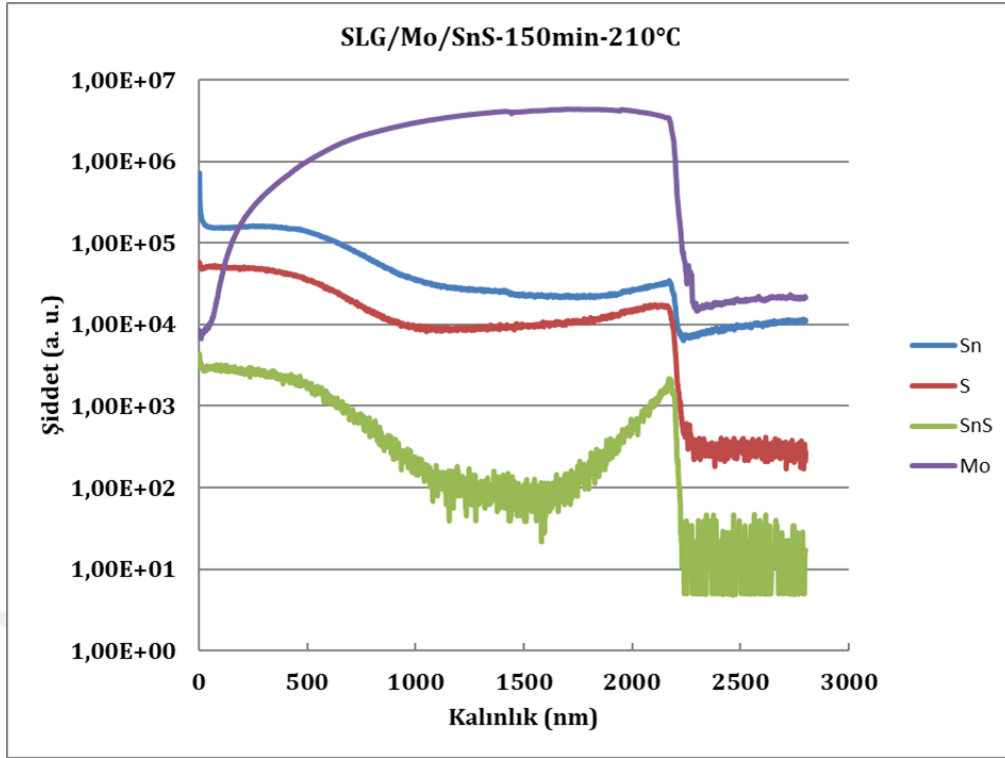
Tablo 4.3.2., 150 dk farklı sıcaklıklarda sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmlerinin EDX analiz sonuçlarını vermektedir. EDX verileri incelendiğinde SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmin sülfürleme sıcaklığının artmasıyla, kalay/sülfür oranının git gide azaldığı görülmektedir. 210 °C-150dk ve 220 °C-150dk şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmlerin Sn/S oranı bire oldukça yakındır.

**Tablo 4.3.2.** SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerin EDX sonuçları.

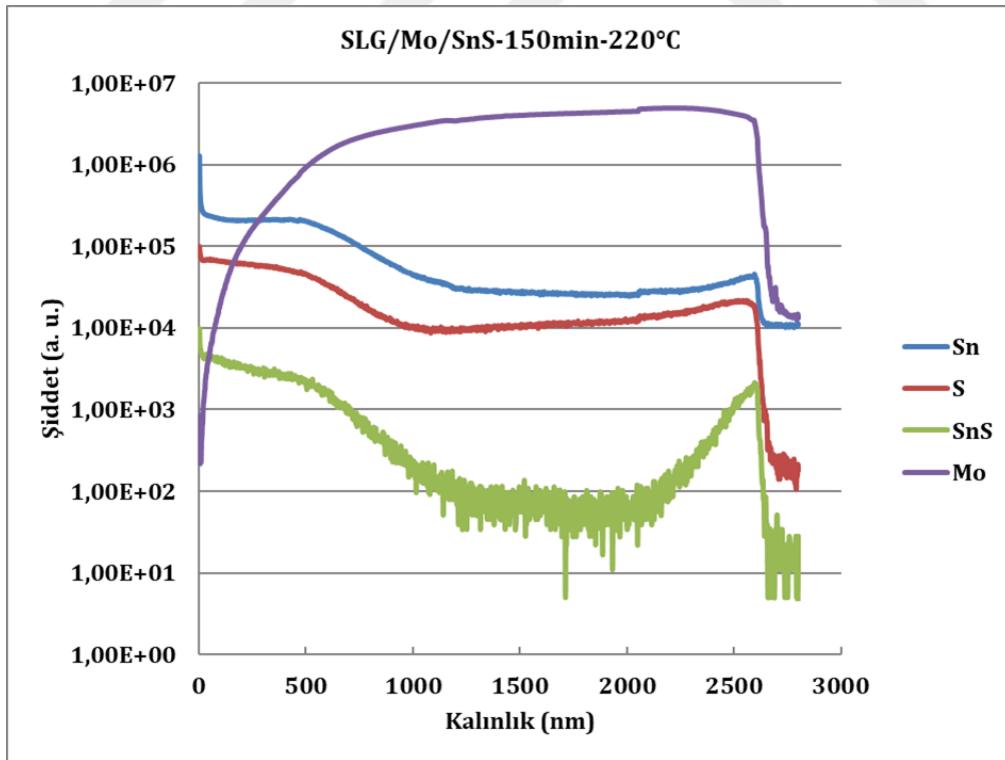
SLG/Mo/SnS sülfürleme sıcaklığı ve süresi	Kalay (Sn) (at. %)	Sülfür (S) (at. %)	Sn/S oran
210 °C-150dk	50,15	49,85	1,02
220 °C-150dk	49,00	51,00	0,96
230 °C-150dk	47,03	52,97	0,89
240 °C-150dk	46,99	53,01	0,88

Şekil 4.3.12 ile Şekil 4.3.15 arasındaki SIMS grafiklerine bakıldığında, SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için kalınlığa bağlı Sn, S ve SnS atomlarının varlığını ifade eden şiddet değerlerinin benzer biçimde azaldığı görülmektedir. SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için bu sonuç bize, yüzeyden başlayan ve SLG/Mo alttabana kadar doğru gidildikçe, kalay ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir. Ayrıca SIMS sonuçlarındaki kalınlığa karşı şiddet dağılımı, Tablo 4.3.3.'de verilen SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için yaklaşık olarak kalınlık değerlerini elde etmemizi sağlar. Dikkat edilecek olunursa, SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için sülfürleme sıcaklığının artmasıyla filmlerin kalınlığının arttığı görülmektedir. Mo malzemesi için SIMS grafiklerine bakıldığında çok ilginç bir sonuç görülmektedir. SIMS cihazında ölçüm alınırken en üst katmandan başlayarak en alttaki cam yüzeyine kadar inildikçe sinyal alınmaktadır. Mo atomu yüzeyden başlayan ölçümlerde  $10^4$  şiddet değerinde sinyal vermeye başlamış ve cam yüzeyine gidildikçe şiddet değeri artmış ve cam yüzeyine gelindiğinde yine  $10^4$  şiddet değerinde sinyal yok olmuştur. Buradan şu sonuç çıkartılabilir; Sülfürleme sırasında SLG alttaban yüzeyinde bulunan Mo filmi sıcaklığın artmasıyla atomları arasındaki bağlarda gevşeme olmasıyla içeri doğru SnS atomlarının difüz olması ve bir miktar Mo atomunun yüzeyde kalması olabilir.

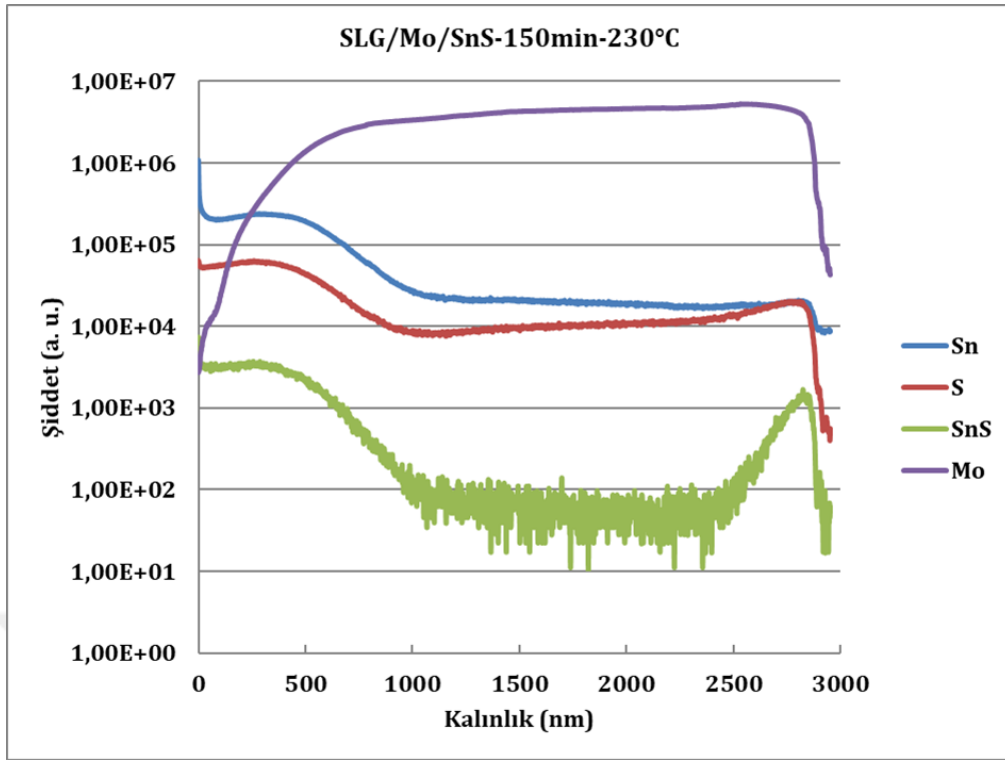




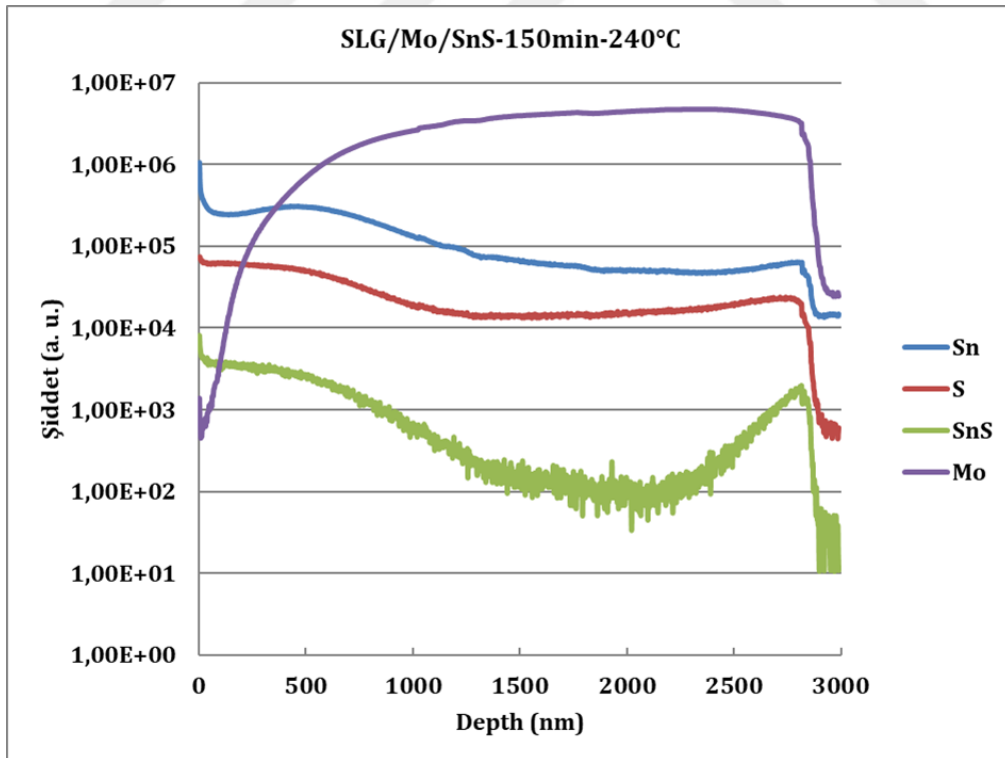
Şekil 4.3.12. 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları.



Şekil 4.3.13. 220 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları.



Şekil 4.3.14. 230 °C'de 150 dk süfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları.

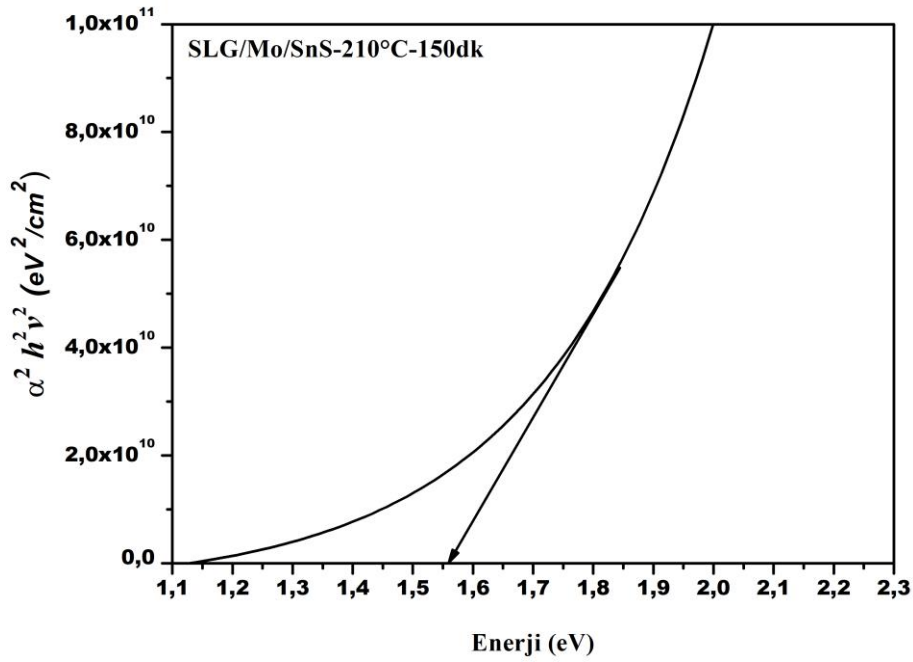


Şekil 4.3.15. 240 °C'de 150 dk süfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin SIMS sonuçları.

**Tablo 4.3.3.** SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmlerin kalınlıkları.

SLG/Mo/SnS sülfürleme sıcaklığı ve süresi	210 °C-150dk	220 °C-150dk	230 °C-150dk	240 °C-150dk
Kalınlık nm	~1100	~1500	~1700	~1750

Şekil 4.3.16. SLG/Mo alttaban üzerine 210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin yasak enerji aralığını göstermektedir. SnS ince filmin yasak enerji aralığı 1,56 eV olarak elde edilmiştir. Teorik olarak hesaplanan yasak enerji aralığına (~1.30-1.50 eV) oldukça yakın bir değer bulunmuştur [64].

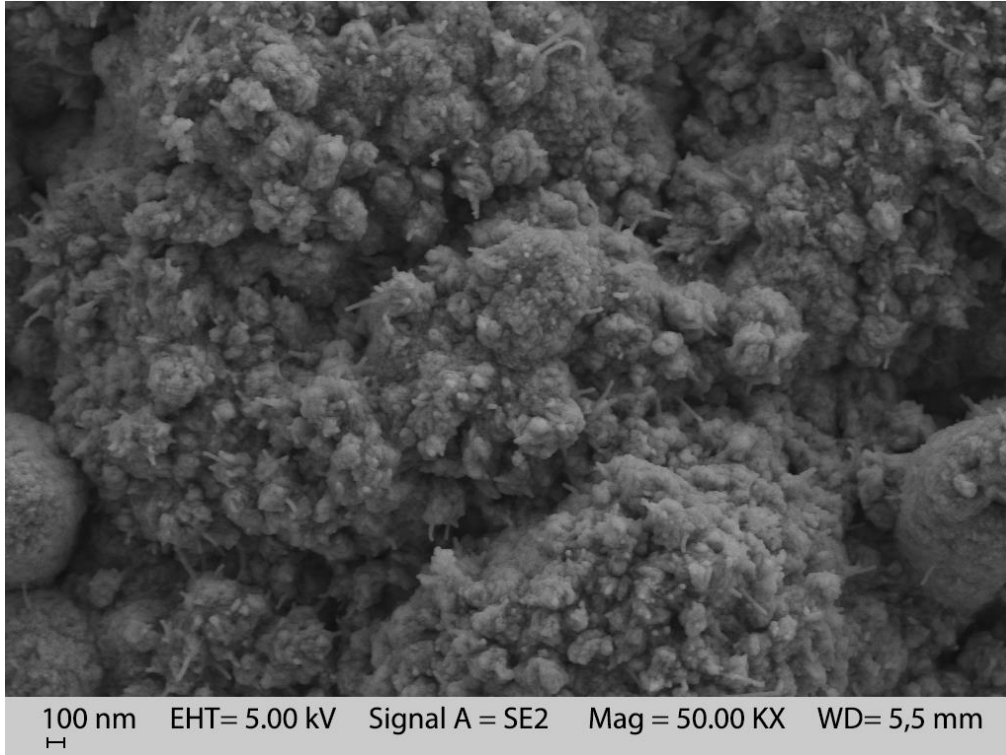


**Şekil 4.3.16.** SLG/Mo alttaban üzerine 210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında büyütülmüş SnS ince filmin  $\alpha^2 h^2 v^2 - hv$  grafiği.

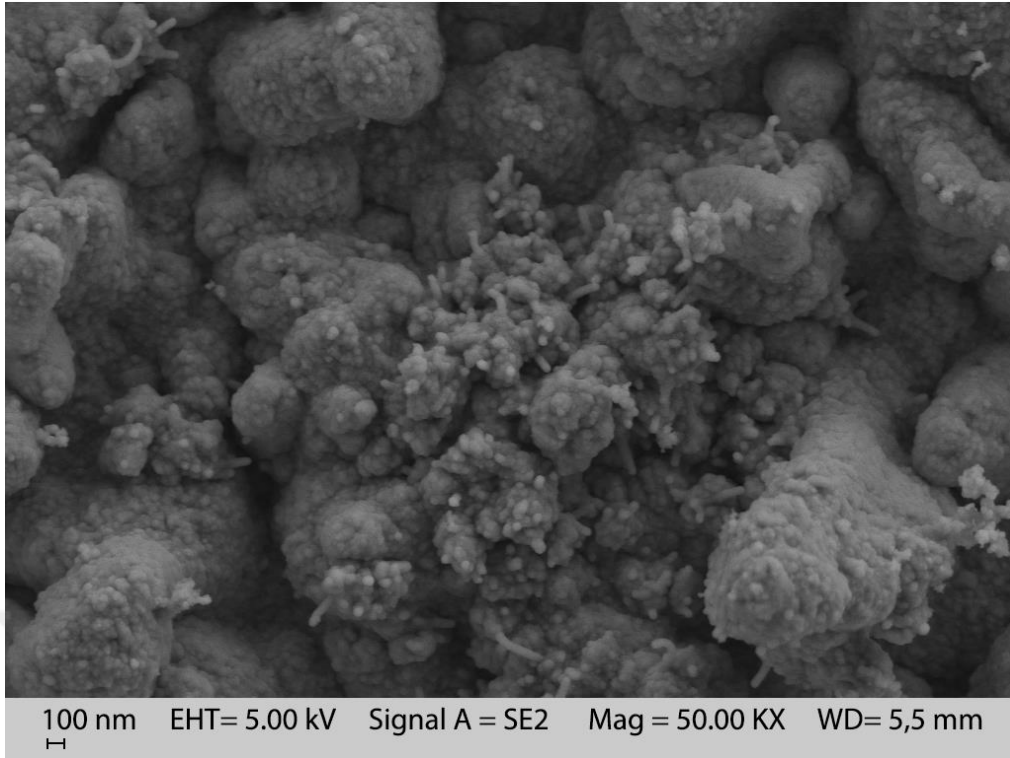
#### 4.4. SLG/Mo/p-SnS/n-CdS Yarıiletken Heteroeklemin Karakterizasyonu

İlk olarak SLG/Mo alttaban üzerine, RF magnetron kopartma yöntemi kullanılarak Sn ince film üretilmiş olup, sülfür, tasarlanan sülfürme sistemi ile metalik Sn ince film üzerine difüz ettirilerek p-SnS yarıiletken ince film kaplanmıştır. Daha sonra, n-CdS yarıiletken ince filmi, kimyasal banyo yöntemi kullanılarak p-SnS ince filmin üzerine büyütülmüş olup, SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklem ince film üretilmiştir.

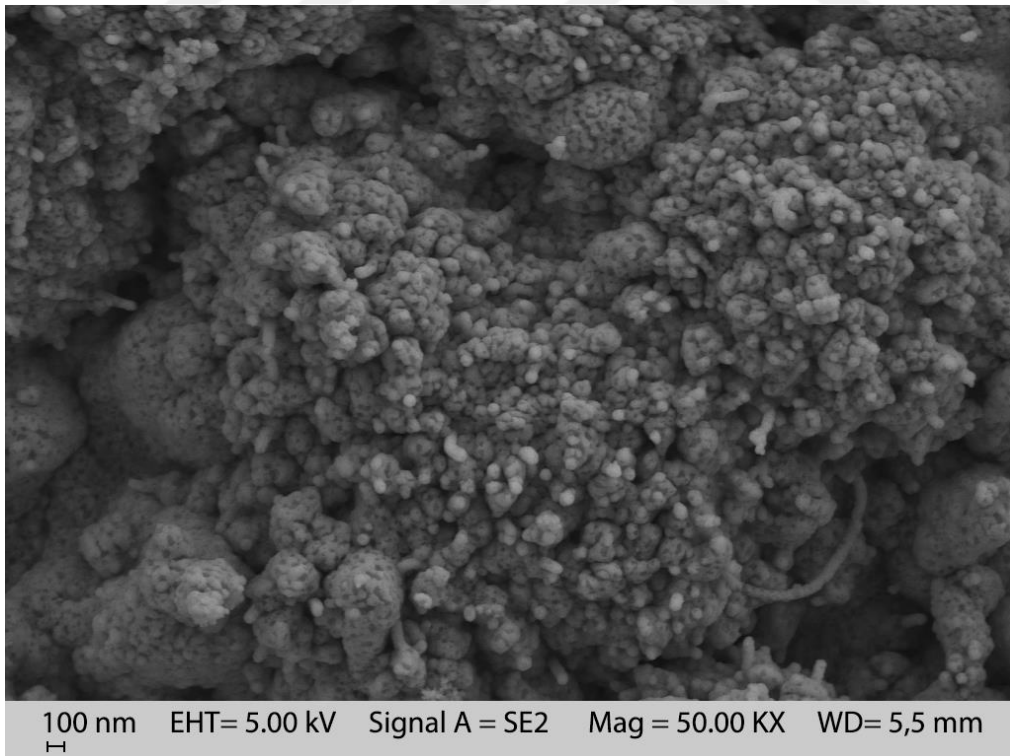
Şekil 4.4.1. ile Şekil 4.4.4. arasındaki tüm resimler 210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilmiş SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmin üzerine farklı sürelerde büyütülmüş CdS yarıiletken ince filmlerin SEM görüntülerini göstermektedir. Şekil 4.4.1. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü incelendiğinde, nano-boyutta oluşan SnS tepe bölgelerinde CdS taneciklerinin oldukça iyi tutunma gösterdiği ve tabandan yukarı doğru CdS tanecik büyümesinin olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.4.2. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü incelendiğinde nano-boyutta oluşan SnS çukur bölgelerinde CdS taneciklerinin tutunma gösterdiği fakat tepe bölgesinde olduğu gibi yüzeye doğru bir büyümenin olmadığı gözlenmiştir. Şekil 4.4.3.'deki SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin ve Şekil 4.4.4.'deki SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüleri incelendiğinde SnS tepe bölgelerinde yüzeyden yukarı doğru tespit edilen CdS tanecik büyümesi, aynı biçimde SnS çukur bölgelerinde de yüzeyden yukarı doğru CdS tanecik büyümesinin oluşmaya başladığı tespit edilmiştir.



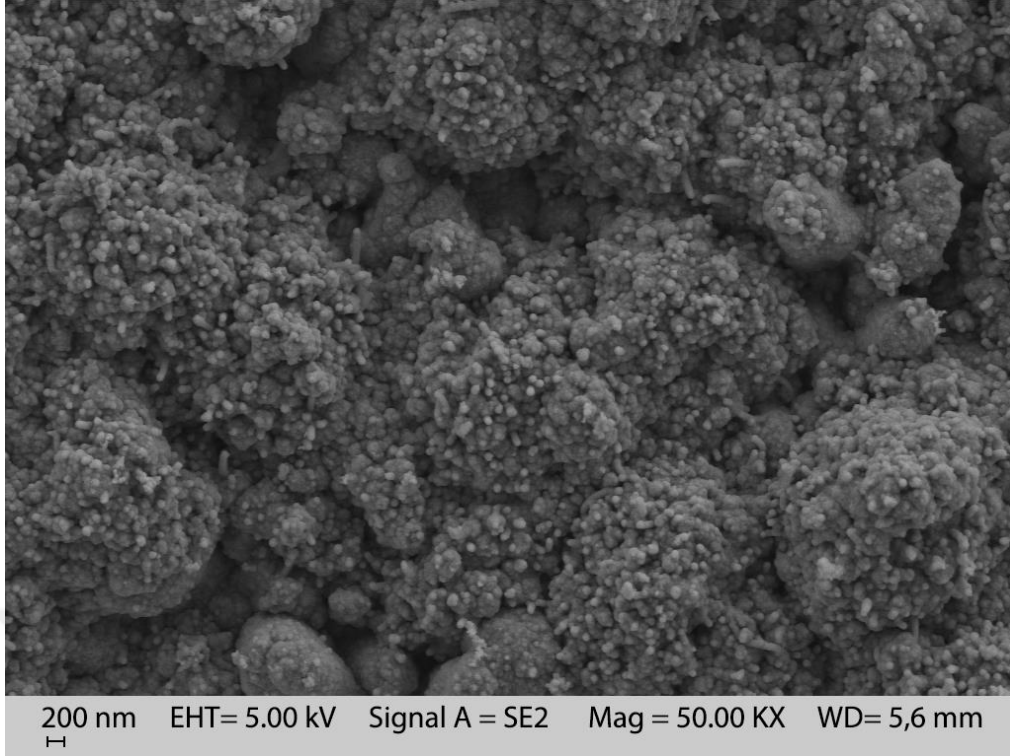
**Şekil 4.4.1.** SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.



**Şekil 4.4.2.** SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

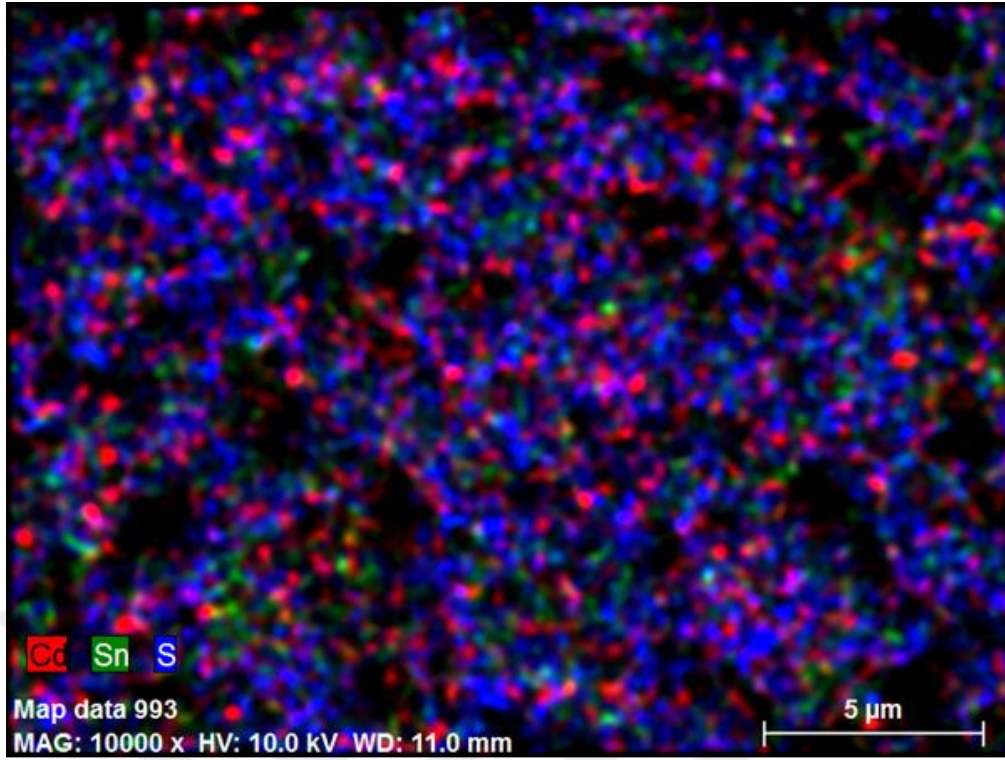


**Şekil 4.4.3.** SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

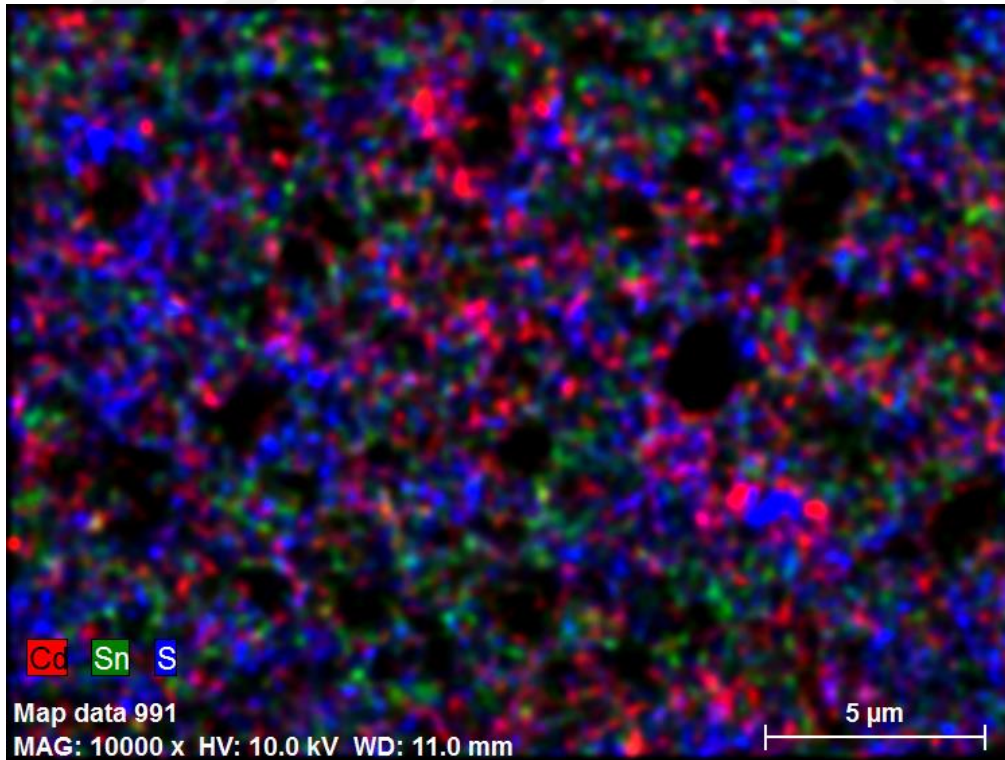


**Şekil 4.4.4.** SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin SEM görüntüsü.

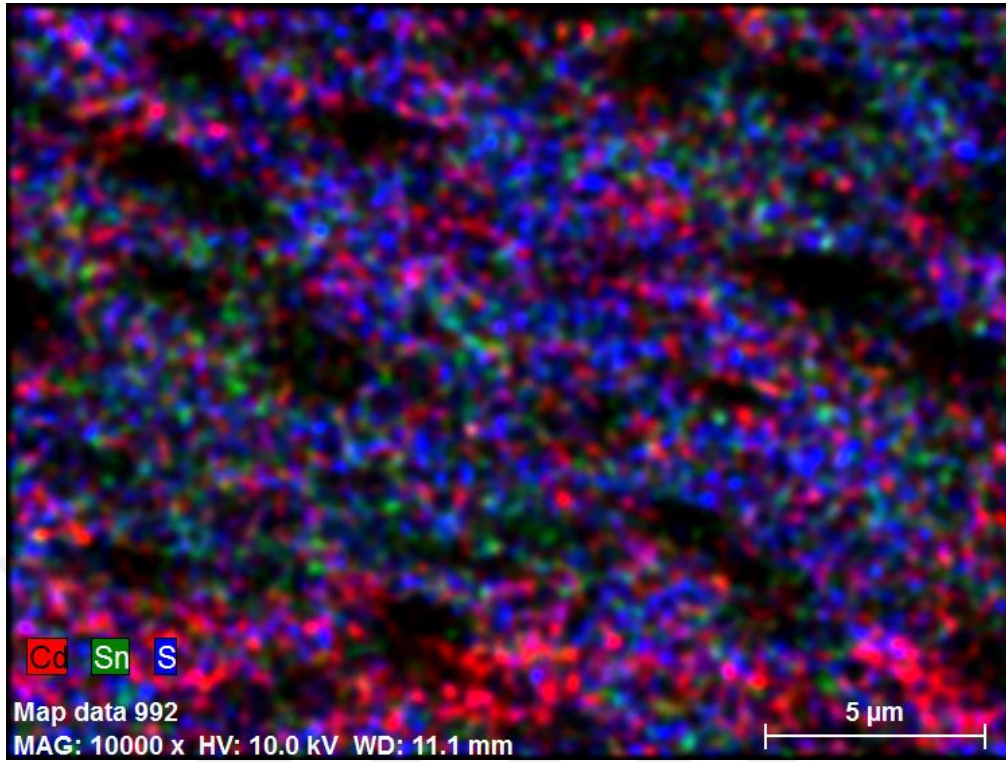
Şekil 4.4.5. ile Şekil 4.4.8. arasındaki tüm resimler 210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilmiş SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmin üzerine farklı sürelerde büyütülmüş CdS yarıiletken ince filmlerin EDX yüzey görüntülerini göstermektedir. Bütün yüzey görüntüleri incelendiğinde Sn, S, Cd atomlarının yüzeye düzgün bir şekilde dağıldığı görülmektedir.



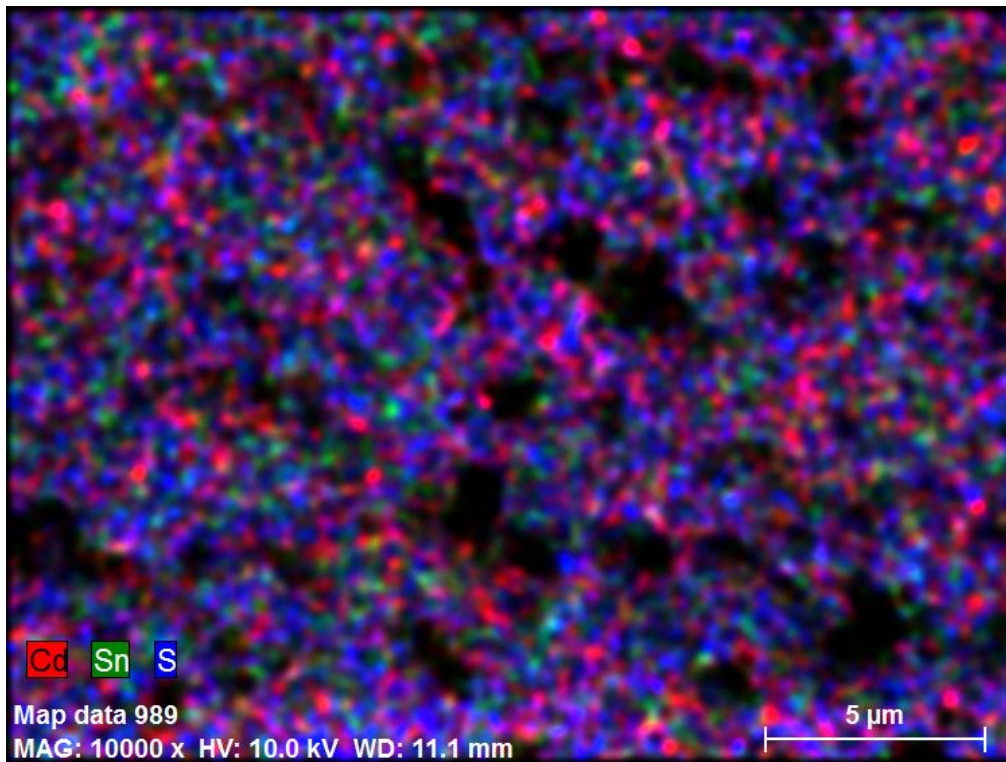
Şekil 4.4.5. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 1 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü.



Şekil 4.4.6. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 2 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü.



Şekil 4.4.7. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 3 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü.



Şekil 4.4.8. SLG/Mo/SnS yarıiletken üzerine 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmin EDX görüntüsü.



Tablo 4.4.1. 210 °C, 150 dk süförlöme şartlarında elde edilmiş SLG/Mo/SnS yariletken ince filmin üzerine farklı sürelerde büyütölmüş CdS yariletken ince filmlerin EDX sonuçlarını vermektedir. Sonuçlar incelendiğinde CdS yariletken ince filmin büyütme süresi arttıkça kadmiyum atomik yüzde değerinin düzenli bir biçimde arttığı görölmektedir. Buna karşın Kalay atomik yüzde değerinin de azaldığı görölmektedir, ancak bu azalma kalayın yapı içerisinde azalmasından kaynaklanmamaktadır. Bu azalma, toplam atomik yüzde içinde kadmiyumun artmasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.4.1.** SLG/Mo/SnS/CdS yariletken heteroeklem ince filmin EDX sonuçları.

SLG/Mo/SnS/CdS örnekleri	Kalay (Sn) (at. %)	Sülfür (S) (at. %)	Kadmiyum (Cd) (at. %)
1 saat büyütölmüş CdS	39,7	48,7	11,6
2 saat büyütölmüş CdS	34,0	46,4	19,6
3 saat büyütölmüş CdS	29,6	45,9	24,5
4 saat büyütölmüş CdS	23,5	47,0	29,5

SLG/Mo/SnS yariletken ince filmin üzerine farklı sürelerde büyütölmüş CdS yariletken ince filmlerin XRD sonuçları verilmemiştir. Bunun birinci nedeni, CdS yariletken ince filmin kalınlığının oldukça küçük olmasıdır. İkinci nedeni ise, CdS yariletken ince filmin XRD deseni pikleri ile SnS yariletken ince filmin XRD deseni piklerinin yaklaşık olarak aynı 2 $\theta$  derecelerinde olması ve bu piklerin birbiriyle çakışmasıdır. Buna bağılı olarak CdS yariletken ince filmin XRD deseni piklerinin, şiddeti oldukça büyük olan SnS yariletken ince filmin XRD deseni piklerinden dolayı görölmemesidir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

70 °C'de, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat ve son olarak 5 saatlik büyütme süresi ile 5 farklı kalınlıkta SLG alttaban üzerine kimyasal büyütme yöntemi ile CdS ince filmi elde edilmiştir. Yasak enerji aralığı ( $E_g=2,42$  eV) literatürle uyumlu olan 4 saatlik büyütülmüş CdS ince filmi, 100 °C, 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda 1 saat süreyle hava ortamında tavlansmıştır. Farklı tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerinin optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Geçirgenlik grafikleri kullanılarak belirlenen, tavlansmayan ve tavlansan CdS filmlerinin optiksel yasak enerji aralığı tavlama ile 2,42 eV'den 2,38 eV'ye kadar azaldığı gözlenmiştir.

XRD desenleri incelendiğinde, CdS ince filmlerinin büyütme sürelerinin artmasıyla (111)C, (220)C ve (112)H yapılarının XRD pik şiddetlerinde belirgin bir artış görülmektedir. Bu artış, CdS ince filmlerinin tavlama sıcaklığının artmasıyla da kendini göstermiştir. XRD verilerinden yararlanılarak filmlerin tanecik büyüklükleri hesaplanmıştır. Tavlansmayan ve tavlansan CdS filmlerinin tanecik büyüklüklerinin ortalama 12,50-14,09 nm civarında olduğu (111)C karakteristik piki kullanılarak Scherrer yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca, XRD analizinden yararlanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda; tavlama sıcaklığının artması ile pik şiddetlerinin arttığı dolayısıyla FWHM değerlerinin azaldığı, bunun sonucu olarak da kristal boyutlarının artmış olduğu gözlenmiştir. Tavlama ile daha iyi kristallik gösteren filmlerin dislokasyon yoğunluğu, birim alandaki kristal sayısı ve örgü gerinimlerin de düşüş gözlenmiştir.

SEM görüntüleri incelendiğinde CdS ince filmin büyütme süresinin artmasıyla CdS tanecik büyüklüğünün arttığı, buna bağlı olarak cam yüzey üzerindeki boşluklarında hemen hemen yok olduğu ve CdS ince filmin yüzey üzerine tamamen kaplandığı gözlenmektedir. Hem CdS ince filmin XRD sonuçları hem de SEM görüntüleri sonuçları karşılaştırıldığında büyütme süresinin tanecik büyüklünü etkilediği ve büyütme süresinin artmasıyla daha düzenli bir yapının oluştuğu ve boşlukların hemen hemen yok olduğunu tavlansan CdS ince filmlerinde de gözlenmiştir.

Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerin EDX verileri incelendiğinde Cd/S oranının bire yakın olması, kadmiyum ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını göstermektedir.

Farklı sürelerde ve tavlama sıcaklıklarında elde edilen CdS ince filmlerinin elektriksel özellikleri, oda koşullarında alınan ölçümler sonucunda, elektriksel direnci, yarıiletkenlerin karakteristik elektrik direnci ile uyumlu,  $\sim 10^5 \Omega$  cm mertebesinde, iletkenlik karakteristiğinin de n-tipi biçiminde olduğu belirlenmiştir.

Doğada oldukça fazla bulunan *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri için CdS ince filmi üzerindeki biyofilm oluşumu ve CdS nano-parçacıklarının antimikrobakteriyel etkisi incelenmiştir. Bu bakterilerle etkileşen ve etkileşmeyen CdS ince filmlerin, optiksel, yapısal ve elektriksel özelliklerinin bakteriyel yapışma sonucu meydana gelen biyofilm oluşumundan etkilenmediği tespit edilmiştir.

SLG alttaban üzerine SnS yarıiletken ince film elde etmek için iki aşamalı farklı iki teknik kullanılmıştır. İlk aşamada, Metalik Sn ince filmi için RF magnetron kopartma sistemi 40 Watt-20 mTorr-60dk değerlerine getirilerek SLG alttaban üzerine büyütülmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada, sülfürleme vakum sistemi kullanılarak SLG/Sn ince filmi farklı sıcaklıklarda ve sürelerde sülfürleme işlemine tabi tutularak, SLG/SnS yarıiletken ince filmler elde edilmiştir.

SLG/SnS ince filmlerin XRD desenleri incelendiğinde, 250 °C sülfürleme sıcaklığı ve 120 dk süresi altındaki değerlerde yapı içerisinde metalik Sn ince filmin yapıda hala kaldığı gözlenmiştir. Sülfürleme sıcaklığının 250 °C'ye çıkarıldığında ve sürenin 150-180-210 dk değerlerine getirilmesi, metalik Sn ince filmin yok olmasına buna karşın yapı içerisinde SnS<sub>2</sub> ikincil fazının oluşmasına neden olduğu gözlenmiştir. Yapılan Raman spektrumu analizi ve XRD verilerini hesaplayan Match! yazılım programı analizi sonucunda 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin en iyi kristal yapıda olan film olduğu tespit edilmiştir.

SEM görüntüleri ışığında, hem metalik Sn ince filmin ve SnS ince filmlerinin SLG alttaban üzerinde herhangi bir boşluk kalmayacak biçimde kaplandığı gözlenmiştir. Ayrıca, SnS ince filmlerinin SLG alttaban üzerine küresel tanecik boyutlarında kaplandığı gözlenmiştir.

EDX verileri incelendiğinde SnS ince filmin farklı sülfürleme sürelerinde, kalay ve sülfür oranı hemen hemen birbirine yakın olduğu hesaplanmıştır. Sn/S oranının bire yakın olması, kalay ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir.

SIMS sonuçlarına göre, kalınlığa bağlı Sn, S atomların ve SnS bileşiğinin varlığını ifade eden şiddet değerlerinin aynı biçimde azaldığı görülmektedir. Bu sonucu yorumlayacak olursak SnS ince filmi için yüzeyden başlayan ve SLG alttabana kadar doğru gidildikçe, kalay ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir. Ayrıca SIMS sonucu 250 °C sıcaklıklarda ve farklı sürelerde sülfürleme şartlarında SnS ince filmleri için kalınlık şu biçimde elde edilmiştir; 120 dk için 1100 nm, 150 dk için 1050 nm, 180 dk için 1100 nm ve 210 dk için 1200 nm.

250 °C sıcaklıkta ve farklı süre sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmlerinin elektriksel özellikleri, oda koşullarında alınan ölçümler sonucunda, elektriksel direnci, yarıiletkenlerin karakteristik elektrik direnci ile uyumlu,  $\sim 10^1 \Omega \text{ cm}$  mertebesinde, iletkenlik

karakteristiğinin de p-tipi biçiminde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 250 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin yasak enerji aralığı 1,97 eV değerinde bulunmuştur.

SLG/Mo alttabanı üzerine SnS ince filmi elde etmek için 150 dk sülfürleme süresi sabit tutulmuş, en iyi dört adet sülfürleme sıcaklığı, 210 °C, 220 °C, 230 °C ve 240 °C, kullanılmıştır. SLG/Mo/SnS ince filmlerin XRD grafikleri incelendiğinde ikincil faz olan SnS<sub>2</sub> fazı net bir şekilde XRD desen piki tespit edilememiştir. Ancak filmlerin Raman spektrumu incelendiğinde 220 °C, 230 °C ve 240 °C'de SnS<sub>2</sub> fazı tespit edilmiştir. 210 °C'de ise SnS<sub>2</sub> fazının Raman şiddeti çok çok küçük olarak ölçülmüştür. Ayrıca, bu sonuç ile XRD verilerini hesaplayan Match! yazılım programı kullanılarak 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmin yapısı içerisinde % 72,9 tek fazlı SnS bileşiğin % 0,4 SnS<sub>2</sub> ikincil faza sahip bileşiğin ve % 26,7 Mo atomunun olduğu tespit edilmiştir.

SLG/Mo/Sn ince filmin ve SLG/Mo/SnS ince filmlerinin SEM görüntülerini incelendiğinde, Hem SLG/Mo/Sn ince filmin hem de SLG/Mo/SnS ince filmleri SLG/Mo alttaban yüzeyinde herhangi bir boşluk kalmayacak biçimde kaplanmışlardır. SnS ince filmlerinin SLG/Mo alttaban üzerine küresel tanecik boyutlarında kaplandığı görülmektedir. Sülfürleme sıcaklığının 210 °C'den daha yüksek sıcaklıklara artmasıyla film yüzeyinde çeşitli biçimlerde çatlaklar oluştuğu görülmüş ve Dolayısıyla SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için yüksek sıcaklıklarda sülfürlemenin uygun olmadığı anlaşılmıştır.

EDX verileri incelendiğinde SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmin sülfürleme sıcaklığının artmasıyla, kalay/sülfür oranının git gide azaldığı görülmektedir. 210 °C-150dk ve 220 °C-150dk şartlarında elde edilen SLG/Mo/SnS ince filmlerin Sn/S oranı bir değerine yakın olduğu tespit edilmiştir.

SIMS grafiklerine bakıldığında, SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için kalınlığa bağlı Sn, S atomlarının ve SnS bileşiğinin varlığını ifade eden şiddet değerlerinin benzer biçimde azaldığı görülmektedir. SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için bu sonuç bize, yüzeyden başlayan ve SLG/Mo alttabana kadar doğru gidildikçe, kalay ve sülfür atomlarının yüzey boyunca düzgün bir şekilde dağıldığını gösterir. Ayrıca SIMS sonucu 150 dk sabit sürede ve farklı sıcaklıklarda sülfürleme şartlarında SnS ince filmi için kalınlık şu biçimde elde edilmiştir; 210 °C için 1100 nm, 220 °C için 1500 nm, 230 °C için 1700 nm ve 240 °C için 1750 nm. Son olarak, 210 °C'de 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilen SnS ince filmin yasak enerji aralığı 1,56 eV değerinde bulunmuştur.

Yapılan deneyler ve elde edilen veriler sonucunda, SLG alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için daha yüksek sıcaklıklarda sülfürlemeye uygunken, SLG/Mo alttaban üzerine büyütülen SnS ince filmi için daha düşük sıcaklıklarda sülfürlemeye uygun olduğu anlaşılmıştır.

Ayrıca yapılan tüm deneyler sonucunda düşük sülfürleme sıcaklığında metalik Sn atomlarının film içinde varlığına devam ettirdiği, yüksek sülfürleme sıcaklıklarında ise SnS<sub>2</sub> ikincil fazın yapı içerisinde oluşmaya başladığı görülmüştür. Sabit sıcaklıkta sülfürleme şartlarında, sürenin arttırılması da ayrıca SnS<sub>2</sub> ikincil fazın yapı içerisinde daha fazla oluşmaya başlamasına neden olduğu anlaşılmıştır.

Bu çalışmanın son aşamasında ise 210 °C, 150 dk sülfürleme şartlarında elde edilmiş SLG/Mo/SnS yarıiletken ince filmin üzerine 1 saat, 2 saat, 3 saat ve 4 saat farklı sürelerde CdS yarıiletken ince filmleri büyütülmüş olup SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklem ince film üretilmiştir.

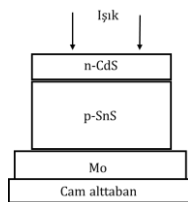
Elde edilen SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklem ince filmlerin yapısal özellikleri incelenerek CdS ince filminin SLG/Mo/SnS ince film üzerine büyüme oranları ve SEM görüntüleri incelenmiştir. CdS ince filminin tüm büyütme sürelerinde SnS ince film yüzeyine kaplandığı tespit edilmiş olup, büyütme süresinin artmasıyla CdS nano-parçacıklarının yüzeyden yukarı doğru tanecik boyutunda uzadığı tespit edilmiştir.

Elde edilen en iyi SnS ince filmlerinin yapısının içinde kabul edilebilir değerlerde de olsa SnS<sub>2</sub> ikincil fazlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu ikincil fazların yok edilebilmesi için şu işlemler yapılabilir;

1. Sülfürleme sıcaklığında, 5 °C ya da 10 °C küçük sıcaklık değişimleri uygulanarak SnS<sub>2</sub> ikincil fazlarının varlığının nasıl değişeceği incelenebilir. Bunun yanı sıra, sülfürleme süresinde de 5 dk ya da 10 dk küçük değişimler uygulanarak SnS<sub>2</sub> ikincil fazlarının varlığının nasıl değişeceği incelenebilir.

2. Farklı bir fikir olarak, sülfür atomunun buharlaşma sıcaklığı, kalay atomunun buharlaşma sıcaklığından düşüktür. Bu nedenle, elde edilen SnS ince filmleri farklı sıcaklıklara tavllanması, yapı içerisinde fazla bağlanmış sülfür atomlarını film yapısından uzaklaştırabilir.

Son olarak, elde edilmiş SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklem (Şekil 5.1.) ince filmlerin üzerlerine eklenecek kontak (Al, Ag, vb.) malzemelerle verim hesabı yapılabilir. Güneş pilinin verimi hakkında bilgi sahibi olunabilir ve elde edilecek verim değerlerinin nasıl arttırılabileceği üzerine daha fazla deneyler yapılabilir.



**Şekil 5.1.** SLG/Mo/p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklemi.

## KAYNAKLAR

- [1]. Nair, P. K., Garcia-Angelmo, A. R., Nair, M. T. S. (2016). Cubic and orthorhombic SnS thin-film absorbers for tin sulfide solar cells. *Physica Status Solidi (a)*, 213(1), 170-177.
- [2]. Sugiyama, M., Miyauchi, K., Minemura, T., & Nakanishi, H. (2008). Sulfurization growth of SnS films and fabrication of CdS/SnS heterojunction for solar cells. *Japanese Journal of Applied Physics*, 47(12R), 8723.
- [3]. Avellaneda, D., Krishnan, B., Rodriguez, A. C., Roy, T. D., Shaji, S. (2015). Heat treatments in chemically deposited SnS thin films and their influence in CdS/SnS photovoltaic structures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26(8), 5585-5592.
- [4]. Steinmann, V., Jaramillo, R., Hartman, K., Chakraborty, R., Brandt, R. E., Poindexter, J. R., Lee, Y. S., Sun, L., Polizzotti, A., Park, H. H., Gordon, R. G. (2014). 3.88% efficient tin sulfide solar cells using congruent thermal evaporation. *Advanced Materials*, 26(44), 7488-7492.
- [5]. Patel, M., Ray, A. (2015). Junction and Back Contact Properties of Spray-Deposited M/SnS/In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/SnO<sub>2</sub>: F/Glass (M= Cu, Graphite) Devices: Considerations to Improve Photovoltaic Performance. *Journal of Electronic Materials*, 44(1), 558-567.
- [6]. Avellaneda, D., Nair, M. T. S., Nair, P. K. (2009). Photovoltaic structures using chemically deposited tin sulfide thin films. *Thin Solid Films*, 517(7), 2500-2502.
- [7]. Xu, J., Yang, Y., Xie, Z. (2014). Fabrications of SnS thin films and SnS-based heterojunctions on flexible polyimide substrates. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(7), 3028-3033.
- [8]. Verma, A., Asthana, P. (2020). Modeling of thin film solar photovoltaic based on ZnO/SnS Oxide-absorber substrate configuration. *technology*, 1, 2.
- [9]. Andrade-Arvizu, J. A., Courel-Piedrahita, M., Vigil-Galán, O. (2015). SnS-based thin film solar cells: perspectives over the last 25 years. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26(7), 4541-4556.
- [10]. Klochko, N. P., Lukianova, O. V., Kopach, V. R., Tyukhov, I. I., Volkova, N. D., Khrypunov, G. S., Lyubov, V.M., Kharchenko, M.M., Kirichenko, M. V. (2016). Development of a new thin film composition for SnS solar cell. *Solar Energy*, 134, 156-164.
- [11]. Zhu, L., Wang, L., Xue, F., Chen, L., Fu, J., Feng, X., Li, T., Wang, Z. L. (2016). Piezo-Phototronic Effect Enhanced Flexible Solar Cells Based on n-ZnO/p-SnS Core-Shell Nanowire Array. *Advanced Science*.

- [12]. Banai, R. E., Horn, M. W., Brownson, J. R. S. (2016). A review of tin (II) monosulfide and its potential as a photovoltaic absorber. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 150, 112-129.
- [13]. 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.
- [14]. Ozcan, G. C., Gubur, H. M., Alpdoğan, S., Zeyrek, B. K. (2016). The investigation of the annealing temperature for CdS cauliflower-like thin films grown by using CBD. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(11), 12148-12154.
- [15]. Aguilera, M. A., Márquez, J. F., Trujillo, M. G., Kuwahara, Y. M., Morales, G. R., Galán, O. V. (2014). Influence of CdS thin films growth related with the substrate properties and conditions used on CBD technique. *Energy Procedia*, 44, 111-117.
- [16]. Guneri, E., Ulutas, C., Kirmizigul, F., Altindemir, G., Gode, F., Gumus, C. (2010). Effect of deposition time on structural, electrical, and optical properties of SnS thin films deposited by chemical bath deposition. *applied surface science*, 257(4), 1189-1195.
- [17]. Nair, P. K., Garcia-Angelmo, A. R., Nair, M. T. S. (2016). Cubic and orthorhombic SnS thin-film absorbers for tin sulfide solar cells. *physica status solidi (a)*, 213(1), 170-177.
- [18]. Joshi, L. P., Risal, L., & Shrestha, S. P. (2016). Effects of Concentration of Triethanolamine and Annealing Temperature on Band Gap of Thin Film of Tin Sulphide Prepared by Chemical Bath Deposition Method. *Journal of Nepal Physical Society*, 3(1), 1-5.
- [19]. Fathy, M., Kashyout, A. E. H. B., Elyamny, S., Roston, G. D., Bishara, A. A. (2014). Effect of CdCl<sub>2</sub> Concentration and Heat Treatment on Electrodeposited Nano-Crystalline CdS Thin Films from Non-Aqueous Solution. *Int. J. Electrochem. Sci*, 9, 6155-6165.
- [20]. Brownson, J. R., Georges, C., Larramona, G., Jacob, A., Delatouche, B., Lévy-Clément, C. (2008). Chemistry of tin monosulfide ( $\delta$ -SnS) electrodeposition effects of pH and temperature with tartaric acid. *Journal of the Electrochemical Society*, 155(1), D40-D46.
- [21]. Mariappan, R., Ragavendar, M., Ponnuswamy, V. (2011). Structural and optical characterization of SnS thin films by electrodeposition technique. *optica applicata*, 41(4), 989-997.
- [22]. Hennayaka, H. M. M. N., Lee, H. S. (2014). Effect of rapid thermal annealing on the microstructural and optical properties of electrodeposited SnS thin films. *Electronic Materials Letters*, 10(1), 217-221.

- [23]. Jassim, S. A. J., Zumaila, A. A. R. A., Al Waly, G. A. A. (2013). Influence of substrate temperature on the structural, optical and electrical properties of CdS thin films deposited by thermal evaporation. *Results in Physics*, 3, 173-178.
- [24]. Kevin, P., Lewis, D. J., Raftery, J., Malik, M. A., O'Brien, P. (2015). Thin films of tin (II) sulphide (SnS) by aerosol-assisted chemical vapour deposition (AACVD) using tin (II) dithiocarbamates as single-source precursors. *Journal of Crystal Growth*, 415, 93-99.
- [25]. Calixto-Rodriguez, M., Martinez, H., Sanchez-Juarez, A., Campos-Alvarez, J., Tiburcio-Silver, A., Calixto, M. E. (2009). Structural, optical, and electrical properties of tin sulfide thin films grown by spray pyrolysis. *Thin solid films*, 517(7), 2497-2499.
- [26]. Yılmaz, S., Törelı, S. B., Polat, İ., Olgar, M. A., Tomakin, M., Bacaksız, E. (2017). Enhancement in the optical and electrical properties of CdS thin films through Ga and K co-doping. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 60, 45-52.
- [27]. Sfaelou, S., Sygellou, L., Dracopoulos, V., Travlos, A., Lianos, P. (2014). Effect of the nature of cadmium salts on the effectiveness of CdS SILAR deposition and its consequences on the performance of sensitized solar cells. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(40), 22873-22880.
- [28]. Gao, C., Shen, H., Sun, L., Huang, H., Lu, L., Cai, H. (2010). Preparation of SnS films with zinc blende structure by successive ionic layer adsorption and reaction method. *Materials Letters*, 64(20), 2177-2179.
- [29]. Ghosh, B., Das, M., Banerjee, P., Das, S. (2008). Fabrication and optical properties of SnS thin films by SILAR method. *Applied surface science*, 254(20), 6436-6440.
- [30]. Hartman, K., Johnson, J. L., Bertoni, M. I., Recht, D., Aziz, M. J., Scarpulla, M. A., Buonassisi, T. (2011). SnS thin-films by RF sputtering at room temperature. *Thin Solid Films*, 519(21), 7421-7424.
- [31]. Banai, R. E., Lee, H., Motyka, M. A., Chandrasekharan, R., Podraza, N. J., Brownson, J. R., Horn, M. W. (2013). Optical properties of sputtered SnS thin films for photovoltaic absorbers. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 3(3), 1084-1089.
- [32]. Xu, J., Yang, Y., Xie, Z. (2014). Effect of vacuum annealing on the properties of sputtered SnS thin films. *Chalcogenide Letters*, 11(10), 485-491.
- [33]. Jiang, F., Shen, H., Gao, C., Liu, B., Lin, L., Shen, Z. (2011). Preparation and properties of SnS film grown by two-stage process. *Applied Surface Science*, 257(11), 4901-4905.



- [34]. Klochko, N. P., Momotenko, O. V., Tyukhov, I. I., Volkova, N. D., Kopach, V. R., Khrypunov, G. S., Lyubov, V. M., Kirichenko, M. V. (2015). Structure and properties of SnS thin layers obtained by sulfurization of electrodeposited tin precursors. *Solar Energy*, 118, 117-125.
- [35]. Reddy, V. R. M., Gedi, S., Park, C., Miles, R. W., Reddy, K. T. R. (2015). Development of sulphurized SnS thin film solar cells. *Current Applied Physics*, 15(5), 588-598.
- [36]. Caballero, R., Condé, V., León, M. (2016). SnS thin films grown by sulfurization of evaporated Sn layers: Effect of sulfurization temperature and pressure. *Thin Solid Films*, 612, 202-207.
- [37]. Hodes G., *Chemical Solution Deposition Of Semiconductor Films*. 1st ed.; New York-Basel, 2002; p 1, 52-55.
- [38]. Vossen J. L.; Kern W., *Thin Film Processes*. 1st ed.; New York, 1978; p 12-62.
- [39]. Almen, O., Bruce, G. (1961). Collection and sputtering experiments with noble gas ions. *Nuclear Instruments and Methods*, 11, 257-278.
- [40]. Almen, O., Bruce, G. (1961). Sputtering experiments in the high energy region. *Nuclear Instruments and Methods*, 11, 279-289.
- [41]. Brown, E., Leck, J. H. (1955). Desorption of gas in the cold cathode ionization gauge. *British Journal of Applied Physics*, 6(5), 161.
- [42]. Erents, K., Carter, G. (1969). Ion induced re-emission of noble gas atoms from polycrystalline tungsten: I. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2(3), 435.
- [43]. Winters, H. F., Sigmund, P. (1974). Sputtering of chemisorbed gas (nitrogen on tungsten) by low-energy ions. *Journal of Applied Physics*, 45(11), 4760-4766.
- [44]. Vossen, J. L. (1971). Contamination in films sputtered from hot-pressed targets. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 8(6), 751-752.
- [45]. Bacuvier, P., Lavallée, P. (1976). Some experimental data related to cathodic sputtering of powders. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 13(5), 1101-1103.
- [46]. Gillam, E. (1959). The penetration of positive ions of low energy into alloys and composition changes produced in them by sputtering. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 11(1-2), 55-67.
- [47]. Patterson, W. L., Shirn, G. A. (1967). The Sputtering of Nickel-Chromium Alloys. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 4(6), 343-346.

- [48]. Ogar, W. T., Olson, N. T., Smith Jr, H. P. (1969). Simultaneous Measurement of Sputtered Constituents of Cu<sub>3</sub>Au. *Journal of Applied Physics*, 40(12), 4997-4998.
- [49]. Naguib, H. M., Kelly, R. (1972). On the increase in the electrical conductivity of MoO<sub>3</sub> and V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> following ion bombardment. Studies on bombardment-enhanced conductivity-I. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 33(7-9), 1751IN4-1759IN5.
- [50]. Murti, D. K., Kelly, R. (1976). Preferential oxygen sputtering from Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. *Thin Solid Films*, 33(2), 149-163.
- [51]. Takei, W. J., Formigoni, N. P., Francombe, M. H. (1970). Preparation and epitaxy of sputtered films of ferroelectric Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 7(3), 442-448.
- [52]. Jorgenson, G. V., Wehner, G. K. (1965). Sputtering studies of insulators by means of Langmuir probes. *Journal of Applied Physics*, 36(9), 2672-2674.
- [53]. Vossen, J. L. (1976). Inhibition of chemical sputtering of organics and C by trace amounts of Cu surface contamination. *Journal of Applied Physics*, 47(2), 544-546.
- [54]. Holland, L. (1977). Some characteristics and uses of low-pressure plasmas in materials science. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 14(1), 5-15.
- [55]. Hanak, J. J., Pellicane, J. P. (1976). Effect of secondary electrons and negative ions on sputtering of films. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 13(1), 406-409.
- [56]. Davis, W. D., Vanderslice, T. A. (1963). Ion energies at the cathode of a glow discharge. *Physical Review*, 131(1), 219.
- [57]. Brewer, A. K., Westhaver, J. W. (1937). The cathode region in the glow discharge. *Journal of Applied Physics*, 8(11), 779-782.
- [58]. Koenig, H. R., Maissel, L. I. (1970). Application of RF discharges to sputtering. *IBM Journal of research and development*, 14(2), 168-171.
- [59]. Butler, H. S., Kino, G. S. (1963). Plasma Sheath Formation by Radio-Frequency Fields. *The physics of fluids*, 6(9), 1346-1355.
- [60]. Coburn, J. W., Kay, E. (1972). Positive-ion bombardment of substrates in rf diode glow discharge sputtering. *Journal of Applied Physics*, 43(12), 4965-4971.
- [61]. Teer, D. G., Delcea, B. L., Kirkham, A. J. (1976). The Role of Neutral Atoms in Ion Plating. *The Journal of Adhesion*, 8(2), 171-178.

- [62]. Teer, D. G. (1977). Adhesion of ion plated films and energies of deposition. *The Journal of Adhesion*, 8(4), 289-300.
- [63]. Schwartz, G. C., Jones, R. E. (1970). Argon content of SiO<sub>2</sub> films deposited by RF sputtering in argon. *IBM Journal of Research and Development*, 14(1), 52-60.
- [64]. Ceylan, A. (2017). Synthesis of SnS thin films via high vacuum sulfidation of sputtered Sn thin films. *Materials Letters*, 201, 194-197.
- [65]. Pierson H. O., *Handbook of chemical vapor deposition (CVD) principles, technology and applications*. 2nd ed.; Norwich, New York, 1999; p 36-65.
- [66] Videla, H. A., Herrera, L. K. (2005). Corrosión de origen microbiológico: mirando al futuro. *International Microbiology*, 8(3), 169-180.
- [67] Yuan, S. J., Pehkonen, S. O. (2007). Microbiologically influenced corrosion of 304 stainless steel by aerobic *Pseudomonas NCIMB 2021* bacteria: AFM and XPS study. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(1), 87-99.
- [68] Thomas, D., Abraham, J., Sunil, C. V., Augustine, S., Dennis Thomas, T. (2014). Antibacterial activity of pure and cadmium doped ZnO thin film. *Am J Pharm Res*, 4, 1612-1616.
- [69] Jeon, H. J., Yi, S. C., Oh, S. G. (2003). Preparation and antibacterial effects of Ag-SiO<sub>2</sub> thin films by sol-gel method. *Biomaterials*, 24(27), 4921-4928.
- [70] Abd-Elkader, O. H., Shaltout, A. A. (2015). Characterization and antibacterial capabilities of nanocrystalline CdS thin films prepared by chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 35, 132-138.
- [71] Alpdoğan, S., Adıgüzel, A. O., Sahan, B., Tunçer, M., Gubur, H. M. (2017). Effects of bacteria on CdS thin films used in technological devices. *Materials Research Express*, 4(4), 046402.
- [72] Chaki, S. H., Chaudhary, M. D., Deshpande, M. P. (2016). SnS thin films deposited by chemical bath deposition, dip coating and SILAR techniques. *Journal of Semiconductors*, 37(5), 053001.
- [73] Calixto-Rodriguez, M., Martinez, H., Sanchez-Juarez, A., Campos-Alvarez, J., Tiburcio-Silver, A., Calixto, M. E. (2009). Structural, optical, and electrical properties of tin sulfide thin films grown by spray pyrolysis. *Thin solid films*, 517(7), 2497-2499.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Soner ALPDOĞAN

**Doğum Tarihi** : 11.06.1983

**E-mail** : soneralpdogan@gmail.com

**Öğrenim Durumu** :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik	Mersin Üniversitesi	2004-2009
Yüksek Lisans	Fizik Anabilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2009-2012
Doktora	Fizik Anabilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2012-2018

**Görevler** :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü	2010-2018

## ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

### Makaleler:

1. Alpdoğan, S., Aydoğdu, O., Havare, A. (2013). Relativistic spinless particles in the generalized asymmetric Woods-Saxon potential. Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 46(1), 015301.
2. Alpdoğan, S., Havare, A. (2014). Dirac particle for the position dependent mass in the generalized asymmetric Woods-Saxon potential. Advances in High Energy Physics, 2014.
3. Taş, A., Alpdoğan, S., Havare, A. (2014). The scattering and bound states of the Schrödinger particle in generalized asymmetric Manning-Rosen type potential. Advances in High Energy Physics, 2014.

4. Gubur, H. M., Septekin, F., Alpdogan, S. (2015). CdSe nanowires grown by using chemical bath deposition. *Journal of the Korean Physical Society*, 67(7), 1222-1227.
5. Gubur, H. M., Septekin, F., Alpdogan, 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*, 27(7), 7640-7645.
6. Yildirim, E., Gubur, H. M., Alpdogan, S., Ari, M., Harputlu, E., Ocakoglu, K. (2016). The effect of annealing of ZnSe nanocrystal thin films in air atmosphere. *Indian Journal of Physics*, 90(7), 793-803.
7. Ozcan, G. C., Gubur, H. M., Alpdogan, S., Zeyrek, B. K. (2016). The investigation of the annealing temperature for CdS cauliflower-like thin films grown by using CBD. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(11), 12148-12154.
8. Alpdogan, S.; Adiguzel, A.; Sahan, B.; Tuncer, M.; Gubur, H. M. (2017). Effects of bacteria on CdS thin films using for technological devices. *Mater. Res. Exp.*, 4, 046402.
9. Gubur, H. M.; Septekin, F.; Alpdogan, S.; Ozmen, S. I. (2018). Effect of Annealing Temperature on the CdSe/FTO (SnO<sub>2</sub>: F) Nanowires Grown by Chemical Bath Deposition. *IOSR Journal of Applied Physics*, 10(4), 07-14.
10. Serpil K. A.; Ali O. A.; Hilal A.; Soner A.; Nevzat Ş.; Ayten Ç.; Remziye Serap E.; Hülya M. G.; Münir T. (2018) Genotoxic, cytotoxic, antimicrobial and antioxidant properties of gold nanoparticles synthesized by *Nocardia* sp. GTS18 using response surface methodology. *Mater. Res. Exp.*, Accepted.

#### **Bildiriler:**

11. Alpdogan, S.; Havare, A., Scattering of relative and non-relative particles by generalized Woods-Saxon potential. *Turkish Physical Society 28th International Physics Conference*, 2011.
12. Gubur, H. M.; Septekin, F.; Alpdogan, S., Characterization of CdSe thin Films Deposited by CBD on Different Substrate. *Turkish Physical Society 31th International Physics Conference*, 2014.
13. Yildirim, E.; Gubur, H. M.; Alpdogan, S., The effect of annealing temperature on the structural, optical and electrical properties of ZnSe Films. *Turkish Physical Society 31th International Physics Conference*, 2014.
14. Alpdoğan, S.; Gübür, H. M., Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilen CdTe Yarıiletken ince filmlerinin incelenmesi. 5. Ulusal Anorganik Kimya Kongresi, 2015.
15. Alpdoğan, S.; Ozcan, G. C.; Gübür, H. M., Tavlama Sıcaklığının CdS Yarıiletken İnce Film Üzerine Etkisi. 5. Ulusal Anorganik Kimya Kongresi, 2015.

16. Alpdoğan, S.; Adiguzel, A.; Sahan, B.; Tuncer, M.; Gubur, H. M., Effects of microorganisms on Cadmium Sulfide thin films. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, Adana, Türkiye, 2016.
17. Gubur, H. M.; Septekin, F.; Alpdoğan, S. Effect of annealing temperature on the CdSe/FTO Corn-like nanowires grown by chemical bath. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016.
18. Şahan, B.; Gubur, H. M.; Alpdoğan, S., Farklı Kalınlıklarda CBD ile Üretilen CdS İnce Filmlerinin Üzerine Farklı Ortamlarda Tavlamanın Etkisi, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, Adana, Türkiye, 2016.
19. Alpdoğan, S.; Septekin, F.; Gubur, H. M., Influence of annealing in nitrogen atmosphere on the cadmium selenide thin films. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, Adana, Türkiye, 2016.
20. Ozcan, G. C.; Gubur, H. M.; Alpdoğan, S., Effect of annealing on the cadmium sulfide cauliflower-like thin films. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, 2016-10-26, 2016-10-28, Adana, Türkiye, 2016.
21. Gubur, H. M.; Alpdoğan, S.; İldan S. Ö.; Septekin, F., Compared of the Annealing Temperature on the CdSe/FTO (SnO<sub>2</sub>:F)-CdSe/Glass Corn-like Nanowires prepared by Chemical Bath Deposition. 4th International conference on materials science and nanotechnology for next generation, 2017-06-28, 2017-06-30, Saraybosna/Bosna-Hersek, 2017.
22. Yılmaz Ö.; Gubur, H. M.; Şahan B.; İldan S. Ö.; Alpdoğan, S., Characterization of the ZnS Thin Film Prepared by Chemical Bath Deposition. 4th International conference on materials science and nanotechnology for next generation, 2017-06-28, 2017-06-30, Saraybosna/Bosna-Hersek, 2017.
23. Yılmaz Ö.; Şahan B.; İldan S. Ö.; Alpdoğan, S.; Gubur, H. M., Effect of Deposition Temperature on ZnS Thin Film for Chemical Bath Deposition, Temperature, International Conference on Condensed Matter and Materials Science (ICMMS-2017), 2017-10-11, 2017-10-15, Adana, Türkiye, 2017.
24. İldan S. Ö.; Alpdoğan, S.; Gubur, H. M., Preparation of Nanostructure CdTe Thin Film by Electrochemical Deposition at Room Temperature, International Conference on Condensed Matter and Materials Science (ICMMS-2017), 2017-10-11, 2017-10-15, Adana, Türkiye, 2017.
25. Alpdoğan, S.; Gubur, H. M.; Çetin Ş. S.; Özçelik S.; Kocabaş C.; Özcan Ş.; Ceylan A., The Effects of Temperature and Time on High Vacuum Sulfidation of Sputtered Sn Thin Films

on SLG and SLG/Mo Substrates, 13th Nanoscience&Nanotechnology Conference, 2017-10-22, 2017-10-25, Belek/Antalya, Türkiye, 2017.

- 26.** Ceylan A.; Alpdoğan, S.; Kaynar M. B.; Sönmez N. H.; Gubur, H. M.; Özçelik S.; Özcan Ş.; Rockett A. Detailed structural and optical investigations of SnS thin films synthesized by high vacuum sulfidation of sputtered Sn thin films, Science and Applications of Thin Films, Conference & Exhibition (SATF 2018), 2018-09-17, 2018-09-21, İzmir, Türkiye, 2018.

