

**Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği
İle Elde Edilen CdS Filmlerinin
Bazı Fiziksel Özelliklerinin
İncelenmesi**

Şadan Özkan

**DOKTORA TEZİ
Fizik Anabilim Dalı**

Temmuz 2007

**The Studies Of
Some Physical Properties Of CdS Films
Grown By
Ultrasonic Spray Pyrolysis Technique**

Şadan Özkan

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Physics

July 2007

**Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği İle Elde Edilen CdS Filmlerinin Bazı
Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi**

Şadan Özkan

**Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisanüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Katıhal Fiziği Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışmanlar

Yrd. Doç. Dr. Salih KÖSE (1. Danışman)

Doç. Dr. Vildan BİLGİN (2. Danışman)

**Haziran
2007**

Şadan ÖZKAN'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “ULTRASONİK KİMYASAL PÜSKÜRTME TEKNİĞİ İLE ELDE EDİLEN CdS FİMLERİNİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Yard. Doç.Dr. Salih Köse (Danışman) :

Üye : Prof. M. Selami KILIÇKAYA :

Üye : Prof.Dr. H.Hüseyin ERKAYA :

Üye : Yard. Doç.Dr. Şenol AYBEK :

Üye : Yard. Doç.Dr. Ömer ÖZBAŞ :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / 200.... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

CdS filmleri Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Yöntemi ile $300\pm 5^{\circ}\text{C}$ taban sıcaklığındaki cam tabanlar üzerine çöktürülmüştür. Isıl tavlama; $200\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'den $450\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar altı farklı sıcaklıkta 3 saat süre ile hava ortamda ayrı ayrı yapılmıştır. Filmlerin kalınlıkları $1,0\text{-}4,9\ \mu\text{m}$ arasında ölçülmüş, $\%x_u$ üniformlulukları ise $\%62,50\text{-}\%90,91$ arasında hesaplanmıştır. Tanecik büyüklükleri $116,22\text{-}163,26\ \text{Å}$ arasında hesaplanan numunelerin XRD desenleri $20^{\circ}\text{-}60^{\circ}$ aralığında 25°C ortam sıcaklığında alınmıştır. δ_D düzlemsel dislokasyonları, $\langle e \rangle$ düzlemsel deformasyonları ile TC yapılanma katsayıları hesaplanmış ve bu sonuçlara göre tercihli yönelimlerinin; hem yarı pik genişliği en dar hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan A2, A3, A4 ve A6 numuneleri için (100) ve A0, A1 ve A5 numuneleri için (002) düzlemlerinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Numunelerin temel absorbanans spektrumları yardımıyla; geçirgenlikleri $\%67,60\text{-}\%76,15$, kırılma indisleri $1,75\text{-}1,96$, yasak enerji aralıkları $2,41\text{-}2,43\ \text{eV}$, Urbach parametreleri ise $85\text{-}244\ \text{meV}$ arasında hesaplanmıştır. Sıcak uç yöntemi ile numunelerin iletkenlik tipleri n-tipi olarak bulunmuştur. ρ özdirençleri, karanlık ve aydınlık şartlar altında sırasıyla $1,84.10^{+5}\text{-}1,74.10^{+6}\ (\Omega\text{cm})$ ve $6,92.10^{+3}\text{-}6,65.10^{+5}\ (\Omega\text{cm})$ olarak hesaplanan filmlerin fotoiletkenlikleri $4,69.10^{-6}\text{-}1,07.10^{-4}\ (\Omega\text{cm})^{-1}$, ftohassasiyetleri ise $8,18\text{-}157,94$ arasında hesaplanmış olan numunelerin I~V karakteristiklerine göre tam bir ohmikliğe sahip olmadıkları ve aydınlık şartlar ($25\ \text{mW/cm}^2$) altında ışığa karşı duyarlı oldukları belirlenmiştir. Pürüzlülük katsayıları $10,34\text{-}45,00$ arasında değişen numunelerin optik mikroskop görüntüleri ile renk değişimleri, AFM görüntüleri ile yüzeysel durumları, SEM ile yüzey morfolojileri, EDS ile elemental analizleri incelenmiştir. Numunelerin homojen yüzeylere sahip olmadığı gözlenmiş ve ısıl tavlamanın etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : CdS filmleri, XRD, yapılanma katsayısı, yarı pik aralığı, tercihli yönelme, geçirgenlik, kırılma indisi, yasak enerji aralığı, iletkenlik tipi, renk merkezleri, optik mikroskop, AFM, SEM, EDS

SUMMARY

CdS films were deposited at $300\pm 5^\circ\text{C}$ substrate temperature on glass substrates by ultrasonic spray pyrolysis technique. Thermal annealing were realized in air surroundings during 3 hours one by one for all samples for six different temperatures to $450\pm 2^\circ\text{C}$ from $200\pm 2^\circ\text{C}$ ranging. The films' thicknesses were measured between 1,0-4,9 μm and $\%x_u$ uniformities were calculated between $\%62,50$ - $\%90,91$. The grain sizes were measured between 116,22-163,26 \AA and XRD patterns were captured for $2\theta = 20^\circ$ - 60° in ambient temperature 25°C for each sample. The planar dislocations (δ_D), planar deformations ($\langle e \rangle$) and texture coefficients (TC) were measured for each of them and according to these results their preferred orientations were observed for both the narrowest the full width at half maximum (FWHM) and most large texture coefficient in (100) planar for A2, A3, A4, A6, in (002) planar for A0, A1, A5 sample films. With the help of absorption, spectrums of sample films calculated respectively, transmissions between $\%67,60$ - $\%76,15$, refractive indices between 1.75-1.96, band-gap energies 2.41-2.43 eV and Urbach parameters between 85-244 meV. The conductivity types of samples were deduced as n-type. The resistivities (ρ) were calculated to be in the range $1,84.10^{+5}$ - $1,74.10^{+6}$ (Ωcm), $6,92.10^{+3}$ - $6,65.10^{+5}$ (Ωcm) in dark and light conditions, meanwhile photoconductivity and photosensitivity were calculated in the same way and respectively, between $4,69.10^{-6}$ - $1,07.10^{-4}$ (Ωcm) $^{-1}$, 8,18-157,94 each of them for samples that their not complete ohmic were showed according to I~V characteristics, hardly their were deduced sensitive to light (25 mW/cm^2) in light conditions. The root mean squares values changed between 10,34-45,00 sample of films were investigated the changing of colour, surface situations, surface morphologies and elemental analysis by Optic Microscope, AFM, SEM and EDS, respectively.

Keywords : CdS films, XRD, texture coefficient, FWHM, preferred orientation, transmission, refractive indice, band-gap energy, conductivity type, color centers, optic microscope, AFM, SEM, EDS.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde beni yönlendirerek bilimsel katkılarını ve desteğini esirgemeyen, Danışmanlarım Sayın Yard.Doç.Dr. Salih KÖSE ve Doç.Dr. Vildan BİLGİN'e en içten saygı ve sevgilerimin yanı sıra teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Uzun yıllardır sürekli desteğini her zaman yanımda hissettiğim sevgili hocam Fizik Bölüm Başkanı Sayın Prof. M. Selami KILIÇKAYA' ya, çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Ferhunde ATAY'a, Arş.Gör.Dr.İdris AKYÜZ'e ve Fizik bölümündeki tüm öğretim elemanı arkadaşlara teşekkür ederim.

XRD çekimlerini yapan ESOGÜ Metalürji Enstitüsünden Sayın Prof.Dr. Remzi GÜRLER'e, AFM çekimlerini yapan TEKNOTIP firması elemanları Erman YENİHAYAT ve Arda MUNGAN'a, SEM ve EDS çekimlerini yapan Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Arş.Gör. Erhan AYAS'a ve diğer öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Kurumlarında görev yaptığım sırasıyla, Bursa İli İznik İlçesi Kılıçaslan İlköğretim Okulu Müdürü Sayın Nuri NAMOĞLU ve İznik Anadolu Lisesi Müdürü Sayın Bekir BEKTAŞ ile her iki okulda da yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen öğretmen arkadaşlara ve idari personele gösterdikleri iyi niyet ve sabırları için teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında ve günlük hayatta ve evde desteklerini esirgemedikleri gibi maddi ve manevi her duruma ve bana katlanan; güzel insan ve çocuklarıımın annesi, eşim Mesude'ye ve çocuklarıım Şeniz Merve ve Doruk Arda 'ya; eşsiz ve babasız geçirdikleri her saat için sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER DİZİNİ	xxi
KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv

BÖLÜM I

YARIİLETKENLER

1.1. Giriş	1
1.2. Kristal yapıları	1
1.3. Elektriksel Özellikleri	9
1.4. Absorbsiyon Özellikleri ve Band Geçişleri	13
1.5. Yarıiletkenlerin ve Filmlerinin Teknolojideki Önemi	17

BÖLÜM II

CdS FİMLERİ

2.1. Giriş	20
2.2. CdS Filmlerinin Özellikleri	20
2.3. Kimyasal Püskürtme Tekniği İle Film Üretimi	23
2.4. UKP Yöntemi İle CdS Film Örneklerinin Elde Edilmesi	25

BÖLÜM III

CdS FİMLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş	37
3.2. Filmlerin Yapısal Özellikleri Ve XRD Spektrumu	37
3.3. CdS Filmlerinin XRD Spektrumları	46
3.3.1. A0 numunesinin XRD desenleri	47

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.2. A1 numunesinin XRD desenleri	50
3.3.3. A2 numunesinin XRD desenleri	52
3.3.4. A3 numunesinin XRD desenleri	54
3.3.5. A4 numunesinin XRD desenleri	56
3.3.6. A5 numunesinin XRD desenleri	58
3.3.7. A6 numunesinin XRD desenleri	60
3.3.8. XRD desenleri için genel değerlendirme ve tercihli yönelimler	62

BÖLÜM IV

CdS FİMLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

4.1. Giriş	75
4.2. Filmlerin Optik Özellikleri	75
4.2.1. CdS filmlerinin optik özellikleri	84
4.2.1.1. CdS filmlerinin geçirgenlikleri	85
4.2.1.2. CdS filmlerinin absorpsiyon ve yansıma değerleri	91
4.2.1.3. CdS filmlerinin kırılma indisleri	100
4.2.1.4. CdS filmlerinin absorpsiyon katsayıları	104
4.2.1.5. CdS filmlerinin lineer absorpsiyon katsayıları	108
4.2.1.6. CdS filmlerinin dielektrik sabitleri	113
4.2.1.7. CdS filmlerinin yasak enerji aralıkları	118
4.3. Filmlerin Elektriksel Özellikleri	125
4.3.1. Filmlerin iletkenlik tipleri	125
4.3.2. CdS filmlerinin özdirenç ve iletkenlikleri	130
4.3.2.1. Filmlerin özdirenç ve iletkenlikleri	133

BÖLÜM V

CdS FİMLERİNİN YÜZEY MORFOLOJİLERİ

5.1. Giriş	145
5.2. CdS Filmlerinin Yüzey Görüntüleri	146
5.3. Filmlerin Optik Mikroskop Görüntüleri	148
5.3.1. Renk merkezleri ve optik mikroskop görüntülerinde renk	157
5.4. Filmlerin AFM Görüntüleri	158

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5. SEM Görüntüleri ve Elemental Analizler	170
5.5.1. Filmlerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri	171
BÖLÜM VI	
TARTIŞMA VE SONUÇ	
6.1. Tartışma	198
6.2. Sonuç	203
EK AÇIKLAMALAR	205
KAYNAKLAR DİZİNİ	210
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. İletkenler, Yalıtkanlar ve Yarıiletkenler için Band Aralıkları gösterimi	3
1.2. (a) Fosfor katkılı Si kristali. Fosforun beşinci elektronu fosfora zayıf bir kuvvetle bağlıdır. (b) donör enerji seviyesi iletim bandına yakın olup (c) yarıiletkenin enerji seviyesi iletim bandına yaklaşmıştır.....	5
1.3. (a) Boron katkılı Si kristali. Borona bağlı boş durum Si-Si bağından bir elektronla doldurulur (b) donör enerji seviyesi valans bandına yakın olup (c) yarıiletkenin enerji seviyesi valans bandına yaklaşmıştır	6
1.4. (a) Has bir yarıiletkende yasak enerji aralığı iletim ve valans bandlarının toplamının yarısı kadardır (b) n tipi bir iletkende fermi enerji düzeyi valans bandından uzaklaşarak iletim bandına yaklaşır (c) p tipi bir yarıiletkende ise fermi enerjisi düzeyi iletim bandından uzaklaşarak valans bandına yaklaşır.....	7
1.5. Has yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı, iletim bandı ile valans bandına hemen hemen eşit uzaklıktadır.	8
1.6. Mutlak Sıfırda saf yalıtkanlarda optik soğurma (a) Eşik Enerji, enerji aralığını $E_g = h\nu_g$ olarak belirler. (b) Eşik yakınındaki optik soğurma daha zayıftır. $h\nu = E_g = h\nu_{fonon}$ 'da üç parçacık yaratılması ile bir foton soğurulur..	15
1.7. Optik soğurma ve band geçişleri	16
2.1. Ultrasonik kimyasal püskürtme yönteminin şematik gösterimi.....	26
2.2. Ultrasonik kimyasal püskürtme yönteminde kullanılan sistemin fotoğrafı.....	27
2.3. Spray pyrolysis yönteminde kullanılan atomizerin aerodinamiği	28
2.4. Damlacık boyutuna bağlı çeşitli çöktürme yöntemleri.....	31
2.5. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin sabit taban sıcaklığında farklı tavlama sıcaklığına bağlı üniformluk değerlerinin şematik gösterimi.....	35
3.1. x-ışınlarının atomik düzlemlerden difraksiyonu.....	39
3.2. Bragg geometrisine göre 2θ daima gelen ve yansıyan ışınlar arasındaki açıdır.....	41
3.3. Örgü deformasyonunun çizgi genişliği ve konumu üzerindeki etkisi.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.4. A0 numunesi XRD desenleri.....	49
3.5. A1 numunesi XRD desenleri.....	51
3.6. A2 numunesi XRD desenleri	53
3.7. A3 numunesi XRD desenleri	55
3.8. A4 numunesi XRD desenleri	57
3.9. A5 numunesi XRD desenleri	59
3.10. A6 numunesi XRD desenleri.....	61
3.11. Numunelerin tercihli yönelim gösterdiği ve piklerin oluştuğu düzlemler arasındaki d (Å) değerlerinin yığılma analizi.....	62
3.12. Numunelerin örgü sabitleri dağılımı analizi.....	63
3.13. Piklenmenin gözlemlendiği düzlemlerdeki düzlemsel dislokasyonların numuneler bazında dağılımı.....	65
3.14. Piklenmenin gözlemlendiği düzlemlerdeki düzlemsel deformasyonların numuneler bazında dağılımı.....	66
3.15. Numunelerin tercihli yönelmelerinin olduğu düzlemlerdeki düzlemsel dislokasyonların numuneler bazında dağılımı.....	66
3.16. Numunelerin tercihli yönelmelerinin olduğu düzlemlerdeki düzlemsel deformasyonların numuneler bazında dağılımı.....	67
3.17. Tavlanmayan A0 numunesinin tercihli yönlenmesinin ve ilk üç pikinin olduğu düzlemlerdeki piklenme şiddetlerinin dağılımı.....	70
3.18. A1, A2 ve A3 numunelerinin tercihli yönlenmesinin ve ilk üç pikinin olduğu düzlemlerdeki piklenme şiddetlerinin dağılımı.....	71
3.19. A4, A5 ve A6 numunelerinin tercihli yönlenmesinin ve ilk üç pikinin olduğu düzlemlerdeki piklenme şiddetlerinin dağılımı.....	72
4.1. Yarıiletken bir malzemede temel absorpsiyon spektrumu.....	76
4.2. Işığın dik geliş durumunda soğurulma, geçirilme ve yansıma.....	77
4.3. A0 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	86
4.4. A1 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.5. A2 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	87
4.6. A3 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	88
4.7. A4 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	89
4.8. A5 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	89
4.9. A6 numunesinin geçirgenlik grafiği.....	90
4.10. Numunelerinin geçirgenlik değerlerine ait toplu gösterim grafikleri.....	90
4.11. A0, A1 ve A2 numunelerine ait absorbans değerleri.....	92
4.12. A3, A4 ve A5 numunelerine ait absorbans değerleri.....	93
4.13. A5 ve A6 numunelerine ait absorbans değerleri.....	94
4.14. Bütün numunelere ait absorbans değerleri.....	94
4.15. A0,A1 ve A2 numunelerine ait yansıma değerleri.....	96
4.16. A3, A4 ve A5 numunelerine ait yansıma değerleri.....	97
4.17. A6 numunesine ait yansıma değerleri	98
4.18. Bütün numunelere ait yansıma değerleri.....	98
4.19. A0 numunesine ait n kırılma indisi değerleri.....	100
4.20. A1, A2 ve A3 numunelerine ait n kırılma indisi değerleri.....	101
4.21. A4, A5 ve A6 numunelerine ait n kırılma indisi değerleri.....	102
4.22. Bütün numunelere ait n kırılma indisi değerleri.....	103
4.23. A0, A1 ve A2 numunelerine ait α (cm ⁻¹) absorpsiyon katsayısı değerleri...	105
4.24. A3, A4 ve A5 numunelerine ait α (cm ⁻¹) absorpsiyon katsayısı değerleri....	106
4.25. A6 numunesine ait α (cm ⁻¹) absorpsiyon katsayısı değerleri.....	107
4.26. Bütün numunelere ait α (cm ⁻¹) absorpsiyon katsayısı değerleri.....	107
4.27. A0 ve A1 numunelerine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri.....	109
4.28. A2, A3 ve A4 numunelerine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri.....	110
4.29. A5 numunesine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri.....	111
4.30. A6 numunesine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri.....	111
4.31. Bütün numunelere ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.32. A0 ve A1 numunelerine ait ϵ dielektrik sabiti değerleri.....	114
4.33. A2, A3 ve A4 numunelerine ait ϵ dielektrik sabiti değerleri.....	115
4.34. A5 ve A6 numunelerine ait ϵ dielektrik sabiti değerleri.....	116
4.35. Bütün numunelere ait ϵ dielektrik sabiti değerleri.....	117
4.36. A0 numunesine ait $(\alpha h\nu)^2 [\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim h\nu$ (eV) grafiği.....	119
4.37. A1 ve A2 numunelerine ait $(\alpha h\nu)^2 [\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim h\nu$ (eV) grafikleri.....	120
4.38. A3 numunesine ait $(\alpha h\nu)^2 [\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim h\nu$ (eV) grafiği.....	121
4.39. A4 ve A5 numunelerine ait $(\alpha h\nu)^2 [\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim h\nu$ (eV) grafikleri.....	122
4.40. A6 numunesine ait $(\alpha h\nu)^2 [\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim h\nu$ (eV) grafiği.....	123
4.41. Bütün numunelere ait $(\alpha h\nu)^2 [\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim h\nu$ (eV) grafikleri.....	124
4.42. Metal-Yarıiletken ^{n-tipi} kontağının enerji-band diyagramı ($e\phi_m > e\phi_s$).....	126
4.43. Metal-Yarıiletken ^{n-tipi} ohmik kontağının enerji-band diyagramı ($e\phi_m < e\phi_s$)...	127
4.44. Yüzey durumlarının metal-yarıiletken ^{n-tipi} kontağındaki enerji-band yapısına etkileri (a) donör tipi yüzey durumları (b) akseptör tipi yüzey durumları.....	128
4.45. (a) Sıcak uç yöntemi deney seti (b) n-tipi iletim mekanizması (c) p-tipi iletim mekanizması.....	129
4.46. CdS filmlerinin I~V karakteristiklerini elde etmek için kurulan deney seti (a) Karanlık şartlar için lamba kapalı durumdadır (b) Aydınlık şartlar içinse lamba açık durumdadır.....	134
4.47. A0 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	135
4.48. A1 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	136
4.49. A2 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	137
4.50. A3 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	138
4.51. A4 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	138
4.52. A5 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	139
4.53. A6 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri	140

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.54. CdS film numunelerinin aydınlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri ile bu şartlara bağlı ρ öz direnç ve σ iletkenlik değerleri.....	143
4.55. CdS film numunelerinin karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri ile bu şartlara bağlı ρ öz direnç ve σ iletkenlik değerleri.....	144
5.1. A0 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	150
5.2. A1 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	151
5.3. A2 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	152
5.4. A3 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	153
5.5. A4 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	154
5.6. A5 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	155
5.7. A6 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri	156
5.8. a) Tipik bir yarıiletkenin band diyagramı b) Düşük absorpsiyon iletimi gösterimi c) Düşük enerjili renklerin bağımlılığı d) Yasak enerji aralığına bağlı renk geçişleri.....	157
5.9. A0 numunesine ait AFM görüntüleri.....	159
5.10. A1 numunesine ait AFM görüntüleri.....	161
5.11. A2 numunesine ait AFM görüntüleri.....	162
5.12. A3 numunesine ait AFM görüntüleri.....	163
5.13. A4 numunesine ait AFM görüntüleri.....	165
5.14. A5 numunesine ait AFM görüntüleri.....	166
5.15. A6 numunesine ait AFM görüntüleri.....	167
5.16. Numunelerin film kalınlıkları, pürüzlülükleri ve tanecik boyutu değerlerinin grafik gösterimi.....	169
5.17. A0 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	172
5.18. A0 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları.....	173
5.19. A0 numunesinin 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	174
5.20. A1 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	175

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.21. A1 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları.....	177
5.22. A1 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	178
5.23. A2 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	179
5.24. A2 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları	180
5.25. A2 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	181
5.26. A3 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	182
5.27. A3 numunesinde gözlenen siyah noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları	183
5.28. A3 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	184
5.29. A4 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	185
5.30. A4 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları.....	186
5.31. A4 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	187
5.32. A5 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	188
5.33. A5 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları.....	190
5.34. A5 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	191
5.35. A6 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu	192
5.36. A6 numunesinde gözlenen siyah noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları.....	193
5.37. A6 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	195
5.38. Numunelerin <i>D</i> , <i>TC</i> ve <i>Cd</i> elemental oran değişimi.....	198
5.39. Numunelerin <i>D</i> , <i>TC</i> ve <i>S</i> elemental oran değişimi.....	198
5.40. Numunelerin <i>D</i> , <i>TC</i> , <i>Cd</i> ve <i>S</i> elemental oran değişimi.....	199

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bazı yarıiletkenlerin band aralık değerleri ve tipleri	16
2.1. Numunelerin taban sıcaklığı sabit tutularak yapılan tavlama sıcaklıkları ve süresi	33
2.2. Ham ve tavlanan CdS filmlerinin kalınlıkları	34
2.3. Ham ve tavlanan CdS filmlerinin kalınlıkları ile üniformaluluk oranları	34
3.1 A0 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	48
3.2 A1 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	50
3.3 A2 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	52
3.4 A3 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	54
3.5 A4 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	56
3.6 A5 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	58
3.7 A6 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri	60
3.8 CdS filmlerine ait ASTM kartı değerleri	62
3.9. Numunelerin tercihli yönelime göre birim örgü hacimleri	64
3.10. Numunelerin tercihli yönelimlerine göre bazı yapısal parametrik değerleri .	64
3.11. Numunelerin piklerin gözleendiği düzlemlere göre TC yapılanma katsayıları	65
3.12. Numunelerde tercihli yönelimin gözleendiği düzlemlere göre β_{rad} yarı pik genişlikleri ve D tanecik boyutları	68
3.13. Numunelerde tercihli yönelimin gözleendiği düzlemlere göre bazı yapılanma katsayıları	74
4.1. Numunelerin tavlama sıcaklıkları ile kalınlık, pürüzlülük, üniformaluluk ve tanecik boyutları	85
4.2. Numunelerin dalgaboyuna bağlı %T geçirgenlik değerleri	91
4.3. Numunelerin dalgaboyuna bağlı %R yansıma değerleri	99
4.4. Numunelerin kalınlık ve tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik, absorpsiyon ve yansıma değerleri	99
4.5. Numunelerin dalgaboyuna bağlı n kırılma indisi değerleri	104

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.6. Numunelerin dalgaboyuna bağlı α (cm^{-1}) absorpsiyon katsayısı değerleri	108
4.7. Numunelerin dalgaboyuna bağlı k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri	113
4.8. Numunelerin dalgaboyuna bağlı ϵ dielektrik sabiti değerleri	117
4.9. Numunelerin dalgaboyuna bağlı ϵ dielektrik sabiti ve n kırılma indisleri değerlerinin karşılaştırılması	118
4.10. Numunelerin ait $(\alpha h\nu)^2$ [cm^{-1}eV] $^2 \sim h\nu$ (eV) grafiklerinden yararlanılarak elde edilen E_g yasak enerji aralıkları ve E_0 değerleri	124
4.11. CdS film numunelerinin karanlık şartlar altında elde edilen ρ öz direnç ve σ iletkenlik değerleri	141
4.12. CdS film numunelerinin $\sigma_a - \sigma_k$ (Ωcm) $^{-1}$ fotoiletkenlikleri	141
4.13. CdS film numunelerinin $\Delta\sigma$ fotohassasiyetleri	142
4.14. CdS film numunelerinin $\Delta\sigma$ fotohassasiyetleri ile bazı fiziksel parametreleri	142
5.1. Numunelerin optik mikroskop görünümüne ait büyütme değerleri	148
5.2. Cd ve S elementlerinin fiziksel özellikleri	160
5.3. Numunelerin sabit taban sıcaklığında değişken tavlama sıcaklıkları ile elde edilen film kalınlıkları, pürüzlülükleri ve tanecik boyutları ile yapısal parametreleri.....	168
5.4. Numunelerin film kalınlıkları, pürüzlülükleri ve tanecik boyutları	169
5.5. A0 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	172
5.6. A0 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	174
5.7. A1 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	176
5.8. A1 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	177
5.9. A2 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	179

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.10. A2 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	181
5.11. A3 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	183
5.12. A3 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	184
5.13. A4 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	186
5.14. A4 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	186
5.15. A5 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	189
5.16. A5 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	191
5.17. A6 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	193
5.18. A6 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri.....	194

SİMGELER DİZİNİ

A	: Absorbans
a, b, c	: Örgü sabiti
c	: Işık hızı
d	: Örgü noktaları / düzlemler arasındaki uzaklık
d_0	: Deformasyonun olmadığı durumlarda düzlemler arasındaki uzaklık
D, t	: Kristal yapıdaki tane boyutu, tanecik büyüklüğü
$\langle e \rangle$: Mikro gerilme
eV	: Elektron-volt
E	: Elektrik alan
E_k	: Kinetik enerji
E_p	: Potansiyel enerji
E_i, E_v	: Valans bandı enerjisi
E_c	: İletim bandı enerjisi
E_f, E_{fs}, E_{fm}	: Fermi enerjisi, yarıiletkenin Fermi enerjisi, metalin Fermi enerjisi
E_d	: Donör enerji seviyesi
E_a	: Akseptör enerji seviyesi, Aktivasyon enerjisi
E_{exc}	: Eksitonların toplam enerjisi
E_{dg}	: Eşik enerji
E_g	: Yasak enerji aralığı
E_0	: Urbach parametresi
h	: Planck sabiti
h, k, l	: Miller indisleri
$I(hkl)$: Kırınıma uğramış ışınımın şiddeti
$I_o(hkl)$: Filme gelen ışınımın şiddeti
I_0, I	: Malzeme üzerine gelen ışınımın şiddeti, geçen ışınımın şiddeti
$I \sim V$: Akım-Voltaj değişimi
J	: Akım yoğunluğu
K	: Kelvin

SİMGELER DİZİNİ (devam)

k	: Lineer absorpsiyon katsayısı
k, k_b	: Boltzman sabiti
l	: Kontak uzunluğu
L	: Kontaklar arasındaki uzaklık
M	: Molar
m_e^*, m_h^*	: Elektronun etkin kütlesi, Holün etkin kütlesi
nm	: Nanometre
n, n_0	: , Tam sayı, Kırılma indisi
n	: Materyaldeki taşıyıcı sayısı
$n_i(T), n_i$: Serbest has taşıyıcı yoğunluğu
n_o	: Serbest has (elektron) taşıyıcı sayısı
n_n, n_p	: Birim hacimdeki elektron sayısı, Birim hacimdeki hol sayısı
N_c	: Has bir yarıiletkende iletim bandındaki durum sayısı
N_v	: Has bir yarıiletkende valans bandındaki durum sayısı
p_o	: Serbest has (hol) taşıyıcı sayısı
q	: Elektrik yükü
$\%R, R$: Yansım oranı, katsayısı
R_{RMS}	: Pürüzlülük değeri
TC	: Yapılanma katsayısı (Texture Coefficient)
T	: Sıcaklık
$\%T, T$: Geçirgenlik oranı, katsayısı
V_o	: Birim hücre hacmi
x_{fi}, x_t, x	: Film + taban kalınlığı, Taban kalınlığı, Film kalınlığı
v	: Hız
$\%x_u$: Filmlerin üniformaluluk yüzdeleri
Z_i, Z_{ort}, N	: Piksel değeri, tüm piksellerin ortalaması, tüm piksellerin toplamı

SİMGELER DİZİNİ (devam)

Å	: Angström
α	: absorbsiyon katsayısı
α_e	: Fonon emisyonunda (salınım) sıcaklığa bağlı absorbsiyon katsayısı
α_a	: Fonon absorbsiyonunda (soğurma) sıcaklığa bağlı absorbsiyon katsayısı
β_{rad}	: Kırınım pikinin genişlemesi (yarı pik genişliği),
δ_D	: Kristalin çizgisel diziliminin düzenliliği (dislokasyon yoğunluğu)
$\Delta\sigma$: Malzemenin fotoiletkenliği
$\Delta\sigma/\sigma_k$: Malzemenin fotohassasiyet değeri
$\Delta V, \Delta I$: Voltaj değişim değeri, Akım değişim değeri
ε	: Dielektrik sabiti
$e\phi$: İş fonksiyonu
$e\phi_m, e\phi_s$: Metalin iş fonksiyonu, Yarıiletkenin iş fonksiyonu
λ	: Dalgaboyu
μ_n, μ_p	: Elektronun mobilitesi, Holün mobilitesi
μm	: Mikrometre
ρ	: Özdirenç
ρ_a	: Malzemelerin aydınlık şartlar altındaki özdirenci
ρ_k	: Malzemelerin karanlık şartlar altındaki özdirenci
σ, σ_i	: Elektriksel iletkenlik, Has elektrik iletkenlik,
σ_o	: Sıcaklığa çok az bağlı olan bir elektriksel iletkenlik sabiti
σ_a	: Malzemelerin aydınlık şartlar altındaki iletkenliği
σ_k	: Malzemelerin karanlık şartlar altındaki iletkenliği
$\theta, 2\theta$: Bragg açısı, Kırınım açısı
ν, ν_g, ν_{fonon}	: Frekans, Soğurma eşiği frekansı, Fonon frekansı
Ωcm	: Ohm.santimetre

KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	: Atomic Force Microscope (Atomik Kuvvet Mikroskopy)
ASTM	: American Society for Testing Materials
CBD	: Chemical Bath Deposition (Kimyasal Çökertme)
CVD	: Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Vakum Altında Çöktürme)
ECD	: Elektrochemical Deposition (Elektrokimyasal Çöktürme)
EDS	: Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy
EP	: Thermal Evaporation (Isısal buharlaştırma)
MBE	: Molecular Beam Epitaxiel
NASA	: The National Aeronautics and Space Administration
RMS	: Root Mean Square (kaynak aritmetik ortalamasının karesi)
SCL	: Space Charge Limited
SEM	: Scanning Electron Mircoscope (Taramalı Elektron Mikroskopy)
SP	: Spray Pyrolyses (Kimyasal Püskürtme)
SPWS	: Screen Printing with Sintering (Sinterleme ile Ekran Baskı)
TVE	: Thermal-Vapor Evaporation (Vakumda Buharlaştırma Tekniği)
UKP	: Kimyasal Püskürtme Tekniği
UV	: Ultraviyole
XRD	: X-Ray Diffraction (x-ray Difraksiyon)

BÖLÜM I

YARIİLETKENLER

1.1 Giriş

Yarıiletken materyaller, elektronik endüstrisinde hem yeryüzü ve hem de uzay çalışmalarında tekkristal, polikristal ve amorf kristal olarak, diyot, transistör, basınçölçer, yarıiletken dedektörler ve fotovoltaik güneş pillerinde kullanılmaktadırlar. Bu yarıiletken cihazların yaygın olarak kullanılması için, kullanılan malzemenin hem ekonomik hem de yüksek kaliteli olması gerekir.

Periyodik tablonun IV. grubunda yer alan germanyum ve silisyum tipik yarıiletkenler olarak bilinmektedir. Yarıiletkenlerin en belirgin özellikleri içerisinde III. ve V. grup elementlerinden birisi veya birkaç tane farklı element katkılı olduğunda elektrik, optik, yapısal ve yüzeysel özellikleri önemli ölçülerde değişim göstermektedir. Yarıiletkenler uygulamada, tek kristal, polikristal ve amorf kristal olarak farklı üç şekilde kullanılmaktadır.

Mutlak sıfır sıcaklığında bütün yarıiletkenler, bir yalıtkan gibi davranış gösterirler. Bu materyallerin oda sıcaklığındaki (300K) elektriksel özdirenç değerleri genellikle 10^{-2} ve 10^9 Ωcm arasında değişmektedir. İletkenlerin ve yalıtkanların özdirenç değerleri 10^{-6} Ωcm ile 10^{22} Ωcm arasında yer almaktadır.

1.2. Kristal Yapıları

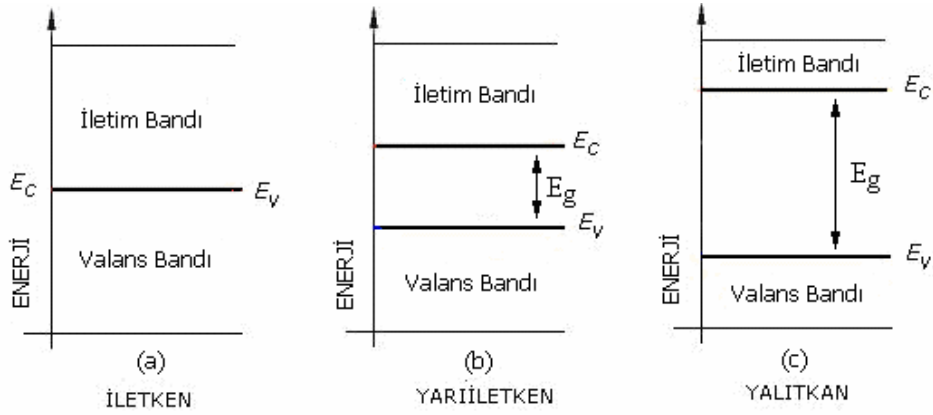
Çoğu elementler çeşitlilik gösteren kristal yapıda olup sıcaklık ile basınç değişimlerine göre fiziksel özelliklerinde bir takım değişimler meydana gelebilir. Bazen iki yapı, biri hafifçe daha kararlı olmasına karşın, aynı sıcaklıkta bir arada

bulunurlar. Bazı yapıların serbest enerjileri arasındaki farklar çok küçük, hatta kuramsal olarak hesaplama yeteneğimizin dışında olabilirler (*Kittel, 1976*).

Katıların bağlanması temel ilke, elektronların eksi yükleri ile çekirdeklerin artı yükleri arasındaki çekici etkileşmedir. Bağlanmada magnetik kuvvetlerin etkisi zayıftır ve kütle çekim kuvvetleri saksaklanabilir. Katının şekillenmesi ise en dıştaki elektronlara ve iyon dağılımındaki farklılıklara bağlıdır. Katıyı oluşturan atomlar uzaysal ortamda belirli doğrultularda periyodik olarak dizilerek-bağlanarak kristal yapıları oluşturmaktadırlar. Bağlanma, katının ($E_k + E_p$) toplam enerjisinin, aynı sayıdaki özgür nötral atomların birbirlerinden sonsuz uzaklıkta iken toplam enerjileri ile karşılaştırıldığında, eğer yalnız katının toplam enerjisi, kendisini oluşturan atomların ya da moleküllerin özgür durumdaki toplam enerjilerinden küçükse kararlı olabilir. Özgür atom enerjisi ile kristal içerisindeki enerjisi arasındaki bu farka bağlanma enerjisi denir ve bu fark kristalin malzeme niteliğini belirlemektedir.

Kristal yapıları bir katıdaki elektronlar, elektron yörüngelerinin bulunmadığı enerji bölgeleri ile ayrılmış enerji bandlarında bulunabilirler. Dalga yapıları elektron yörüngelerinin bulunmadığı bu bölgeler "Enerji Aralığı" yada "Band Aralığı" olarak tanımlanmaktadır. Bir maddenin iletkenliğini belirleyen en önemli faktör, atomlarının son yörüngesindeki elektron sayısıdır. Bu son yörüngeye "Valans Yörünge", üzerinde bulunan elektronlara da "Valans Elektron" denir. Valans elektronlar atom çekirdeğine zayıf olarak bağlıdır.

Hareket halinde olması nedeniyle her yörünge üzerindeki elektronlar belirli bir enerjiye sahiptir. Eğer herhangi bir yolla elektronlara, sahip olduğu enerjinin üzerinde bir enerji uygulanırsa, ara yörüngedeki elektron bir üst yörüngeye geçer. Valans elektronuna uygulanan enerji ile de elektron atomu terk eder. Bu şekilde valans elektronunun serbest hale geçmesi o maddeye iletkenlik kazandırır. Ancak, valans elektronları serbest hale geçirecek enerji seviyeleri madde yapısına göre değişmekte olup iletkenler için düşük seviyeli bir enerji yeterli iken yarıiletkenlerde oldukça fazla enerji gereklidir. Yalıtkanlar için ise çok büyük enerji verilmelidir. Şekil 1.1 'de iletken, yarıiletken ve yalıtkanların band aralıkları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. İletkenler, Yalıtkanlar ve Yarıiletkenler için band aralıkları gösterimi.

İletkenlerin, Şekil 1.1.(a) 'da görüldüğü gibi, valans bandı enerji seviyesi ile iletkenlik bandı enerji seviyesi bitişiktir. Bu nedenle verilen küçük bir enerjiyle, pek çok valans elektron serbest hale geçer. Yarıiletkenlerde ise valans bandı ile iletkenlik bandı arasında Şekil 1.1.(b) 'de görüldüğü gibi belirli bir yasak enerji aralığı bulunmaktadır. Katkısız yarıiletkenlerin iletken hale getirilebilmesi için en az yasak enerji aralığına eşdeğer bir enerji verilmesi gerekir. Katkılı yarıiletkenlerde ise yarıiletkenin iletkenlik göstermesi için E_g ' dan daha küçük enerjilerde yeterli olabilir.

Yalıtkanlarda, Şekil 1.1.(c) 'de görüldüğü gibi yasak enerji aralığı yarıiletkenlere göre oldukça geniştir. Enerji bandlarının her birinin dolu veya boş olması kristalin yalıtkan davranışlı olduğunu göstermektedir.

Mutlak sıfır sıcaklığında tam bir yalıtkan gibi davranan yarıiletken materyalde kısmen dolu band yoktur. Yüksek sıcaklıklarda valans bandındaki elektronlar yeter miktarda enerji kazanarak uyarılırlar ve valans bandından sökülürler. Sökülen elektronlar iletim bandına geçerler. İletim bandına geçen bu elektronlara iletim elektronu adı verilir. Bu durumda iletim ve valans bandında (boşaltılan enerji durumlarından dolayı) iletim gözlenmeye başlar. Yarıiletkenlerde elektronların ve hollerin daha yüksek enerji düzeylerine geçmeleri akımı oluşturur. Geçişler sadece yasak enerji aralığının aşılması ile gerçekleşmektedir. Aralığın enerjisinin birkaç eV ‘

dan yüksek olması daha yüksek enerji alanlarına ihtiyaç duyulmasına neden olur. Bu durumda malzeme bir yalıtkan gibi davranır (*Onaran, 1993*). Doğal olarak iletme katkısı, iletim bandındaki elektronlardan ve valans bandındaki hollerden gelecektir. Bu durumda valans bandındaki hol yoğunluğu ile iletim bandındaki elektron yoğunluğu birbirine eşit olmaktadır (*Zor, 1991*).

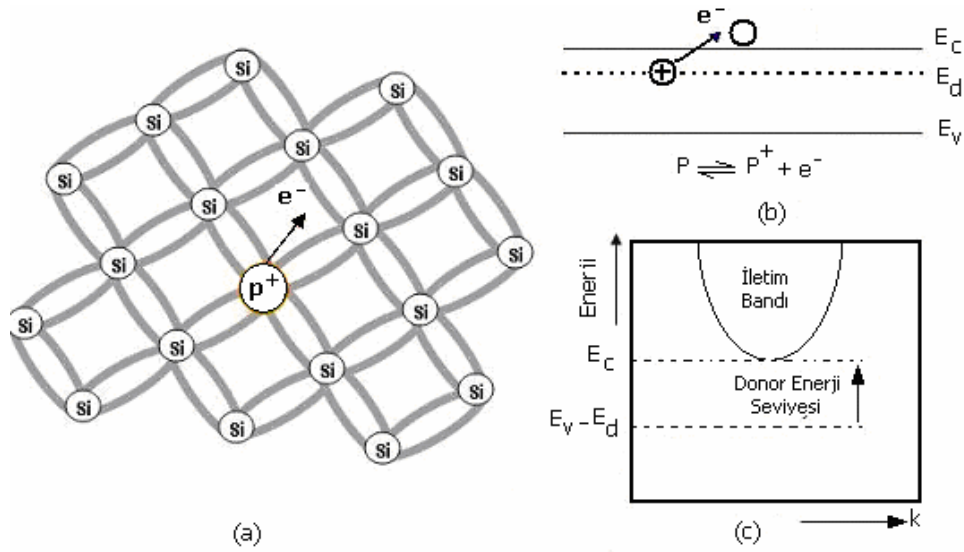
Hollerin ve iletim elektronlarının yoğunluğu sıcaklıkla değişmektedir (*McKelvey, 1966*). Yarıiletken kristalin iletim bandında yer alan elektronlar iletim bandında, valans bandında bulunan holler ise valans bandında serbestçe hareket edebilirler. İhtiyaç duydukları termal enerjiyi ise örgüden alırlar. Deneysel sonuçlar, yarıiletkenlerin büyük kısmının band aralıklarının sıcaklığın artması ile azaldığını göstermektedir. Band aralığının sıcaklıkla olan ilişkisi,

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \quad (1.1)$$

denklemleri ile verilmektedir (*Sze, 1981*). Burada $E_g(T)$ mutlak sıcaklığa bağlı yasak enerji aralığını, $E_g(0)$ mutlak sıcaklıktaki yasak enerji aralığını, α ve β materyale sıcaklıkla bağlı sabitleri ve T mutlak sıcaklığı göstermektedir. Mutlak sıfırda denklemin ikinci bölümü sıfır olacağından mutlak sıfırda materyalin yasak enerji aralığı değeri en yüksek değeri alacaktır. Yarıiletkenlerin büyük bölümünde bu yaklaşım doğru iken IV-VI. grup bileşikleri olan PbS ve PbTe için bu yaklaşım tersine işlemektedir. Çünkü bu iki bileşiğin 0K'de sırasıyla 0,286 ve 0,19 eV olan yasak enerji aralığı değerleri 300K'de 0,41 ve 0,31 eV düzeyindedir (*Sze, 1981*).

Yarıiletkenler, has yarıiletken (intrinsic) ve katkılı (extrinsic) olmak üzere iki grupta incelenirler. Silisyum kristali, Si atomlarının birbiriyle kovalent bağ (elektronların ortaklaşa kullanılması ve her Si-Si bağında zıt spinli iki elektron olması) yaparak, her Si atomunun dört komşusu olacak şekilde oluşur. Silisyum kristalindeki bir Si atomunun yerine Periyodik Tablodaki V. grup elementlerinden fosfor (P) atomunu konulduğunda fosforun, beş dış kabuk elektronundan dördü kovalent bağda kullanılır ve

beşinci elektron çok küçük bir enerjiyle fosfora bağlı kalır; (Şek.1.2.a). Bu elektron, ihtiyaç duyduğu kadar enerjiyi ortamdan temin ettiğinde iletim bandına geçer. Bu enerji, silisyumun yasak enerji aralığı olan 1,1 eV'a göre oldukça küçüktür. Fosforun beşinci elektronunu vermesi sonucu iletim bandında elektron artışı söz konusu iken valans bandda ise hol artışı söz konusu değildir.



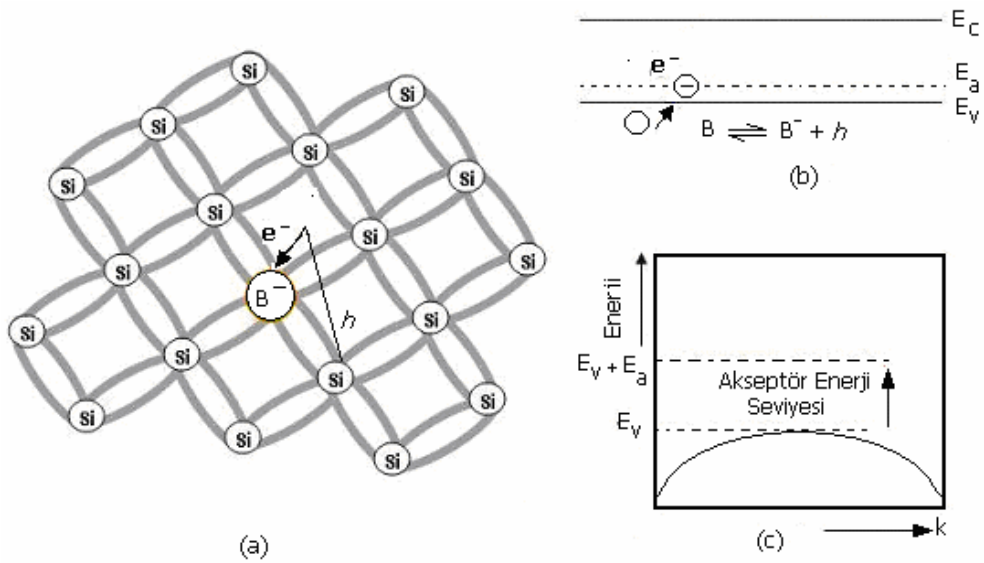
Şekil.1.2. (a)Fosfor katkılı Si kristali. Fosforun beşinci elektronu fosfora zayıf bir kuvvetle bağlıdır. (b) donör enerji seviyesi iletim bandına yakın olup (c) yarıiletkenin enerji seviyesi iletim bandına yaklaşmıştır (Zor, 1991; Wang, 1989; Blackmore, 1985).

Bu şekilde fosfor katkılanarak suretiyle yarıiletkendeki elektron yoğunluğu hol yoğunluğuna göre daha büyük olmaktadır. n tipi yarıiletkenlerdeki fazladan olan elektronlar iletkenliği sağlamaktadır. Bu elektronları kopartmak, hareket ettirmek için çok küçük enerji yeterli olmaktadır. Bu tür yarıiletkenlere n tipi yarıiletken denir. Fosfor gibi ortama elektron veren atomlara da donör denilmektedir. Enerji seviyeleri ise E_d ile gösterilmektedir. n tipi yarıiletkenlerde E_d enerji seviyesi valans bandından uzaklaşarak iletim bandına yaklaşmaktadır (Şekil 1.2.b) ve fermi enerjisi düzeyi valans ve donör düzey enerjileri farkına eşit durumdadır(Şekil 1.2.c).

Silisyum kristalindeki bir Fosfor (P) atomunun yerine, Periyodik Tablonun III. Grup elementlerinden Boron (B) yerleştiğinde, boronun üç dış elektronu olması sonucu, B-Si bağlarından birinde bir boş durum açıkta kalır (Şekil 1.3.a). Bu eksik elektron

valans bandından yani Si-Si kovalent bağından bir elektron alınarak doldurulur ve bunun için gerekli enerji oldukça küçüktür. Boron atomu bu durumda elektron kabul edici anlamında akseptör adını alır ve enerji seviyeleri E_a ile gösterilir. Valans bandda bu şekilde hol oluşması karşılığında iletim bandına elektron çıkmaz. Buna göre yarıiletkende bu tür katkı yoğunluğunu arttırmak suretiyle valans bandındaki hol yoğunluğu artmış olur.

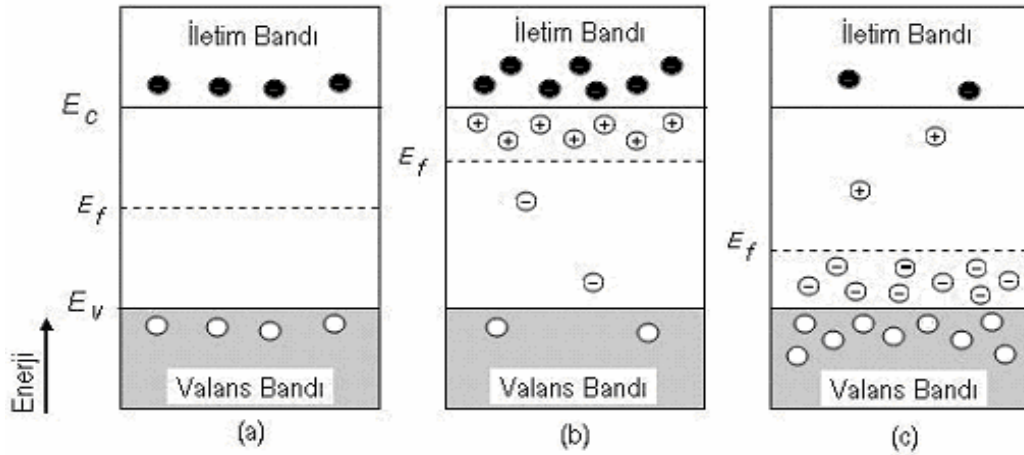
Böyle yarıiletkenlere p tipi yarıiletken adı verilir. Burada da iletkenlik katkı miktarına bağlı olarak artış gösterir. p tipi yarıiletkenlerdeki boşluklar dışardan elektron alabildiği için iletkenliği boşluklar sağlamaktadır. Bu tip yarıiletkenlerde E_a enerji seviyesi iletim bandından uzaklaşarak valans bandına yaklaşmaktadır (Şekil 1.3.b) ve fermi enerjisi düzeyi valans ve akseptör düzey enerjileri toplamına eşit durumdadır (Şekil 1.3.c).



Şekil.1.3. (a) Boron katkılı Si kristali. Borona bağlı boş durum Si-Si bağından bir elektronla doldurulur (b) donör enerji seviyesi valans bandına yakın olup (c) yarıiletkenin enerji seviyesi valans bandına yaklaşmıştır. (Zor, 1991; Wang, 1989; Blackmore, 1985)

Yarıiletkenlerin iletkenliklerinin en düşük olduğu durum onların has özellik gösterdiklerinde görülür. n tipi veya p tipi bir yarıiletken has yarıiletkene dönüştürülebilir. Örneğin n tipi bir yarıiletkene akseptörler katkılanarak yarıiletken has

duruma, biraz daha katkılamakla ise p tipine dönüştürülebilir, aynı yarıiletkene donör katkılamaya devam edilirse tekrar has ve tekrar n tipi yapılabilir. Has, n ve p tipi yarıiletkenlerin iletim mekanizmaları grafik olarak Şekil 1.4.'de verilmiştir.



Şekil.1.4. (a) Has bir yarıiletkende yasak enerji aralığı iletim ve valans bandlarının toplamının yarısı kadardır (b) n tipi bir iletkende fermi enerji düzeyi valans bandından uzaklaşarak iletim bandına yaklaşır (c) p tipi bir yarıiletkende ise fermi enerjisi düzeyi iletim bandından uzaklaşarak valans bandına yaklaşır (*Blackmore, 1985*).

Yarıiletken teknolojisinde çok önemli olan bu işlem entegre devre elemanlarının büyük ve önemli bir kısmının üretiminde kullanılmaktadır. Yarıiletkenler için bir başka önemli nokta da, hangi tip özellik gösterirlerse gösterebilirler, verilen bir sıcaklıkta iletim bandındaki elektron yoğunluğu ile valans bandındaki hol yoğunluğunun çarpımının o sıcaklık için n_i^2 'ye eşit olmasıdır. Oda sıcaklığındaki bir has yarıiletkenin iletim ve valans bandlarındaki taşıyıcı yoğunlukları $p_o = n_o$ için serbest taşıyıcı sayısı $n_i = n_o$ veya $n_i = p_o$ şeklinde tanımlanabilir. Bu durumda,

$$n_i^2(T) = n_o^2 = p_o^2 = n_o p_o \quad (1.2)$$

şeklinde yazılabilen bu eşitlikteki $n_i(T)$ ifadesi sıcaklığın yanı sıra etkin kütle ve yasak enerji aralığına da bağlı olan taşıyıcı yoğunluğu olup,

$$n_i(T) = 2 \left[\frac{2\pi (m_e^* \cdot m_h^*)^{1/2} \cdot kT}{h^2} \right]^{3/2} \cdot e^{-E_g/kT} \quad (1.3)$$

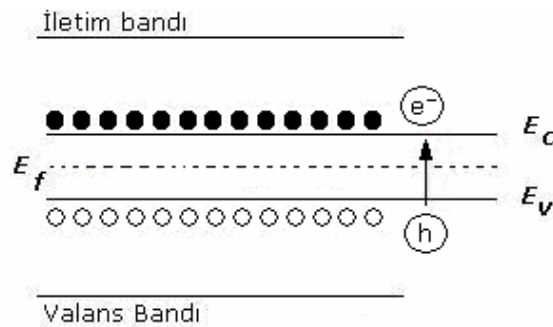
biçiminde yazılabilir. Burada m_e^* ve m_h^* sırasıyla elektronun ve holün etkin kütlesi, k Boltzmann sabiti, h Planck sabiti, T mutlak sıcaklık ve E_g yasak enerji aralığıdır. Verilen bir yarıiletken için yasak enerji aralığı ve etkin kütle hemen hemen sabit olarak alındığından n_i^2 sadece sıcaklığa bağlı bir değer olarak kalmaktadır. Has bir yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi,

$$E_f = \frac{1}{2}(E_c + E_v) + kT \ln \left(\frac{m_e^*}{m_h^*} \right)^{3/2} \quad (1.4)$$

denklemleriyle verilir. Bu denklemlerde $m_e^* = m_h^*$ olduğundan eşitliğin ikinci kısmının değeri m_e^*/m_h^* olmasından dolayı alacağı değer nedeni ile (1.4.) eşitliği kısaca,

$$E_f = \frac{1}{2}(E_c + E_v) \quad (1.5)$$

bağıntısı ile verilir. Bu ifadeye göre has bir yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının hemen hemen ortasında (Şekil 1.4.a. ve Şekil 1.5.) yer almaktadır.



Şekil.1.5. Has yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı, iletim bandı ile valans bandına hemen hemen eşit uzaklıktadır (Blakemore, 1985)

Yaygın olarak kullanılan yarıiletkenler ve enerji aralıkları: Germanyum (0,7 eV), Silisyum (1,1 eV), Galyum Arsenik (1,4 eV), Kadmiyum Sülfür için (2,4 eV)'dur (Zor, 1991).

Kovalent bağlanmanın olduğu III–V. yarıiletken bileşiklerinin yanı sıra bazı yarıiletken kristallerde kuvvetli iyonik karaktere sahip II–VI. gruplarındaki elementlerden de oluşturulmaktadır. Bunlar, polar yarıiletkenler olarak bilinmektedirler (Ashcroft and Mermin, 1976). Aynı zamanda III–IV elementlerinin karışımından da “InSb” aynı elektron yapısı elde edilebilmektedir. Valans bağlı yarıiletken için temel şart, atom başına ortalama dört elektronu olmasıdır. Dolayısı ile I-III-VI₁ veya II-V₂ bileşikleri gibi yarıiletkenler yapmak mümkünse de bazı sınırlar vardır. Elementler kuvvetli iyon yapıcı iseler, lüzumlu valans bandı bulunmayabilir. Örneğin I-VII bileşiği olan NaCl veya II-VI bileşiği olan MgO, yarıiletken oluşturmaktan çok daha fazla iyon yapıcı olduklarından kuvvetli iyon karakterlidirler (Vlack, 1972). III–V grubu yarıiletkenlerine GaAs, GaSb, ve InSb gibi yarıiletken bileşikler, II–VI grubu yarıiletkenlerine ise ZnS, CdS, CdTe, CdSe gibi ikili bileşikler örnektir (Wu, et al., 2001).

1.3. Elektriksel Özellikleri

Elektriksel iletkenlik ve özdirenç o maddenin karakteristik özelliklerindedir. Bir parametre olan mobilite ise iletkenliğin belirlenmesinde önemli bir rol oynamakta olup, serbest elektrik yükünün madde içerisindeki hareket edebilme yeteneğini tanımlar ve birim elektrik alan için elektrik yükünün hızı olarak da ifade edilebilmektedir. Bir yarıiletkende elektron (μ_n) ve hol (μ_p) mobiliteleri (m^2/Vs) cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mu_n = \frac{v_n}{E} \quad (1.6)$$

$$\mu_p = \frac{v_p}{E} \quad (1.7)$$

Bir yarıiletkene dış elektrik alan (E) uygulandığında serbest elektronlar ve holler, akım yoğunluğu (J) oluştururlar. Elektrik alanın bu akım yoğunluğuna oranı ise özdirenç (ρ) olarak tanımlanır ve (Ωcm) olarak ifade edilir.

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (1.8)$$

Akım yoğunluğu başına elektrik alan değerinin tanımladığı özdirenç ifadesinin tersi yani birim elektrik alan başına düşen akım yoğunluğu ifadesi ise elektriksel iletkenliği tanımlamaktadır. Sonuç olarak özdirenç (ρ) ve elektriksel iletkenlik (σ) birbirinin zıttı denklemlerle ifade edilmektedirler. Bu durumda elektriksel iletkenlik (Ωcm)⁻¹ cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad (1.9)$$

Materyaldeki birim hacimde n sayıdaki q değerli serbest elektrik yüklerinin elektrik alan içerisinde hareketlenerek kazanmış oldukları hızları v ise bu materyaldeki akım yoğunluğu (amper/m²) cinsinden;

$$J = qnv \quad (1.10)$$

olacağından, katkılanmamış bir kristalde serbest elektronlar ve serbest holler olmak üzere iki tür taşıyıcı olması ve bunların sayılarının birbirlerine eşit olması sebebi ile has bir yarıiletkenin elektriksel iletkenliği, denklem (1.6), (1.7.) ve (1.9.) kullanılarak,

$$\sigma_i = qn_i(\mu_n + \mu_p) \quad (1.11)$$

şeklinde verilmektedir. Burada σ_i has elektrik iletkenlik, q elektrik yükü, n_i has taşıyıcı yoğunluğu yani serbest elektron ve hollerin yoğunluğu, μ_n serbest elektronların ve μ_p ise serbest hollerin mobilitesidir.

Ancak has bir yarıiletkene katkı yapılarak yabancı bir atom sokulduğunda bu materyalde artık serbest elektron ve hollerin sayısı eşit olmadığından n_i has taşıyıcı yoğunluğundan bahsetmek mümkün değildir. Bu durumda, yani katkılı bir yarıiletkende elektriksel iletkenlik,

$$\sigma = qn_n\mu_n + qp\mu_p \quad (1.12)$$

veya,

$$\sigma = qn\mu_n + qp\mu_p \quad (1.13)$$

bağıntısı ile ifade edilebilmektedir. Burada $n_n = n$ birim hacimdeki serbest elektron sayısını, $n_p = n$ ise birim hacimdeki serbest hol sayısını göstermektedir. Katkılı bir yarıiletkenin öz direnci ise (1.12) 'den,

$$\rho = \frac{1}{qn_n\mu_n + qp\mu_p} \quad \text{veya} \quad \rho = (qn_n\mu_n + qp\mu_p)^{-1} \quad (1.14)$$

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_n + qp\mu_p} \quad \text{veya} \quad \rho = (qn\mu_n + qp\mu_p)^{-1} \quad (1.15)$$

bağıntıları ile ifade edilebilir. Yarıiletkenin katkılandırılma tipi onun n yada p tipi olmasını sağlar. Eğer n tipi ise serbest elektronlar söz konusu olduğundan (1.14) denkleminin paydasında yer alan birinci terim ikinci terimden oldukça büyüktür, bu durumda n tipi yarıiletkenlerde öz direnç kısaca, $qn\mu_n \gg qp\mu_p$ olduğundan,

$$\rho_n \cong \frac{1}{qn_n\mu_n} \quad \text{veya} \quad \rho_n \cong (qn_n\mu_n)^{-1} \quad (1.16)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Eğer p tipi ise serbest holler söz konusu olduğundan (1.15) denkleminin paydasında yer alan ikinci terim birinci terimden oldukça büyük olacağından ($qn\mu_n \ll qn\mu_p$), bu durumda p tipi yarıiletkenlerde öz direnç,

$$\rho_p \cong \frac{1}{qp\mu_p} \quad \text{veya} \quad \rho_p \cong (qp\mu_p)^{-1} \quad (1.17)$$

şeklinde ifade edilir. Bir yarıiletkendeki serbest taşıyıcıların sayısı, bu yarıiletkenin sahip olduğu sıcaklığın (T) ve enerji-band aralığının (E_g) bir fonksiyonu olup, bu has yarıiletkenin sahip olduğu elektriksel iletkenlik,

$$\sigma = \sigma_o e^{\frac{-E_g}{2k_b T}} \quad (1.18)$$

bağıntısı ile de tanımlanabilmektedir. Burada σ_o sıcaklığa çok az bağlı olan bir sabit değer olup k_b Boltzmann sabitidir.

Has bir yarıiletkende, iletim bandındaki durum etkin yoğunluğu N_c ve valans bandındaki durum etkin yoğunluğu N_v ile gösterilirse ve serbest elektron ve hol sayıları eşit olduğundan ve elektriksel iletkenlik has taşıyıcı sayısını belirlediğinden $p_o = n_o$ için serbest taşıyıcı sayısı $n_i = n_o$ veya $n_i = p_o$ şeklinde tanımlanabilir. Bu durumda (1.2) ve (1.18) denklemlerinden,

$$n_o p_o = N_c N_v e^{\frac{-E_g}{2k_b T}} = \text{sabit} \quad (1.19)$$

sonucuna ulaşılır. Has bir yarıiletken katkılama sonucu n veya p tipi yapıldığında ($n \cdot p$) çarpımı değişmeyip sabit kalmaktadır.

Bu ifade; p tipi yarıiletkenler için, p_p ; çoğunluk taşıyıcı holleri ve n_p ; azınlık taşıyıcı serbest elektronları göstermek üzere,

$$n_i^2(T) = p_p n_p \quad (1.20)$$

ve n tipi yarıiletkenler için, p_n ; azınlık taşıyıcı holleri ve n_n ; çoğunluk taşıyıcı serbest elektronları göstermek üzere

$$n_i^2(T) = p_n n_n \quad (1.21)$$

şeklinde tanımlanabilir.

1.4. Absorbsiyon Olayları ve Band Geçişleri

Yarıiletkenlerde dört çeşit absorpsiyon olayı gerçekleşir. Bunlar; temel absorpsiyon, eksitonların absorpsiyonu, serbest yük taşıyıcılarının absorpsiyonu ve katkı maddelerinin (impurity) absorpsiyonudur. Ayrıca sıcak elektron (hot electron) yardımı ile absorpsiyon, eş elektronik tuzaklara (isoelectronic trap) bağlı absorpsiyon, akseptör–donör arası geçişler, band içi (intraband) geçişler ve örgü absorpsiyonu da söz konusudur. Bu absorpsiyon olaylarından bazıları bir yarıiletken materyalde aynı anda birlikte gerçekleşebilir.

Temel absorpsiyonda, yarıiletken üzerine gelen fotonlar valans bandındaki elektronlar tarafından absorblanır ve bu elektronlar sökülerek iletim bandına geçerler. Bu durumun gerçekleşmesi, yarıiletkenin E_g yasak enerji aralığının yarıiletken üzerine gelen fotonların $h\nu$ enerjisinden küçük yada eşit olmasına bağlıdır. Yani,

$$E_g \leq h\nu \quad (1.22)$$

dir. Yarıiletkenlerde iletim bandındaki serbest bir elektronla valans bandındaki serbest bir holün eşleşmesi-etkileşmesi bir eksitonu oluşturur. Bu oluşumda elektron ve hol, Coulomb kuvvetiyle etkileşerek hem birbirlerini çekerler hem de birbirlerinin etrafında dönerler. Bu durumda yarıiletken üzerine gelen fotonların $h\nu$ enerjisinin yarıiletkenin E_g yasak enerji aralığı ile eksitonların E_{exc} toplam enerjisi arasındaki farktan büyük yada eşit olması gerekir. .

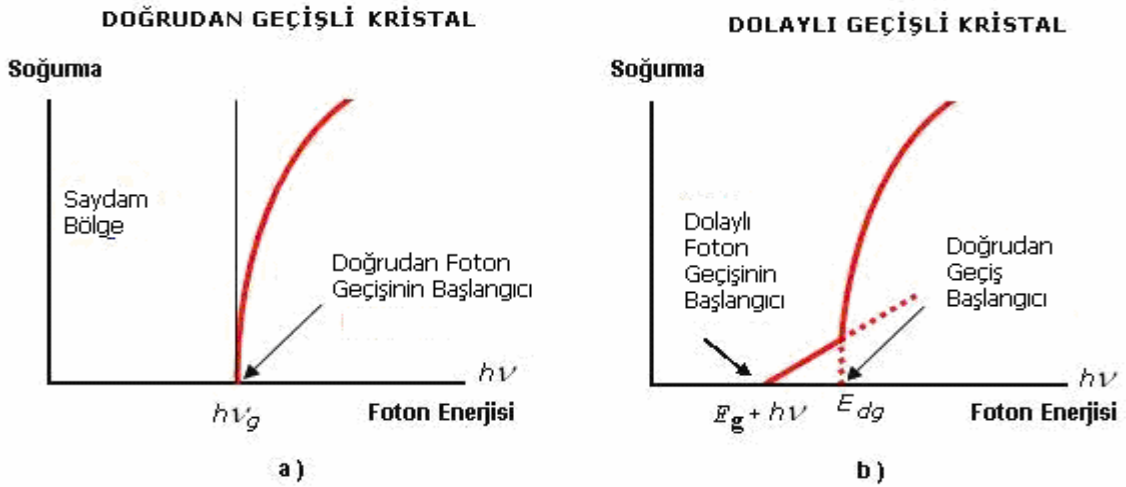
$$h\nu \geq E_g - E_{exc} \quad (1.23)$$

Eğer bir yarıiletkende, yarıiletkene gelen fotonun $h\nu$ enerjisi yarıiletkenin E_g yasak enerji aralığından küçük yada eşit ise;

$$h\nu \leq E_g \quad (1.24)$$

bu durumda; foton hol veya elektron tarafından absorblanarak serbest yük taşıyıcılarının aynı band içerisinde daha yüksek enerji seviyelerine uyarılmalarını sağlar. Katkılı yarıiletkenlerde ise yarıiletkene gelen fotonun $h\nu$ enerjisi katkı yarıiletkenin E_g yasak enerji aralığından küçük olduğundan; valans bandındaki bir elektron iletim bandına çıkamaz. Bu durumda foton, katkı yarıiletkenin n veya p tipi olmasına göre donor ve akseptör atomları tarafından absorblanabilir. Bir yarıiletkende has iletkenlik ve has yük taşıyıcı yoğunluğu büyük ölçüde E_g/kT band aralığının sıcaklığa oranı ile kontrol edilir. Bu oran ne kadar büyükse has taşıyıcı yoğunluğu ve iletkenlikte o kadar düşük olacaktır. Band aralığının en iyi değerleri optik soğurma ile elde edilir. Frekansı ν_g olan sürekli optik soğurma eşiği, $E_g=h\nu_g$ band aralığını belirler (Şekil 1.6.a ve 1.7.a.).

Doğrudan soğurma sürecinde; fotonun soğurulması, yarıiletken tarafından bir elektron ve bir hol oluşturulmasıyla gerçekleşir. Bu olayda momentum ve enerji korunmaktadır.

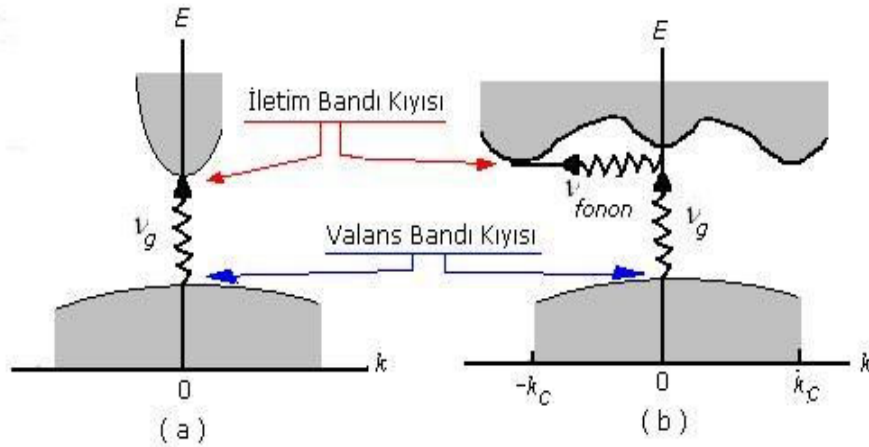


Şekil.1.6. Mutlak Sıfırda saf yalıtkanlarda optik soğurma (a) Eşik Enerji, enerji aralığını $E_g = h\nu_g$ olarak belirler. (b) Eşik yakınındaki optik soğurma daha zayıftır. $h\nu = E_g = h\nu_{fonon}$ 'da üç parçacık yaratılması ile bir foton soğurulur: Özgür bir elektron, özgür bir hol ve $h\nu_{fonon}$ enerjili bir fonon. E_{dg} enerjisi hiçbir fononun işe karışmadığında özgür bir elektron, özgür bir hol yaratılması için eşik enerjisini göstermektedir. Böyle bir geçişe Düşey Geçiş denir. Bu (a) 'daki doğrudan geçişe benzemektedir. Bazen eşğin alçak enerji kısmının hemen altında uzanan soğurma çizgileri gözükmez. Bunu nedeni bağlı bir elektron–hol (exciton) çifti yaratılmasıdır (Wang, 1989; Blackmore, 1985; Kittel, 1976).

Dolaylı soğurma sürecinde ise valans bandının üst sınırı ile iletim bandının alt sınırı enerji–momentum uzayında aynı k değerine sahip değildir. Valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için, bir fononun soğrulması yada salınması gerekir. $h\nu_{fonon}$ frekanslı fononun yaratılması durumunda korunum yasaları gereğince enerji değeri için;

$$h\nu = E_g \pm h\nu_{fonon} \quad (1.25)$$

yazılabilir. Bu denklemin; sağ kısmındaki iki terimini ayıran matematiksel işaretin (-) olması fononun soğrulduğunu, (+) olması ise fononun yayımlandığını göstermektedir. Fononun $h\nu_{fonon}$ enerjisi genellikle yasak enerji aralığı E_g 'den çok daha küçük olacaktır (Şekil 1.6.b ve 1.7.b). Dolaylı band geçişli yarıiletkenlerde momentum korunur ancak enerji korunmaz. Dolaylı band geçişli yarıiletkenlerde soğurma olayı doğrudan band geçişli yarıiletkenlere göre daha uzun mesafede gerçekleştiğinden doğrudan band geçişli yarıiletkenler, güneş pili üretiminde tercih edilmektedirler.



Şekil.1.7. Optik soğurma ve band geçişleri (a) İletim bandının en düşük noktası ile valans bandının en yüksek noktası aynı k değerindedir. Bunun nedeni soğurulan fononun dalga boyu çok küçük olduğundan Doğrudan Geçişle soğurmadaki v_g eşik frekansı $E_g=hv_g$ enerji aralığını belirler. (b) Dolaylı Geçişle soğurmada ise iletim ve valans bandlarının kıyıları k uzayında birbirinden ayrıldığından E_{dg} eşik enerjisi gerçek band aralığından oldukça büyüktür. Bu nedenle band kıyıları arasındaki dolaylı geçiş için soğurma eşik enerjisi $hv = E_g + hv_{fonon}$; v_{fonon} frekanslı fononun enerjisi ile yasak enerji aralığının toplamına eşittir (Wang, 1989; Blackmore, 1985; Kittel, 1976).

Optik ölçmeler, yarıiletkenin band aralığının doğrudan yada dolaylı olup olmadığını belirler. Bazı yarıiletkenlerin yasak enerji aralığı değerleri ve tipleri Çizelge 1.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Bazı yarıiletkenlerin band aralık değerleri ve tipleri, "i: indirect, d:direct" (Kittel, 1976).

Kristal	Band Aralık Tipi	$E_g = eV$		Kristal	Band Aralık Tipi	$E_g = eV$	
		0 °K	300 °K			0 °K	300 °K
Elmas	i	5,400		HgTe *	d	-0,300	
Si	i	1,170	1,140	PbS	d	0,286	0,340
Ge	i	0,744	0,670	PbSe	d	0,165	0,270
α Sn	d	0,000	0,000	PbTe	d	0,190	0,300
InSb	d	0,240	0,180	CdS	d	2,552	2,420
InAs	d	0,430	0,350	CdSe	d	1,840	1,740
InP	d	1,420	1,350	CdTe	d	1,607	1,450
GaP	i	2,320	2,260	ZnO		3,436	3,200
GaAs	d	1,520	1,430	ZnS		3,910	3,600
GaSb	d	0,810	0,780	SnTe	d	0,300	0,180
AlSb	i	1,650	1,520	AgCl			3,200
SiC (hex)		3,000		AgI			2,800
Te	d	0,330		Ca ₂ O		2,172	
ZnSb		0,560	0,560	TiO ₂		3,030	

* Yarımetaldir; iletim ve valans bandları üstüste taşar.

1.5. Yarıiletkenlerin ve Filmlerinin Teknolojideki Önemi

Yarıiletkenlerin teknolojide geniş bir kullanım alanına sahip olmalarının temel nedeni iletkenlerle yalıtkanlar arasında geçiş yapabilecek özelliklere sahip olmalarıdır. Sıcaklık ve safsızlık gibi değişken koşullara sahip olmalarının yanı sıra katkılandırılabilimleri farklı amaçlı değişik entegrelerin üretimini ve buna bağlı olarak ta farklı alanlarda kullanılan elektronik cihazların da amaca uygun dizaynını sağlamaktadır.

Yarıiletkenlerin üretimi, modern toplumdaki yüksek kullanım potansiyelleri nedeni ile önemi giderek artan bir alandır.

Yarıiletken teknolojisindeki temel bilgi birikimi, bir yarıiletken yüzey veya ara yüzeydeki serbest yük taşıyıcılarının; sıcaklık, safsızlık, katkılılık v.b. gibi değişken durumlardaki davranışlarının incelenmesi üzerine gerçekleşmektedir. Farklı bileşiklerin gösterdiği yarıiletken davranışları da bu kapsamda olup; yarıiletken ile yalıtkan, metal ile yarıiletken, iki farklı yarıiletken ve bir yarıiletkendeki n tipi ile p tipi bölge arasındaki sınırlar serbest yük taşıyıcılarının davranışları konusunda önemlidir (*Hook and Hall, 1999*).

Periyodik tabloda dördüncü grupta bulunan Si ve Ge elementleri en çok kullanılan yarıiletken tipleri olup son zamanlarda II-VI. ve III-V. grup bileşikleri ile bunların üçlü, dörtlü ve son zamanlarda beşli bileşik olarak kullanılmaktadır.

Kristal bir yapıya sahip olan yarıiletkenler, iletkenlik bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alan yarıiletkenler normal halde yalıtkan olmalarına karşın ısı, ışık ve magnetik etki altında bırakıldığında veya gerilim uygulandığında bir miktar valans elektronu serbest hale geçerek iletkenlik özelliği kazanırlar. Katkı maddeleriyle iletkenlikleri arttırılan yarıiletkenlerin elektronikte ayrı bir yeri vardır. Bunun nedeni elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılmalarıdır. Yarıiletkenlerin özellikleri üzerine kurulan gereçlerin transistörler, doğrultucular, modülatörler, algılayıcılar,

termistörler, mikro işlemciler, programlanabilir–silinebilir mantık işlemciler, ışık pilleri v.b. içermesi onların birçok yarıiletken teknolojisinde yoğun olarak kullanılmalarını sağlamaktadır.

Farklı üretim teknikleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının yada moleküllerinin, filmi destekleyerek filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan yarıiletken malzemeler geniş yüzeyli olarak üretilebildiklerinde her ne kadar üretim tekniklerinden kaynaklanan kusurlar söz konusu olsa bile uygun kalınlık, bileşim ve yüzeyde pürüzsüzlük gibi özellikler taşıdıklarında teknolojik olarak önemli bir yere sahiptirler. Bu yarıiletken filmler kalınlıklarına göre, 1 µm ‘den küçük ise ince film değil ise kalın film olarak anılmaktadırlar.

Elektronik ve optoelektronik endüstrisinin temelini oluşturan ince filmler; yarıiletkenlerin yada elektrolüminesans özelliği gösteren maddelerin elde edilen ince tabakalarından, tek katlı epitaksiyel (homoepitaksiyel), çok katlı epitaksiyel (heteroepitaksiyel) ve polikristal film olarak üretilmektedirler (*Koelmans, 1971*). Düşük maliyetli olmaları sebebi ile bilimsel çalışmalarda optik ve elektriksel özellikleri nedeni ile polikristal filmlerin tercih edildiği günümüzde yüksek maliyetli filmler daha çok özellikli sivil ve askeri endüstriyel cihazlarına ait devre elemanlarının üretiminde kullanılmaktadırlar (*Soriaga, 2002*).

Polikristal filmler; büyük yüzeyli metal, cam, grafit, seramik gibi tabanlar üzerinde büyütülebilen, elektriksel ve optik özelliklerinden dolayı birçok uygulama alanı olan, basit ve değişik yöntemlerle elde edilebilen yarıiletken malzemeler (*Sze, 1981; Tyagi 1991*) olup teknolojik uygulama alanlarından birisi de fotovoltaik güneş pilleridir. Bunların üretiminde Si, Ge, GaAs gibi tek kristallerin yanı sıra CdS, CdTe, CdSe, Cu₂S, InP, GaP, AgInSe₂, CuInSe₂ ve Cd_{1-x}Zn_xS gibi polikristal yarıiletken tabakalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (*Köse, 1993 Kumar, et al., 1998; Kumar, et al., 2004; Pemble, et al., 2006*). Bunun nedeni ise amorf ve polikristal ince film güneş pillerinin Si ve Ge gibi tek kristal güneş pillerine göre üretiminin daha kolay ve ekonomik olmasıdır (*Kasem, 1999*).

Polikristal ince filmlerin üretimi daha kolay ve ekonomik olmasına karşın düşük verimlilik ve uzun süreli kararsızlık gibi dezavantajları bulunmaktadır. Verimliliğin düşük olmasının sebebi seçilen malzemelerin tabakaları arasındaki örgü uyumsuzluğu ve bunun sonucunda ortaya çıkan, birleşme merkezleri ve tuzaklar olarak şekillenen ara yüzey durum yoğunluğunun artmasıdır (Tyagi, 1991). Kararsızlık problemi ise O₂ veya su buharı olan bir ortamla yarıiletkenin kimyasal reaksiyona girmesinden kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Üretim sırasında, tabakaları arasında örgü uyumsuzluğu problemi olmayan yarıiletken malzemelerin seçimine ve uygun çalışma ortamının yaratılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (Sze, 1981; Tyagi, 1991).

Güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılan ince filmlerin elektriksel iletkenliklerinin ve optik geçirgenliklerinin yüksek olması gerekmektedir. Elde edilen bazı ince filmlerin optik geçirgenliğin yüksek, elektriksel iletkenliğin düşük olması durumunda uygun miktarlarda uygun katkı maddesi kullanılarak elektriksel iletkenlikleri artırılabilir.

Metallerin ince filmleri cam ve seramikler üzerine dekorasyon malzemesi olarak kullanılmasından çok sonraları, elektroliz yönteminin 1838'de, Grove "glove-discharge sputtering" yönteminin 1852'de, asal gaz içerisinde buharlaştırma yönteminin Faraday tarafından 1857'de, vakum kullanarak "Joule Isıtması" yönteminin Nahrwald tarafından 1887'de ve bir yıl sonra Kundt tarafından aynı yöntemin kullanılması ile metal filmler elde edilmesinden bu güne kadar yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmeler ve son yıllarda çeşitli alanlarda pencere materyali olarak kullanılan bu filmlerin özellikleri üzerindeki çalışmalar, malzemelerin bilim ve teknolojideki geniş uygulama alanları nedeni ile büyük önem arz etmektedir (Zor, 1982, Akyüz, 2005).

BÖLÜM II

CdS FİMLERİ

2.1 Giriş

Polikristal CdS filmleri, p-CdTe /n-CdS hetero-eklem güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılmaktadır. Bu pillerin verimliliğinin yüksek olması için CdS filmlerinin özdirenci düşük ve geçirgenliği yüksek olması gerekir ve aynı zamanda kullanılan absorplayıcı tabaka ile arasında örgü uyumsuzluğunun olmaması da gerekmektedir. Bu yüksek özdirenç değerini düşürmek için CdS materyalleri hidrojen, azot gazları, zengin Cd buharı içerisinde, vakumda veya hava içerisinde sıcaklık tavlaması yapılmalıdır. Bu çalışmada elde edilen CdS filmlerinin elektrik, optik, yapısal ve yüzeyel özelliklerinin hava içerisinde sıcaklık tavlaması yapılarak meydana gelen değişimler incelenmiştir.

2.2.CdS Filmlerinin Özellikleri

II. grup elementleri ile VI. grup elementlerinden oluşan bir II-VI bileşiklerinden olan CdS, kübik ve hegzagonal yapıda olabileceği gibi yapısında her iki türü de bulundurabilen bileşiklerdendir (*Onaran ve Altıntaş, 1986; Tell, et al., 1972; Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001; Lokhande and Mane, 1997; O'Brien, et al., 1999; Vigil, et al., 1995*). Doğrudan band geçişli ve n tipi fotoiletken yarıiletken malzeme (*Mahanty, et al., 1999; Salazar, et al., 2006; Lifshitz, et al., 1992; Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001; Bilgin, et al., 2005*) olup hazırlanan ince filmlerinde optik geçirgenlik kayıplarından kaçınılabilen (*Rami, et al., 2000*) elektromagnetik spektrumun görünür bölgesinde yer alan dalgaboyunun (*Sutrave, et al., 2000; Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001; Torres and Gordillo, 1997*) oda sıcaklığında 2,42 eV olan yasak enerji aralığına karşılık geldiği ve seçilen malzemeye göre düşük yada yüksek özdirençleri ve

elektriksel iletkenlikleri nedeniyle dar band aralığı ile iletim ve valans bandları ile taşıyıcı uyumluluğunun yanı sıra yüksek absorpsiyon katsayısına ve kolay ohmik kontak yapısına sahip CdTe (1,45 eV), InP (1,35 eV), Cu₂S (1,2 eV) ve CuInSe₂ (1,01 eV) gibi yarıiletkenlerle üretilen heteroeklem güneş pilleri için düşük maliyetli ve ışığa duyarlı polikristal pencere materyalidir (*Bairamov, et al., 1994; Yamaguchi, et al., 1996; Lozada-Morales and Zelaya-Angel, 2004; Tell, et al., 1972; Metin and Esen, 2003; Wu, et al., 2001; Archbold, et al., 2005; Sahay, et al., 2007; Wu and Sheldon, 2000; Mahanty, et al., 1999; Kazumichi, et al., 2007; Saxena, et al., 2006; Abdulla, et al., 1995; Albin, et al., 1997; Lokhande, et al., 2000; Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001; Mathew and Enriquez, 2003; Jayaraj and Yoosuf, 2005; Valyomana, et al., 1992; Sasikala, et al., 2000; O'Brien, et al., 1999; Vigil, et al., 1995; Torres and Gordillo, 1992; Bilgin, et al., 2005*).

Güneş pillerinin üretiminde, uygun band aralıkları, optik absorpsiyonları ve her iki materyalin iyi örgü uyumundan dolayı n-CdS/p-CdTe ve n-CdS/p-CuInSe₂ heteroeklemleri uygun yapıdaki bileşiklerdir (*Saxena, et al., 2006; Kashiwaba, et al., 1990; Caraman, et al., 2006; Feitosa, et al., 2004*). Eklem bölgesindeki arayüzey durumlarının ve tuzakların varlığı heteroeklem yapıların temel özelliği olup elektriksel özellikleri etkilemektedir (*Zelaya-Angel, et al., 1999; Al Kuhaimi, 1998*). Ayrıca açık devre voltajında belirgin bir artışı sağlayan şeffaflık ta bu pillerin yapımında istenen bir özelliktir (*Herrero, et al., 2000*).

1950 'li yıllarda laboratuvar koşullarında başlayan n-tipi CdS film üretiminde 1980 'li yıllarda %10 verimliliğe ulaşılmıştır (*Jin, et al., 2005*). Günümüzde absorblama özelliği olan maddelerden yapılmış olan düşük değerli heteroeklem güneş hücrelerinin yapımı için yüksek verimliliği olan “ >> 15,8 % “ geniş yüzeyli bir pencere materyali olarak düzenlenen bu tip materyaller fotokondüktörler, laser elemanları, optoelektronik cihazların ve non-lineer optik araçların ve diğer akıllı fotonik materyallerin üretiminde kolaylık sağlamaktadır (*Feitosa, et al., 2004; Yamaguchi, et al., 1996; Sahay, et al., 2007; Calixto and Sebastian, 1999; Wenyi, et al, 2005; Bartolo-Perez, et al, 2006; Riyad, 1998; Ullrich, et al., 2001; Atay, et al., 2003; Bilgin, et al., 2005*). Ayrıca gösterim sistemlerinde, düz TV ekranlarında, medikal ve endüstriyel bulguları gösteren

ekranlama elemanlarında geniş uygulama alanları bulmaktadır (*Bhushan and Khare, 2006*).

Çözelti konsantrasyonunun farklı olması ve H₂ veya N₂ ortamında tavlama sonucunda filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerinde farklılıklar gözlenmektedir (*Sasikala, et al., 2000*). İndiyum oksit ince filmlerin önceden cam üzerine çöktürülerek daha sonra CdS film çöktürülmesinin filmlerin kalınlığı ve elektriksel özelliklerinin üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu şekilde hazırlanan filmlerde tavlama işlemlerinin uygun olması halinde filmlerin yüzeysel homojenlik ve pürüzsüzlükleri mümkün olmakta böylece örgüsel uyumsuzluğun önüne geçilerek yüksek verimlilik elde edilebilmektedir (*Bartolo-Perez, et al, 2006; Salazar, et al, 2006*).

Heteroeklem güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılan CdS ince filmleri doğrudan band geçişli ve n tipi fotoiletken yarıiletken malzeme olmasından dolayı verimlilikleri üzerinde etken olan azınlık taşıyıcıları hakkında çalışmalar yapılmaktadır (*Bilgin, et al., 2005; Valyomana, et al., 1992*).

İnce polikristal filmler ve polikristal bileşik yarıiletkenler geliştirme yönündeki çalışmalar maliyeti yüksek olmasına rağmen yapılmakta ve bu konuda endüstriyel perspektifi baz alan, malzemelerin kendilerini olduğu kadar performans sınırlarını da inceleyen çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (*Saxena, et al., 2006; Ashour, 2003; Al Kuhaimi, 1998*). Günümüzde bu çalışmalarda ön plana çıkan NASA (The National Aeronautics and Space Administration) kurumu özellikle düşük sıcaklıklarda çöktürme teknikleri ile ilgilenmekte ve bu konuda araştırmalarına devam etmektedir (*Hepp, et al., 2002*).

Orta büyüklükte enerji band aralığı, değiştirilebilen verimliliği ile CdS filmleri opto-elektronik, piezo-elektronik ve yarıiletken cihazlar için oldukça kullanışlıdır (*Saxena, et al., 2006*). Ayrıca bu filmlerin Mn ile katkılandırılarak nanoteknolojide materyal olarak kullanımı konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca opto-elektronik

uygulamalarda kullanılan CdS, ZnS gibi II-VI bileşik yarıiletken nanoparçacıkların büyütülmesi çalışmaları mevcuttur (*Artemyev, 2000*).

CdS filmlerinin elde edilmesinde farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; Isısal buharlaştırma “Thermal Evaporation–EP“, Kimyasal Çöktürme “Chemical Bath Deposition–CBD“, Epitaksiyel “Molecular Beam Epitaxiel–MBE“, Kimyasal Püskürtme “Spray Pyrolyses–SP“, Kimyasal Vakum Altında Çöktürme “Chemical Vapor Deposition–CVD“, Elektrokimyasal Çöktürme “Elektrochemical Deposition–ECD“, “rf–sputtering“ olup bu filmlerin üretilmesinde bilinen bazı yöntemlere bağlı olarak Sinterleme ile Ekran Baskı “Screen Printing with Sintering–SPWS” da farklı bir yöntem olarak düzlemsel yada ohmik kontaklı veya her iki tür kontaklı materyal üretmek için uygundur (*Bairamov, et al., 1994; Mahanty, et al., 1999; Al Kuhaimi, 1998; Saxena, et al., 2006; Ashour, 2003; Morales-Acevedo, et al., 2002; Riyad, 1998; Atay, et al., 2003; Lokhande, et al., 2000; Ichimura, et al., 1999; Punnoose, et al., 2000*).

2.3. Kimyasal Püskürtme Tekniği İle Film Üretimi

Kimyasal Püskürtme “Spray Pyrolysis–SP” yöntemi, üretiminde karmaşık aletler gerektirmeyen, kısa zamanda diğer yarıiletken üretme tekniklerine göre daha geniş yüzeyli cm^2 boyutunda filmler elde edilmesini sağlayan basit, ekonomik, vakumsuz bir teknik olduğunun da ifade edildiği bir yöntemdir (*Lee, et al., 2001; Ramachandran, et al., 2005; Baykul and Balcioglu, 2000; Chow and Oladeji, 2005*). Ancak günümüzde yüksek kalitede yarıiletkenler olan yeterli verimliliğe sahip güneş pillerinin üretimine izin veren basit bir teknolojisi olup, sıvılarda eriyebilen tuz yapılı bileşiklerin iyonik çözeltilerinin kuru havanın temiz bir akıntı şeklinde kullanımı ile kimyasal veya ultrasonik yöntemlerle temizlenmiş ve belirli taban sıcaklıklarına ısıtılmış cam, seramik veya metal tabakalar üzerine püskürtülmesi işlemidir. Kullanılan çözeltilerin atomizasyonu, taşıyıcı gaz olarak sıkıştırılmış hava yardımı ile püskürtme başlığı

(atomizer) tarafından çok ince ve küçük damlacıklara dönüşmesi ile gerçekleşmektedir (*Ashour, 2003*).

İlk defa 1966 yılında Chamberlin ve Skarman tarafından II-VI grup bileşiklerinden bu yöntemle elde edilen CdS filmleri, kadmiyum klorid $CdCl_2$ ve tioüre $[(NH_2)_2CS]$ sıvı çözeltilerinin farklı sıcaklıklardaki cam katmanlar üzerine püskürtülmesi ile hazırlanmaktadır. Kimyasal püskürtme tekniği günümüzde II-VI grup bileşiklerinin sadece ikili değil, üçlü, dördü ve beşli alaşımlarının elde edilmesinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (*Atay, 2001; Ashour, 2003; Ilıcan vd., 2006; Zor, 1982*).

Bu yöntemde yaygın olarak kullanılan taban materyalleri silikatlı camlar ile alüminyum, titanyum, tungsten v.b. gibi metallerle kaplanmış çelik tabakalardan oluşan metal tabanlardır. Ancak silikatlı camların yalıtkan olması; hem şeffaf hem de iletken bir tabakanın, yarıiletken tabaka çöktürülmeden önce kontağı sağlamak amacı ile cam yada cam-seramik taban üzerine serilmesini zorunlu kılmaktadır (*Guseinov, et al., 1997; Sze, 1981*).

Bu yöntemle elde edilen ve heteroeklem güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılan CdS filmleri, 10^4 - 10^{12} $\Omega.cm$ arasında değişen yüksek özdirence ve düşük mobilitelere sahiptirler. Bu filmlerin yüksek olan özdirençleri, tavlama ya da katkılama işlemleri yapılarak düşürülebilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda tavlamanın H_2 ve N_2 ortamlarında yapılması, In, Sn, Al ve Zn ile katkılanması sonrasında özdirençlerinin düştüğü gözlenmiştir, ancak yapılan çalışmalarda In katkısının özdirenci düşürdüğü ancak polikristal yapıda istenmeyen niteliklerin ortaya çıktığı belirtilmektedir (*Atay, et al., 2003; Bedir, et al., 2002; Danaher, et al., 1985; Valyomana, et al., 1990*).

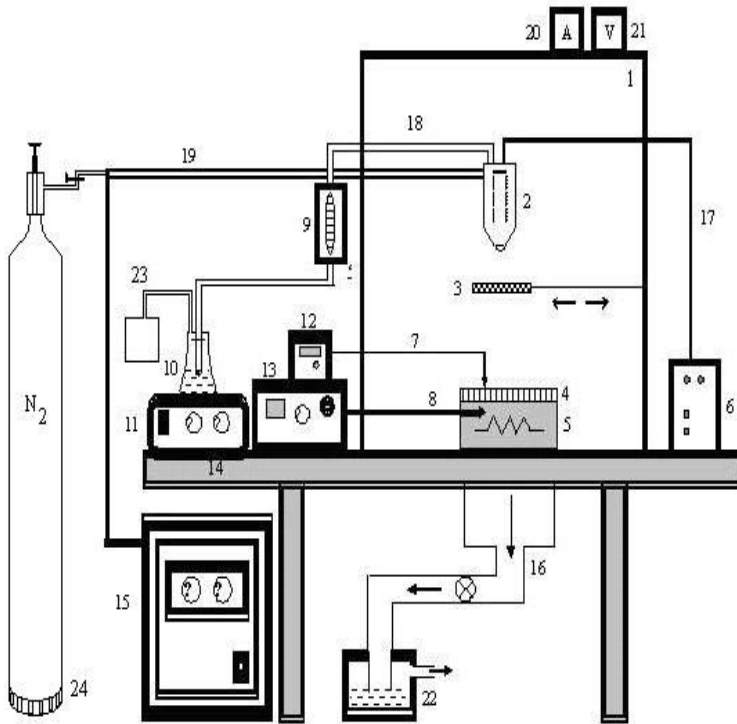
Bu yöntemle metal ve tek kristal ince filmlerin elde edilememesi bu yöntemin dezavantajlarından biridir. n tipi ve p tipi katkılı yarıiletken üretimi için oldukça uygun olan bu yöntemle ile birlikte vakumda buharlaştırma tekniği “thermal-vapor evaporation“ kullanılarak metal-yarıiletken-metal kontakları ve hetero yapıda p-n

eklemleri yapılabilmektedir (Atay, 2001). Bu yöntemin diğer dezavantajları ise elde edilen filmlerin yüzeylerinin homojen olmaması ve düşük verimliliğe sahip olmasıdır. Yüzeyin homojenliği püskürtülen damlacıkların büyüklüğünün yanı sıra dağılımına da bağlıdır. Damlacık büyüklüğü ultrasonik püskürtme başlığı kullanılarak giderilebilmektedir. Yine püskürtme başlığına filtre takılması ve çözeltinin buğu şeklinde dağıtılması ile boyutları istenmeyen büyüklükte olan damlacıkların süzülerek tekrar kullanılması ile homojenlik sağlanmaya çalışılmıştır. Düşük verimlilik ise damlacıkların tabana doğru taşınmasının kontrol edilmesi esasına dayanan kimyasal püskürtme ile çözülmüştür. Taşıma kontrolü, taban ile sisteme eklenen elektrotlar arasında oluşturulan elektrik alanda damlacıkların yüklenmesi ve elektriksel kuvvetlerin etkisi kullanılarak yapılmaktadır. Kimyasal püskürtme yönteminin dezavantajları yapılan çalışmalarla üretim sistemine eklenen belli frekansta ultrasonik dalgalar yayan osilatör adı verilen güç vericisine bağlı püskürtme başlığı ile çözülmeye çalışılmış bu arada yöntem farklılaşmasından dolayı Ultrasonik Kimyasal Püskürtme olarak anılmaya başlamıştır. Ultrasonik dalgalar, püskürtülen çözeltinin daha çok atomize olmasını sağlayarak damlacıkların boyutlarının küçülmesini dolayısı ile homojen malzeme üretilmesini sağlamaktadır (Omura, et al., 1999; Kamada, et al., 2006). Kontrol altına alınmadıklarında üretilen filmlerin özelliklerini değiştiren; taban sıcaklığı, taban ile püskürtme başlığı arasındaki uzaklık, katkının cinsi ve miktarı, çözelti miktarı ve molaritesi, püskürtme hızı ve zamanı gibi deney parametrelerinin yanı sıra püskürtme şartlarının ayarlanması da önemlidir. Söz konusu bu parametrelere uyulamaması ya da değiştirilmesi durumunda filmin kalınlığı, elde edilen materyalin yasak enerji aralığı, elektrik ve optik özellikleri istenen özellikleri taşımayabilir.

2.4. UKP Yöntemi İle CdS Film Örneklerinin Elde Edilmesi

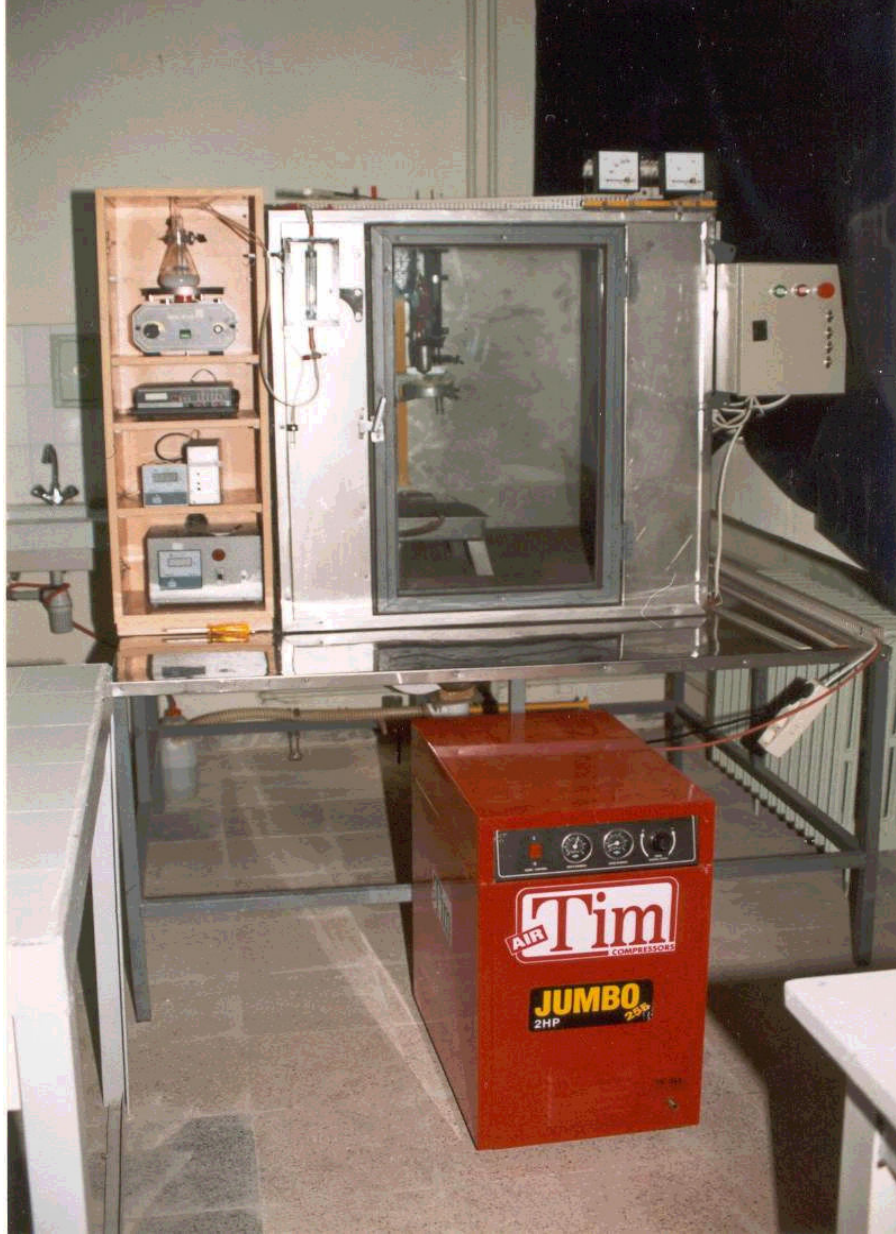
Bu çalışmada CdS filmlerini üretmek için UKP yöntemi kullanılmıştır. Buna ait şematik gösterim ve fotoğraflar Şekil 2.1 ve Şekil 2.2. 'de gösterilmiştir.

Kimyasal püskürtme yönteminde kullanılan püskürtme odacıkları ahşap veya çift cidarlı ve izolasyonu yapılmış paslanmaz çelik malzemeden üretilmekte olup bu odacıkların ebatlarının ihtiyaçtan büyük ya da küçük olması, boşaltma işleminin maliyetinin artması ve taban sıcaklığının kontrolünü zorlaştırır. Bu nedenle en uygun ebatlar 1.00x1.00x1.00 m.'dir. Üretim esnasında püskürtme odacığının içerisinde oluşan boşaltma gazları sağlığa zararlı olduğundan içi su dolu kap içerisinden geçirilerek yoğunlaştırılmış buhar olarak laboratuvar dışına temiz hava olarak atılmaktadır.



1. Püskürtme odacığı,
2. Ultrasonik püskürtme başlığı,
3. Hareketli tava,
4. Optik mikroskopta tip ve biyolojide kullanılan cam tabanlar,
5. Gömme rezistanslı bronz blok,
6. Osilatör,
7. Termocift, kromel-alumel veya demir-konstantan termo çiftler,
8. Termocift,
9. Akış hızı ölçer,
10. Çözelti kabı,
11. Isıtıcı-magnetik karıştırıcı,
12. Yüze sıcaklık göstergesi,
13. Gömme rezistanslı bronz bloğun ısı kontrol edici düzeneği,
14. Masa,
15. Hava kompresörü,
16. Fan,
17. Osilatör kablosu,
18. Çözelti akış hortumu,
19. Hava hortumu,
20. AC ampermetre,
21. AC voltmetre,
22. İçerisi kısmen su dolu kapalı su kabı, (bu kompresör püskürtme esnasında, başlangıç püskürtme çözeltisi içerisindeki çözeltinin ayarlandığı gibi sürekli akmasını sağlamaktadır)
24. Azot Tankı

Şekil 2.1. Ultrasonik kimyasal püskürtme yönteminin şematik gösterimi.



Şekil 2.2. Ultrasonik kimyasal püskürtme yönteminde kullanılan sistemin fotoğrafı (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı).

Taban sıcaklığı, gömme rezistanslı bronz bloklu 5000-6000 Watt'lık bir elektrikli ısıtıcı ile sağlanmakta ve dijital bir göstergeye bağlanmış demir-konstantan termoçift ile kontrol edilmektedir. Bu yöntemde taban sıcaklığının sabit bir değerde tutulması çok zor olduğundan istenen ve belirlenen taban sıcaklığından ± 5 °C gibi bir

sapma olmaktadır. Püskürtme sırasında püskürtme ve taşıyıcı gazın etkisi ile taban sıcaklığı bir miktar düştüğünden istenen sıcaklık sınırları içerisinde kalabilmek için taban önceden ve daha yüksek sıcaklıkta ısıtılmalıdır. Taban sıcaklığının düşük yada yüksek olması filmlerin kalınlığını dolayısı ile fiziksel özelliklerini yüksek oranda etkilediğinden buna dikkat edilmelidir. Taban sıcaklığının düşük olması filmlerin kalın, yüksek olması ise ince olmasına neden olur. Cam tabanların üzerine yerleştirildiği 15.00x15.00x2.00 cm ebatlarındaki gömme rezistanslı bronz bloklar zamanla üzerlerinde oksit tabakaları oluştuğundan belirli aralıklarla uygun fırçalar kullanarak temizlenerek taban sıcaklığının homojen olması sağlanır (Köse vd., 2000). Homojen ortam ısısı ve taban sıcaklığı üniform film üretiminde önemlidir (Sasikala, et al., 2000).

Püskürtme çözeltisinin tabana ulaşmasını sağlayan püskürtme başlıkları payreks cam yada paslanmaz çeliktendir. Bu yöntemde normal cam, ultrasonik, döner ve elektrostatik başlıklar kullanılır. İleri-geri hareketli veya döner veya çözelti püskürtme-çıkış kısmı düzgün geometrili başlıklarda kullanılmaktadır. Bu atomizerlerin aerodinamiği Şekil 2.3. 'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Spray pyrolysis yönteminde kullanılan atomizerin aerodinamiği

Şekil 2.3.'de görülen şematik gösterimin A bölgesinde çözelti sıvısı atomize edilerek hava konisi içerisinde hızlandırılır. Bu bölgenin uzunluğu akış hızı ile orantılı olup (Lampkin, 1979) akış hızı büyüdükçe bölgenin uzunluğu da büyümektedir (Köse,

1993). B bölgesinde damlacıklar hava akımının çalkalanmasına göre şekillenirler. Bu bölgedeki damlacıkların hızı A bölgesine göre daha az olup her iki bölgenin birleşim bölgesinde akıntının sahip olduğu aerosol helezon yapı genişler. C bölgesi ise bu helezon konisinin dışında yer almaktadır. Bu bölgedeki damlacıkların hızı diğer bölgelere göre çok daha düşük olup atomizerin çalışma verimliliğine bağlı olarak daha da düşmektedir. Bunun nedeni; bu bölgedeki havanın kütleli akışı değerinin çözelti sıvısının kütleli akış değerinden büyük yada eşit olması gerekirken (*Lampkin, 1979*) bu şartların sağlanamaması ve bunun sonucunda bu bölgede akan çözelti toplam kütleli akışın diğer iki bölgeye göre daha geniş bir yüzeye dağılmasıdır (*Köse, 1993*).

Ultrasonik başlık kullanılarak elde edilen filmlerin yüzeylerinin daha düzgün ve homojenliğe bağlı olarak daha kaliteli olduğu bilinmektedir. Ancak çalışma sırasında püskürtme başlığının püskürtme-çıkış kısmının belirli zaman aralıklarında temizlenmesi ve değiştirilmesi gereklidir. Bunun nedeni zamanla bu bölgede oluşan tortulaşma ve aşınmaların oluşmasıdır. Bu işlemler yapılmadığında taban üzerine püskürtülen damlacıkların geometrisi bozulmakta bu da taban sıcaklığında ani değişimler yarattığından ani sıcaklık değişimlerinden dolayı cam tabanların kırılmasına sebep olmaktadır (*Köse vd., 2000; Akyüz, 2005*).

Üretilen filmlerin kalınlıkları ve fiziksel özellikleri üzerinde etkili olan parametrelerden bir diğeri ise taban ile püskürtme başlığı arasındaki uzaklık olup bu konudaki en uygun değer 30-40 cm.'dir. Uzaklığın bu değerlerin altında olması taban üzerinde tortuların oluşmasına sebep olur ve dolayısı ile taban sıcaklığının kontrolü zorlaşır. Bu değerlerin üzerinde olması durumunda ise taban üzerine düşen damlacık sayısının azalmasına dolayısı ile taban sıcaklığının artması nedeni ile filmlerin düzgün kalınlıklara sahip olmaması sonucunu doğurur (*Kamada, et al., 2006; Köse vd., 2000*).

Filmlerin kalınlıklarının artması kristalleşme derecesini olumsuz etkilemektedir. Bu sonuç filmlerin elektriksel özdirencini düşürmektedir. Elektriksel özdirenç çöktürme yöntemine sıkıca bağlıdır. CdS filmlerinde düşük direnç ve yüksek iletkenlik vakum altında çöktürme ile üretime bağlıdır (*Al Kuhaimi, 1998*).

Bu yöntemde püskürtme çözeltisini tabana taşıyıcı gaz olarak soğutucu etkisi, püskürtme işlemi boyunca ortamdaki havayı uzaklaştırması ve diğer elementlerle etkileşmemesi nedeni ile N_2 ($0,1-0,2 \text{ kg.cm}^{-2}$) veya sıkıştırılmış hava (1-2 bar) kullanılabilir (*Atay, et al., 2003*).

Bu yöntemde püskürtülen çözelti miktarı filmlerin fiziksel özelliklerini etkilediğinden, çözelti miktarı değiştirilerek filmlerin kalınlığı, hacimsel dağılımı değiştirilerek ise film içerisindeki elementlerin atomik ve elemental ağırlıkları da kontrol altına alınabilir. Cd^{+2} kaynağı olarak $CdCl_2$ tuzu, S^{-2} kaynağı olarak ta tioüre kullanılmaktadır. Çözeltinin molaritesi ve pH değeri üretilen filmlerin elektrik, optik ve yüzeysel özellikleri üzerinde etkili olduğundan pH değerinin kontrol altında tutulması önemlidir. Molaritesi yüksek çözelti kullanımı filmlerin kalınlığını ve film içerisindeki elementlerin miktarını arttıracaktır (*Ignatov, 1988, Feitosa, et al., 2004; Sasikala, et al., 2000; Mathew and Enriquez, 2003; Köse vd., 2000*). Çözeltinin banyo sıcaklığının artırılması filmlerin yüzeylerinin daha homojen olmasını sağlamaktadır (*Wenyi, et al, 2005; Mathew and Enriquez, 2003*). Hazırlanan çözeltinin renginin portakal renginden soluk yeşil renge dönmesi beklendikten sonra çöktürme işleminin başlatılması önemlidir. Çözelti içerisindeki kimyasal reaksiyonun bitiminden sonra gerçekleştirilen çöktürme işlemi ile cam taban üzerinde üniform film oluşumu sağlanabilir. Çözeltideki renk değişimi çözeltinin tanecikli yapısına bağlı olup Cd^{+2} konsantrasyonunun artması sırasında Cd^{+2} 'nun yanı sıra S^{-2} 'nunda konsantrasyonunun artması sonucunda tanecikli yapıdan kaynaklanan porozitenin (gözeneklilik) azalması ile daha iyi bir yapısal ve optiksel özellikler ile diğer kalıcı özellikler elde edilmektedir. Bu süreç yaklaşık olarak 30-40 dak. sürmektedir (*Sasikala, et al., 2000; Hankare, et al., 1993; Lifshitz, et al., 1992*).

Bu yöntemle elde edilen filmlerin kalınlıkları dolayısı ile fiziksel özellikleri üzerine doğrudan etkisi olan bir diğer parametre ise püskürtme süresidir. Bu nedenle çözelti akış hızının kontrol edilmesi gerekmektedir. Çözelti akış hızı ya $1-20 \text{ ml.dak}^{-1}$ ölçekli bir flowmetre "akış ölçer" ile yada püskürtülen toplam çözelti miktarının püskürtme süresine oranlanarak hesaplanabilir. Bu konuda en uygun akış hızı değeri $2-10 \text{ ml.dak}^{-1}$ arasındadır. Püskürtme hızının düşük olması püskürtülen damlacıkların

ya tabana ulaşmadan buharlaşmalarına yada daha geç ulaşmalarına neden olmakta, yüksek olması ise taban sıcaklığının kontrol edilmesini zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak akış hızının yüksek olması filmin kalınlığının artmasına neden olurken düşük olması ise azalmasına sebep olmaktadır (Köse vd., 2001).



Şekil 2.4. Damlacık boyutuna bağlı çeşitli çöktürme yöntemleri (Ilcan vd., 2005)

Çözelti damlacıklarının film oluşturacak tabana yaklaştığı zaman tamamen buharlaştırılmış olması ideal taşınma olarak tanımlanır. Bununla beraber damlacıkların oluşumunda uniform bir damlacık boyutu elde edilemeyebilir. Herhangi bir nedenle damlacığın tabana ulaşmaması onların kütlelerine bağlıdır. Damlacıkların boyutlarının farklı olmasından dolayı farklı çöktürme yöntemleri vardır.

Şekil 2.4’de verilen süreçlerin hepsinde de polikristal film elde edilir, ancak en ideal film C sürecinde oluşmaktadır. C sürecinde, çözelti damlacıklarının boyutları A ve B sürecindekilere göre daha küçüktür. En uygun filmler bu süreçte elde edilir. Damlacıklar tabana ulaşmadan önce tamamen buharlaşarak heterojen bir reaksiyon meydana getirir.

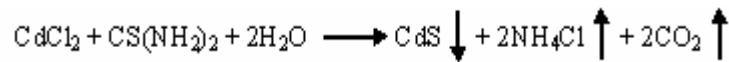
Bu heterojen reaksiyon olayı, yüzeyde oluşan reaksiyon moleküllerinin tabana difüzyonu, yüzeyde bir veya birden çok molekülün absorbe ve desorbe olması,

molekölün örgü içerisinde birleşmesi, tabana ulaşan bazı moleküllerin yüzeyden uzaklaşması gibi fiziksel ve kimyasal olayları içerir (*Ilcan vd., 2005*).

Bu çalışmada, CdS filmlerinin elde edilmesinde kullanılacak parametreler tanımlandıktan sonra, taban olarak Objektträger marka 76x26 mm mikroskop camlarından elde edilen 10x13 mm camlar kullanılmış ve taban sıcaklığı olarak 300 ± 5 °C seçilmiştir. Bu sıcaklığın seçilmesinin en büyük nedeni CdS filmlerinin 300-350 °C arasındaki taban sıcaklıklarında oluşumunun uygun olmasının daha önceki yapılan çalışmalarda belirtilmiş olmasıdır. Taban sıcaklığı gücü 5000–6000 Watt'lık gömme rezistanslı bronz elektrik ısıtıcısı ile sağlanmıştır.

İyi bir yüzeysel iletkenlik, taban olarak kullanılan camların temizliğine bağlıdır. Temizlenmiş cam taban üzerine çöktürme sonucu plakalanma daha üniform olmaktadır (*Sasikala, et al., 2000*). Püskürtme işleminden önce cam tabanlar, 8.3 ml derişik HCl çözeltisi içerisinde daldırılıp temizleme işlemi yapıldıktan sonra petri kaplar içerisinde saklanmışlardır.

CdS filmlerinde Cd kaynağı olarak $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($c=0,1$ M) ve S kaynağı olarak da tio-üre $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ ($c=0,1$ M) çözeltileri kullanılmıştır. Başlangıç püskürtme çözeltisi olarak toplam 100 cc [50 cc- $\text{CdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ve 50 cc- $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$] olarak hazırlanan çözeltinin sıcaklığı ~ 40 °C olup azot gazı yardımı ile (0.2 kg/cm²) $\sim 70-80$ °C sıcaklığındaki ortamda 20 dakikada önceden ısıtılmış 300 ± 5 °C deki cam tabanlar üzerine ultrasonik atomizer (püskürtme başlığı, 100 kHz) yardımı ile püskürtülmüştür. Krishnakumar ve arkadaşlarına göre ısıtılmış tabanlar üzerine çökertilen CdCl_2 ve $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ karışım çözeltilerinin kimyasal reaksiyonu,



şeklinde verilmektedir (*İzci, 1996*). Çözelti akış hızı, hem akış-hızı ölçer ile ölçülmüş hem de bilinen yöntemlerle hesaplanarak $v = 5$ ml/dak. olarak bulunmuştur.

Tavlama işlemleri için NABERTHERM D-2804: HD 018/17 (Max.1750°C) marka-model tavlama fırını kullanılmıştır. Seçilen film numuneleri, hava ortamında; 50±2°C 'lik artışlarla belirlenmiş 200±2°C 'den itibaren 450±2°C 'ye kadar 6 farklı sıcaklıkta 3 saat süre ile ayrı ayrı termal tavlamaya tabi tutulmuş, yaklaşık 24 saat sonra tavlama fırınının içerisinden alınarak petri kaplara konulmuştur (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Numunelerin taban sıcaklığı sabit tutularak yapılan tavlama sıcaklıkları ve süresi.

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı (±5 °C)	Tavlama Süresi (Saat)	Tavlama Sıcaklığı (±2 °C)
A0	300	3	Ham
A1			200
A2			250
A3			300
A4			350
A5			400
A6			450

Kalınlık ölçümleri sırasında önce film numunelerinin her birinden 10 ayrı yerden ELCOMETER 345 ile ölçüm alınmış daha sonra filmler derişik *HCl* ile çözülerek deiyonize su ile temizlendikten sonra tekrar her cam taban için yine 10 ayrı yerden ölçüm alınarak ortalama kalınlıklar bulunmuştur. Film (x) ile arasındaki fark (film kalınlığı) x_f olarak belirlenmiştir (Çizelge 2.2).

Elde edilen filmlerin üniformaluk oranı ölçülebilen özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. x kalınlığındaki filmlerin üniformaluk oranları,

$$\%x_u = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{x_{\text{ort}}} \times 100 \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir (Kestner, 2004). Burada filmin ölçülen maksimum kalınlığı x_{max} , ölçülen minimum kalınlığı x_{min} ve ölçülen kalınlıkların ortalaması x_{ort} 'dir. Yapılan ölçümlere göre numunelerin $\%x_u$ değerleri Çizelge 2.3 'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ham ve tavlanan CdS filmlerinin kalınlıkları.

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı (± 5 °C)	Tavlama Sıcaklığı (± 2 °C)	Film+Taban Kalınlığı x_{ft} (μm)	Cam Taban Kalınlığı x_t (μm)	Film Kalınlığı x_f (μm)
A0	300	Ham	667,7	666,7	1,0
A1		200	670,0	665,8	4,2
A2		250	665,1	662,6	2,5
A3		300	657,4	652,5	4,9
A4		350	705,2	701,4	3,8
A5		400	697,4	695,0	2,4
A6		450	696,8	693,4	3,4

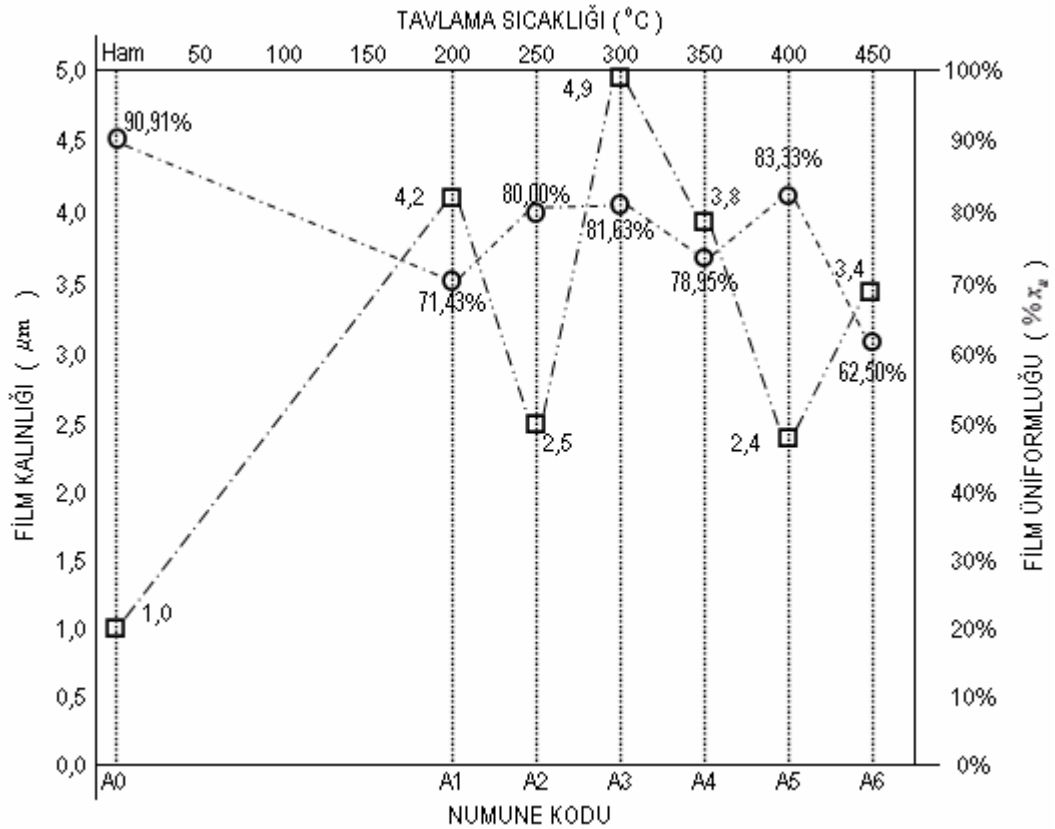
Çizelge 2.3. Ham ve tavlanan CdS filmlerinin kalınlıkları ile üniformluk oranları.

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı (± 5 °C)	Tavlama Sıcaklığı (± 2 °C)	Film Kalınlığı x (μm)	Filmlerin Üniformluk Değeri $\%x_u$
A0	300	Ham	1,0	90,91
A1		200	4,2	71,43
A2		250	2,5	80,00
A3		300	4,9	81,63
A4		350	3,8	78,95
A5		400	2,4	83,33
A6		450	3,4	62,50

Numunelere genel olarak bakıldığında farklı kalınlıklara sahip oldukları görülmektedir. Bunun nedeni uygun çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığı, püskürtme hızı ve püskürtülen çözelti miktarı, taban sıcaklığı v.b. parametrik değerler seçilmesine karşın püskürtme konisinin hemen altında yer alan ve uygun mesafeden püskürtülmesine rağmen en yakın cam tabanlar üzerinde, koni çemberine yakın

bölgelerdeki cam tabanlardan daha fazla çözelti gelmesi sonucunda daha kalın yapılaşma olmasındır. Elde edilen numunelerin yüzeylerinin düzgün olmasının nedenlerinden birisi olarak da, taban olarak kullanılan camların temizliğinin olduğu düşünülmektedir. Numunelerin tamamının farklı tavlama sıcaklıklarında elde edilen üniformluk değerleri kalınlığa bağlı olarak Şekil 2.5.'de verilmiştir.

Tavlama işlemine tabi tutulmayan A0 numunesindeki 1,0 μm 'lık kalınlık değeri ile %90,91 gibi bir üniformluk değerinin elde edilmesinin nedeni filmin kalınlığının yanı sıra çözeltideki kimyasal reaksiyonun bitim süresinden sonra çöktürme işleminin yapılması olabilir. Tavlama ile filmlerin homojenliğinin arttığı düşünülmektedir.



Şekil 2.5. Farklı kalınlıklara sahip numunelerin sabit taban sıcaklığında farklı tavlama sıcaklığına bağlı üniformluk değerlerinin şematik gösterimi.

Tavlanan numunelerdeki üniformaluluk değerinin A6 numunesi hariç yüksek çıkmasının nedeni tavlama işlemidir. Farklı kalınlıklarda olmalarına rağmen bu numunelerde, çöktürme öncesi çözeltideki kimyasal reaksiyonun bitimi sonrasında Cd^{+2} 'nin yanı sıra S^{-2} 'nin de konsantrasyonunun artması ile tanecikli yapıdan kaynaklanan porozitenin azalması tavlama işlemi ile hızlandırılmakta ve artırılmaktadır. A6 numunesinde üniformaluluk değerinin düşük çıkmasının nedeninin çöktürmeden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ultrasonik kimyasal püskürtme yönteminin kullanılması ile küçük damlacık boyutlarının elde edilmesinin yanı sıra püskürtmenin homojen ortam ısısında yapılmasının uygun taban sıcaklığı seçimi ile homojen filmler elde edilmiştir. Filmlerin yüzeysel üniformaluluklarının yüksek çıkmasının, filmlerin kalınlıkları farklı olmasına rağmen bu şekilde açıklanabileceği düşünülmektedir.

BÖLÜM III

CdS FİMLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş

X-ışınları kristallografisinde çok yoğun olarak kullanılan deneysel teknikler toz kırınım metodu, Laue metodu ve döner kristal metodudur. Endüstrideki ve bilimsel gelişmelere bağlı olarak günümüzde, katı ve toz örneklerin yapılarındaki çeşitli kristal formlar veya fazlar hakkında bilgi veren analitik bir teknik olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, malzemenin içerdiği fazlar ve bu fazların konsantrasyonu, kristal olmayan fazların miktarı ve kristal boyutu hakkında bilgi vermektedir. Çalışma prensibi olarak örneğe x-ışını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplaması söylenebilir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde analizlenebilmektedir. Bu yöntemin çok kullanışlı olmasının nedeni kristal yapılarında parmakizi hassaslığında veri toplayabilmesi ve güvenilir olmasıdır.

3.2. Filmlerin Yapısal Özellikleri ve XRD Spektrumu

Bu yöntem, özellikle optik yöntemler ile incelemelerin sınırlı veya imkansız olduğu kayaç, cevher, kil mineralleri, endüstriyel hammaddeler ve kristallenen malzemeler ile böbrek taşlarının nitel ve nicel olarak incelemelerinde kullanılan en önemli mineralojik analiz yöntemlerinden birisidir. XRD veya elektron kırınım yöntemlerinin mineralojik tanımlama prensipleri aynı olup, her bir kristal maddenin kendisine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak x-ışınları veya elektronları karakteristik bir düzen içerisinde saçılması esasına dayanır. Analiz edilen örneklerin XRD grafikleri çekilerek ASTM indeks kartlarına göre değerlendirilmeleri yapılır.

Her bir kristalin kendine özgü x-ışınları toz desenine sahip olması nedeni ile karşılaştırma yöntemi ile yapılan bu çalışmalarda malzeme biliminde oldukça önemli olan atomlar arasındaki mesafe ve açı bilgileri, atomların bir araya geliş ve dizilişleri ile hücre boyutları gibi karakteristikleri belirlenebilmektedir.

Yüksek performanslı cihazların yapılması için kullanılan epitaksiyel filmler, mikroelektronik ve optoelektronik cihazlarda kullanılmakta olup bu filmlerin bazı özelliklerini ölçmede özgün bir teknik olarak tercih edilmediği söylene de bu filmler için elde edilmiş XRD karşılaştırma kartları bulunmaktadır. İnce film difraksiyon ölçümlerinde, tabanlar ve ince filmlerin epitaksiyel tabakalarının içinden geçen yüksek girişimli x-ışınları kullanılarak elde edilen proses geliştirme ve kontrol araçları mevcuttur. XRD ile ince filmlerin karakterize edilmesinde birkaç önemli husus söz konusudur. Birincisi, çok kalın tabanlı olan filmlerde ölçümler için kullanılan kırınım geometrisidir. İkincisi, çok az kusura sahip yarıiletken materyaller için uygun olan yüksek açısal çözünürlüktür. Sonuç olarak bu ölçümler için yüksek girişimli x-ışınları kullanılmasıdır. İnce film örnekleri için,

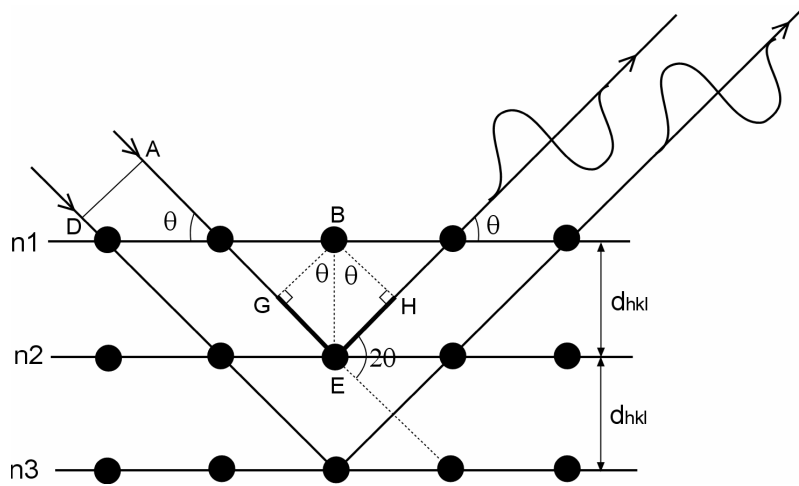
- i. ***Texture measurements*** : Fabrikasyon işlemlerde tek bir kristal yada polikristalin örneğinin yapısal özelliklerinin belirlenmesi,
- ii. ***Precise Lattice Constants Measurements*** : 2θ - θ aralığında elde edilen tam örgü sabitleri ölçümü olup taban ve film arasındaki gerilim ve zorlamanın belirteci olan örgü uyumsuzlukları hakkında bilgi alınması,
- iii. ***Rocking Curve Measurements*** : Sabit 2θ ile θ aralığında yapılan ölçümler olup filmlerin ters orantılı dislokasyon yoğunluğunun bulunmasında, sonuç olarak filmlerin kalitesinin belirlenmesi,
- iv. ***Superlattice Measurements*** : Filmlerin kalınlığı ve kalitesi hakkında bilgi edinmeye yönelik olmak üzere, filmlerin temel difraksiyon piklerinin çevresindeki belli olan yapay pikler yardımı ile çok tabakalı heteroepitaksiyel yapıların ölçümü,
- v. ***Glancing Incidence X-Ray Reflectivity Measurements*** : Amorf materyallerle elde edilen filmlerde ve kristalin materyallerde gerekli olmayan bu teknik

filmlerin kalınlık, yoğunluk ve pürüzsüzlüklerinin ölçümü amaçlı yöntemler kullanılmaktadır.

Materyallerin kristal yapıları ile ilgili çalışmalarda kullanılan x-ışınlarının dalga boyları 0.5-2.5 Å arasında değişmektedir (Cullity, 1966).

Tüm yöntemlerde materyale ait özellikler x-ışınları kırınımı ile belirlenmektedir. Bir kristalde, birbirlerine paralel ve eş mesafeli atomik düzlemler, eşdeğer düzlemler takımını teşkil eder. Atomik düzlemlerden difraksiyona uğrayan x-ışınları sanki bu düzlemlerden yansıyorlarmış gibi hareket ederler..

Kaydedilen yansıma tek bir düzlemden değil, paralel düzlemler takımından gelen yansımaların toplamıdır. Bu toplamı elde etmek için Bragg eşitliğinin sağlanması gerekir.



Şekil 3.1. X-ışınlarının atomik düzlemlerden difraksiyonu.

Şekil.3.1.'den görüldüğü gibi yansıyan dalgaların kaydedilebilmesi için birbirlerini kuvvetlendirmeleri yani aynı fazda olmaları gerekir. İki ayrı düzlemden yansıyan x-ışınlarının arasındaki yol farkı $[GE+EH]$ olup iki ışının aynı fazda olmaları için yol farkının λ 'nın tam katlarına eşit olması gereklidir.

$$[GE+EH] = n\lambda \quad (3.1)$$

olduğundan, $GE = d_{hkl}\sin\theta_B$ ve $EH = d_{hkl}\sin\theta_B$ değerleri yerlerine konulduğunda,

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta_B \quad (3.2)$$

bağıntısı elde edilir (*Cullity, 1966*). Bu bağıntıda, λ gelen x-ışının dalgaboyu, θ_B numune yüzeyi ile gelen x-ışının arasındaki Bragg açısı ve d_{hkl} düzlemler arasındaki mesafedir. a örgü sabiti ve kırınımına uğrayan her demet için h,k,l indisleri ile tanımlanmak üzere düzlemleri arasındaki mesafe, kübik bir kristal için;

$$d_{hkl} = \left[\frac{1}{a^2} (h^2 + k^2 + l^2) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

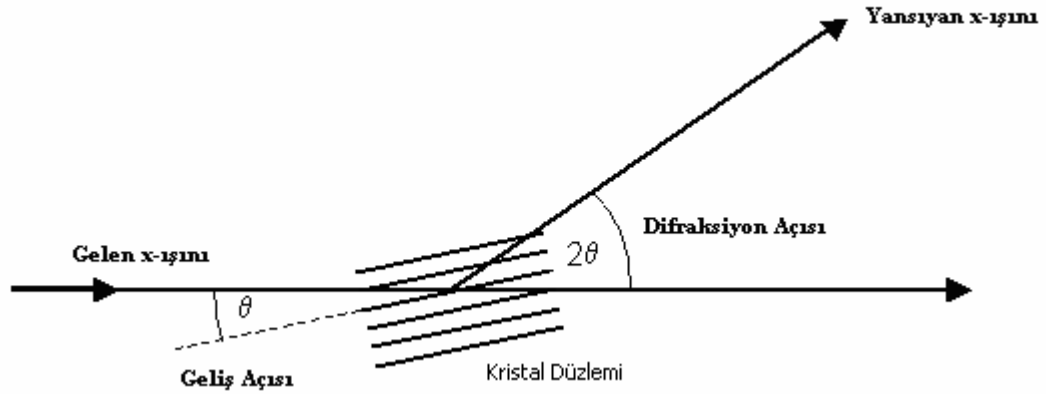
hegzagonal bir kristal için ise;

$$d_{hkl} = \left[\frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

olarak verilir (*Cullity, 1966*). Bir kristal içerisinde uzunlukları büyük olan düzlemler çok fazla sayıda örgü noktasından geçtiğinden bu tip düzlemlerin Miller indisleri küçüktür. Küçük uzunluktaki düzlemler ise az sayıda örgü noktasından geçtiğinden bunların Miller indisleri ise büyük olmaktadır.

x-ışınları difraksiyonunda Bragg kanununun gerçekleşebilmesi için λ ve θ değerlerinin değiştirilmesi zorunludur. Bunun nedeni monokromatik bir radyasyonla bir monokristalin x-ışını demeti içerisine konulması halinde genel olarak hiç difraksiyon demeti oluşmamasıdır. Toz yönteminde; $\lambda = sbt$ iken θ değiştirilerek difraksiyon desenleri oluşturulmaktadır. 2θ olarak adlandırılan ve kristalde oluşan difraksiyon doğrultuları birim hücrenin şekli ve büyüklüğü ile ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemde Şekil 3.2'de

gösterildiği gibi, tozun hepsi birden olası eksenlerin tamamı etrafında döndürülebilen monokristal gibi davranır (Cullity, 1966).



Şekil 3.2. Bragg geometrisine göre 2θ daima gelen ve yansıyan ışınlar arasındaki açıdır. İsteyerek elde edilebilen deneysel durumlara ait bu açı x-ışını difraksiyonunun sonucudur. Bununla birlikte unutulmaması gereken Bragg eşitliğinin daima gelen x-ışınının kristal düzlemi ile yaptığı θ değerine bağlı olmasıdır.

Kristalin kalınlığı azaldıkça difraksiyon eğrisinin genişliği artmaktadır. XRD ile ince filmlerin analizinde, büyük boyutlu taneler için kırınım desenlerinde Bragg açısının tam ve kesin değerlerinde pikler oluşacaktır. Bunun sebebi “parçacık boyutu genişlemesi” olarak bilinen kavramdır. Küçük taneli kristal yapılarda Bragg açısına yakın tüm koherent saçılmaları yok edecek kadar örgü düzlemi olmamasından dolayı Bragg açısından küçük sapmaların birbirini tam olarak yok edememesi sonucu kırınım piklerinde açılma görülür. Bu sonuç büyük taneli kristal yapılarda örgü düzlemleri ile olan diğer açılardaki koharent olmayan saçılmayla kırınımın yok olmasından kaynaklanır. Bir β_{rad} kırınım pikinin genişlemesi (yarı pik genişliği) kristal yapıdaki D tane boyutuna, θ_B Bragg açısı ve λ kullanılan x-ışınının dalgaboyu olmak üzere Scherrer formülü ile bağlıdır (Cullity, 1966).

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta_{rad} \cos \theta_B} \quad (3.5)$$

Difraksiyon eğrilerinin genişliğinden küçük tanelerin büyüklüğü eğer 10^{-5} cm (1000 Å) den daha küçük ise tane büyüklüğü yerine tanecik büyüklüğü ifadesi kullanılır ve D kristal taneciğinin çapını gösterir. D aynı zamanda difraksiyon çizgilerinin genişlemesini gösterir. Ayrıca gönderilen x-ışını demetine çok yakın olarak saçılan 2θ açıları olarak $0-3^\circ$ arasında olan küçük sapmalar-saçılmalar söz konusu olabilir. Saçılan bu şiddetin 2θ 'ya göre incelenmesi ile küçük taneciklerin (amorf yada kristal) büyüklük ve şekilleri bulunabilir. Bu yöntem “küçük açı saçılması” olarak bilinir ve katı çözeltilerde çökeltme etkilerinin incelenmesinde kullanılır (Cullity, 1966).

Küçük partikül hacimleri, çözeltilinin çok iyi bir şekilde püskürtülmesi sırasında çökelmeye bağlı olarak oluşur. Bu durum düzlemsel yönlenmedeki partikül sınırlarının bariyer etkilerinden dolayı bir çok yarıiletken uygulamasında istenmez. Taban materyalinin sıcaklığının yükseltilmesi ile istenen partikül hacmi elde edilir (Ashour, 2003).

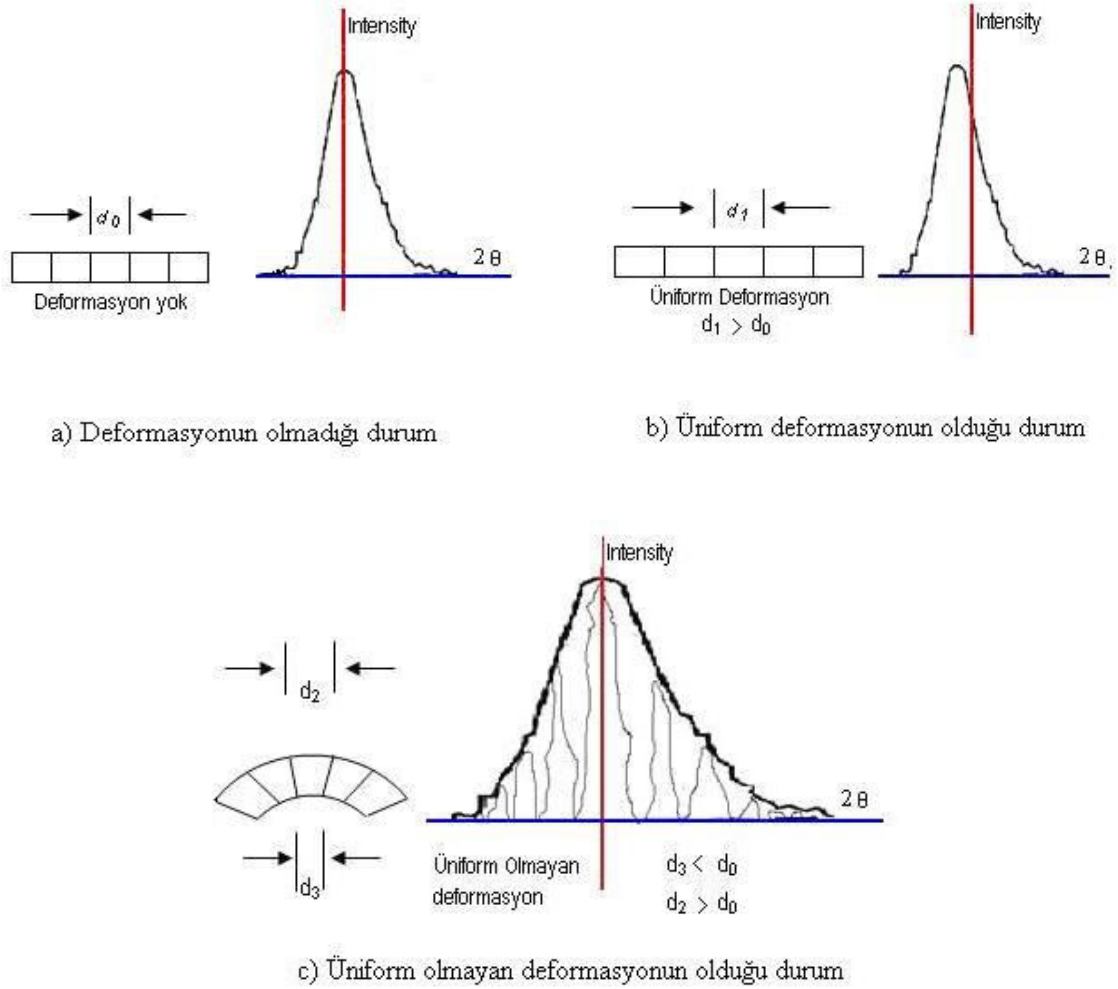
Kristalin çizgisel diziliminin düzenliliği olarak ta adlandırılan δ_D dislokasyon yoğunluğu çizgisel bir kusur olduğundan birim alanı kesen çizgisel düzensizliğin sayısı olarak ta tanımlanabilir. Dislokasyon yoğunluğu ;

$$\delta_D = n \frac{1}{D_v} \quad (3.6)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanabilir. Dislokasyonların rastgele dağılımı için minimum δ_D değeri için $n=1$ olarak alınır. Küçük δ_D değerleri materyalin kristallenmesinin daha iyi olduğunun ve tek kristal olma özelliğine daha yakın olduğunun kanıtıdır (Narayandass, et al., 2002).

Bir kristaldeki çekme ya da sıkışmadan kaynaklanan deformasyonlar eğer düzgün ise makro gerilme olarak tanımlanır ve örgü parametrelerini değiştirerek sıkışmadan dolayı birim hücre mesafelerinin daha küçük, çekmeden dolayı ise birim hücre mesafelerinin daha büyük olması sonucu kırınım piklerinde kaymaya sebep olur.

Çekme ve sıkışma kuvvetlerinin dağılımı ile oluşan mikro gerilmeler ise kırınım piklerinde; boşluklar ve kesilmiş düzlemlerden kaynaklanabilecek olan genişlemeye neden olur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Örgü deformasyonunun çizgi genişliği ve konumu üzerindeki etkisi (Cullity, 1966)

Sonuç olarak mikrogerilmelerde kısa mesafeli olmak koşulu ile taneciklerin birbirlerini etkilemeleri söz konusudur. Makrogerilmelerde ise gerilme üniform ve büyük mesafeler boyunca gerçekleşmektedir.

Piklerdeki bu kaymalar sıkışmış ya da genişlemiş örgü düzlemlerine sahip tanelerin varlığı olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, $\langle e \rangle$ mikro gerilmeleri, d düzlemler arasındaki mesafeyi ve d_0 deformasyonun olmadığı durumlarda düzlemler arasındaki mesafeyi göstermek üzere,

$$\langle e \rangle = \frac{d - d_0}{d_0} \quad (3.7)$$

denklemleriyle ifade edilir (Cullity; 1966).

Bir kristal karakteristik olarak tercihli yönelim gösterebilir. Tercihli yönelim, analiz edilen fazlar için deneysel desenlerin ideal desenlerden farklı olmasına neden olur. Bu yönelimi belirlemede kullanılan yöntemlerden biri, tercihli yönelim gösteren kristalin elde edilen desenlerindeki kırınım şiddetlerinin hesaplanan (rastgele) desenlerdeki kırınım şiddetleri ile karşılaştırmaktır, yöntemlerden bir diğeri ise yapılanma katsayısı TC (Texture Coefficient)'nin kullanılmasıdır. Bu yöntemde kristalin tercihli yönelimini belirlemek için düzlemlere ait yapılanma katsayısı,

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{N^{-1} \left[\sum \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]} \quad (3.8)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada $I(hkl)/I_0(hkl)$ kırınıma uğramış ışının ve film üzerine gelen ışının şiddetlerinin oranını, N ise kırınım piklerinin sayısını göstermektedir. Yapılanma katsayısının en yüksek olduğu pikler tercihli yönelimi belirlemektedir. Tercihli yönelim, tavlama sıcaklığı ve zamanın uygun seçilmesi ile kontrol edilebilir. Tercihli yönelimin tanecik şekliyle ilgisi bulunmamaktadır. (Torres, J. and Gordillo, G., 1997; Cullity, 1966).

CdS filmlerinin tercihli yönelimi düşük çöktürme hızı ile çözeltideki kimyasal reaksiyonun sınırlandırılmasının kontrolü ile sağlanmaktadır. Kristalleşme, 0,8 M ve

üzerindeki konsantrasyonlara sahip çözelti kullanımında kübik düzlemlerle ve bu arada oluşan hegzagonal düzlemlerle başlar. 1 M konsantrasyonlu çözeltilerle oluşturulan filmlerde kristalleşme sırasında pikler (110) ve (100) düzlemlerinde gerçekleşir. Üstün olan hakim düzlemler ise (002) boyunca gözlenir (*Ashour, 2003; Choy and Su, 2000; Archbold, et al, 2007*).

Tercihli yönelimde elde edilen desenlerde; görünen açılarla, standart θ - 2θ geometrisi hakimdir. Çünkü küçük ince filmlerin θ - 2θ saçınımı uzun süreli olarak tabana yönelik olup θ - 2θ geometrisi genişleyerek ilerleme gösterir (*Gibson, et al., 2000*).

Tercihli yönelim için taban sıcaklığının etkisi artış yönünde olup diğer piklerin oluşumunda oldukça etkilidir (*Ashour, 2003; Bilgin, et al., 2005*). Tercihli yönelmelerin filme yapılan katkı elementinin konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir. Tane boyutunun küçülmesi ve tercihli yönelimin değerinin azalması yarı pik genişliğinin artmasına bağlıdır (*Atay, et al., 2003; Ullrich, et al., 2001*).

Çöktürme tekniklerinde kullanılan ısıl ve kimyasal işlem basamakları filmlerin verimliliği ile fiziksel özelliklerinin değişiminde etkilidir (*Rami, et al., 2000; Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001*). Çözelti sıcaklığının artırılması yöntemiyle de tanecik boyutu azaltılarak üniform film elde edilebilmektedir (*Wenyi, et al., 2005*). Tavlama sıcaklığı filmlerin homojenliğini sağlarken bu homojenlik aynı zamanda Cd difüzyonuna da bağlıdır (*Chow, et al., 2005; Calixto and Sebastian, 1999; Lokhande and Mane, 1997; Webb, et al., 1998*).

Elde edilen filmlerin kompozisyonu kullanılan çözeltideki Cd oranına ve tuzların konsantrasyonuna bağlıdır (*Guseinov, et al., 1997*). Filmlerde üniform olmayan yapı, çöktürme sırasında Cd^{+2} ve S^{-2} 'nin düzensiz dağılımından kaynaklanmaktadır (*Ignatov, 1998*). Filmin kalınlığının artması ile tanecik boyutu da artar ve gerilme azalır. Azalan bu gerilme, filmin kalınlığının artmasından kaynaklanan örgü kusurlarının konsantrasyonunu azaltır (*Mathew and Enriquez, 2003; Lozada-Morales and Zelaya-Angel, 2004*). Filmlerin kalınlığının artması yarı pik genişliğinin azalmasına neden

olmaktadır (*Al Kuhaimi, 1998*). Spray pyrolysis ve diğer bazı teknikler kullanılarak hegzagonal tek fazlı CdS filmleri elde edilmiştir (*Ashour, 2003*).

Kristalleşme tavlama ile arttırılabilmektedir (*Lokhande, et al., 2000*). Kullanılan çözeltinin film elde edilirken cam tabanlar üzerine püskürtme hızı filmin yüzeysel uniformluğunu sağlarken filmin difraksiyon desenlerinde kolay ayırt edilebilen piklerin oluşmasına neden olur (*Lee, et al., 2001*).

x-ışınları difraksiyonu desenlerinin değerlendirilmesinde tanecik boyutu dikkate alınır. Küçük tanecik boyutunun olduğu durumlarda desen çizgileri yayılır ve pikler daha farklı olmaktadır (*Bayhan, 1998*). Hava içerisinde yapılan ısı tavlamalarda kristalleşmenin arttığı gözlenmiştir (*O'Brien, et al., 1999*)

CdS filmlerinin elde edilmesinde kullanılan özgün taban sıcaklığının 250-290 °C civarında olduğu (*Hartley and Irvine, 2000; Berrigan, et al., 1998; Jin, et al., 2005; Vigil, et al., 1995*), 400°C ve üzerindeki sıcaklıklardaki tavlama sonrasında ise CdS filmlerinin ~10 nm 'lik küçük taneciklerden oluşan kompozit bir malzeme gibi görüldüğü ve rastgele yönelime sahip olduğu da ayrıca belirtilmektedir (*Johnson, 2000*).

Hazırlanan bir malzemedeki deformasyonların varlığı hesaplanan a örgü sabiti değerlerinin ASTM (American Society for Testing Materials) kartındaki değerlerle karşılaştırılarak bulunur. Farklılıkların sebebi malzemenin hazırlama parametrelerindeki değişikliklerden kaynaklanmasındır.

3.3. CdS Filmlerinin XRD Desenleri

x-ışınları difraktometrelerinde en yaygın kullanılan x-ışınları ışınması Cu tarafından yayınlanan K_{α} ışınması için dalgaboyu $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ olan ışımadır. Gelen x-ışını demeti numuneye çarptığında olası her 2θ değeri için difraksiyon oluşmaktadır.

Kırınımına uğrayan demet hareketli bir detektör yardımıyla toplanabilmektedir. Bu çalışmada BRUCKER D8 ADVANCED difraktometre cihazı ile 20-60° aralığındaki 2θ değerleri için tarama yapılmış olup deneyler sıcaklığı 25°C olan ortamda gerçekleştirilmiş ve dalgaboyu $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ olan CuK_α ışınması kullanılmıştır.

Bütün numuneler aynı kimyasal çözelti ile hazırlanmış olup aynı taban sıcaklığında $300 \pm 5^\circ\text{C}$ büyütülmüşlerdir (Bkz. Çizelge 2.3). Tavlama işlemi H_2 ortamında yapılmış olup tavlama zamanları 3 saat olarak sabit tutulmuş fakat tavlama sıcaklıkları için farklı değerler kullanılmıştır. Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilen desenlerden görüleceği üzere oluşturulan filmler tamamen hegzagonal yapılıdır ve oluşan tüm pikler literatüre uygun olup, ilk üç kırınım piki sırasıyla (100) (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleşmektedir. Diğer pikler ise daha düşük şiddette olmalarına karşın yarı pik genişlikleri oldukça küçük olduğundan bu numunedeki kristalleşmenin iyi düzeyde olduğu söylenebilir.

Numunelerde genelde dislokasyonların oldukça küçük olması da kristalleşmenin iyi olduğunun bir göstergesidir. Desenlerde şiddet çizgilerinin bulunduğu pik üzerinden 2θ düzlemine izdüşümleri incelendiğinde şiddet çizgilerinin merkezden uzaklaşmış olması da film numunesinde üniform bir deformasyon olduğunu göstermektedir.

3.3.1. A0 numunesinin XRD desenleri

Hazırlanan A0 numunesinin Şekil 3.4.'de verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu piklerin difraksiyon açıları, düzlemler arasındaki uzaklıkları, miller indisleri, kristalleşme yapıları, radyan cinsinden yarı pik genişlikleri, tanecik boyutları ve örgü sabitleri ile düzlemsel dislokasyon ve düzlemsel deformasyon değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

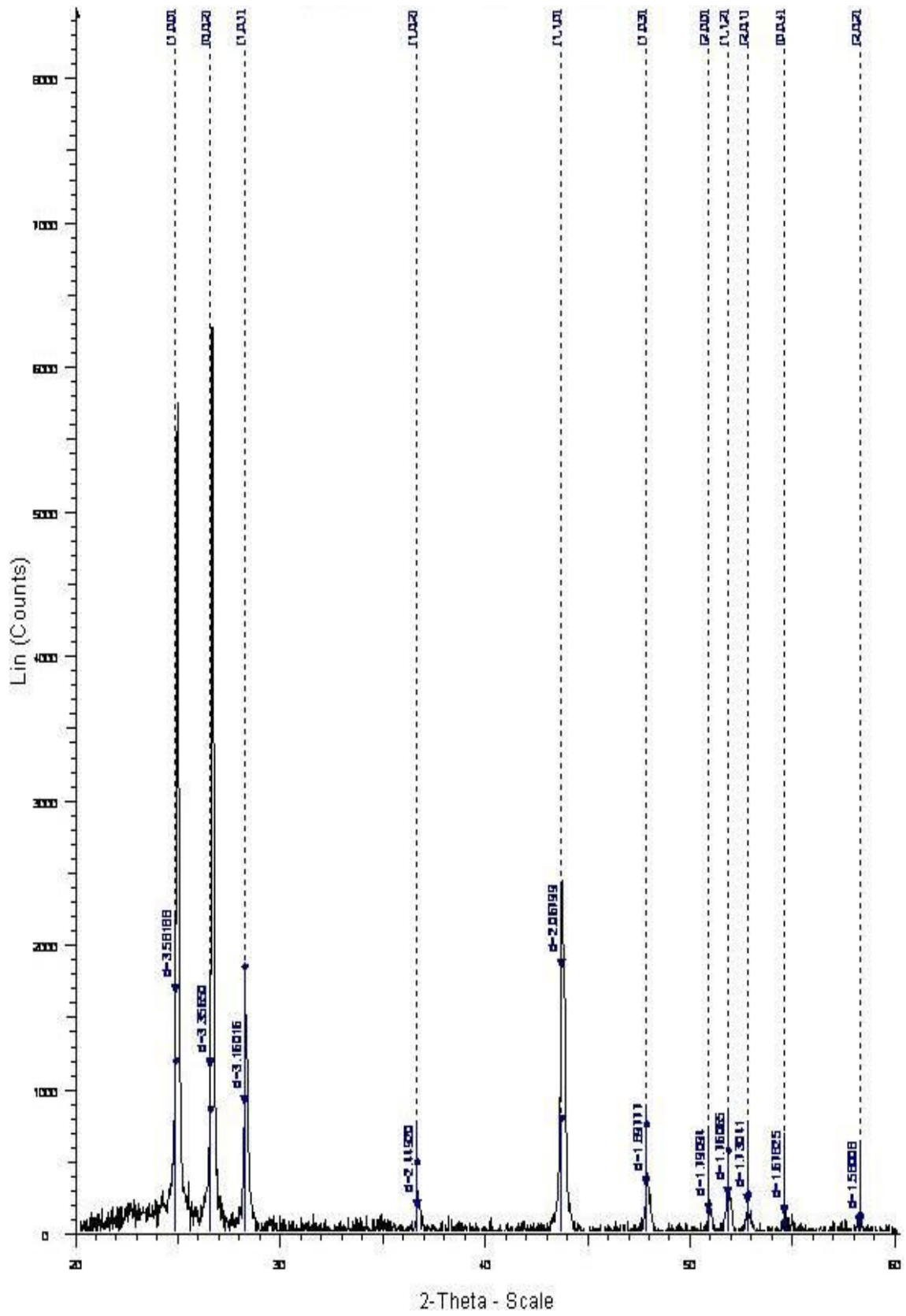
Bu numunede (002) doğrultulu pik, şiddeti en yüksek pik olup, bu pikin 2θ değeri literatüre uygun olarak $26,60^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi

$V_a=114,8359 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk üç piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=3.00$, $TC_{002}=3.29$ ve $TC_{101}=0.78$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (002) doğrultusundaki ikinci pikin hem yarı pik aralığı en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{002}=3.29$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri 26.60° olan (002) pikinin tercihli yönelimi belirlendiği düşünülmektedir.

Çizelge 3.1 A0 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri

Numune Kodu : A0 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : Ham
 ASTM : Cadmium Sulfide Tavlama Süresi : 3 saat

$d \text{ (\AA)}$	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yan pik genişliği (10^{-3} rad)	D Tanecik Boyutu (\AA)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon δ_D $\times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle \epsilon \rangle$ $\times 10^{-3}$
				$2\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_B \text{ (}^\circ\text{)}$			a=b (\AA)	c (\AA)		
3,5819	1 0 0	hex.	5750	24,90	12,45	9,599	147,92	4,1360	6,7130	45,705	-0,31
3,3565	0 0 2	hex.	6300	26,60	13,30	8,727	163,26	4,1360	6,7130	37,518	-3,12
3,1602	1 0 1	hex.	1500	28,20	14,10	10,472	136,51	4,1360	6,7130	53,659	0,06
2,4492	1 0 2	hex.	750	36,70	18,35	3,491	418,47	4,1360	6,7130	5,710	-0,33
2,0680	1 1 0	hex.	2350	43,80	21,90	7,854	190,28	4,1360	6,7130	27,620	0,00
1,8978	1 0 3	hex.	880	47,90	23,95	3,491	434,64	4,1360	6,7130	5,294	-0,11
1,7909	2 0 0	hex.	720	50,90	25,45	2,618	586,32	4,1360	6,7130	2,909	-0,06
1,7607	1 1 2	hex.	800	51,90	25,95	3,491	444,71	4,1360	6,7130	5,056	-0,17
1,7304	2 0 1	hex.	780	52,90	26,45	3,491	443,67	4,1360	6,7130	5,080	-0,35
1,6783	0 0 4	hex.	680	54,70	27,35	2,618	596,28	4,1360	6,7130	2,813	-0,42
1,5801	2 0 2	hex.	580	58,30	29,15	1,745	908,75	4,1360	6,7130	1,211	-0,57



Şekil 3.4 A0 numunesi XRD desenleri.

3.3.2. A1 numunesinin XRD desenleri

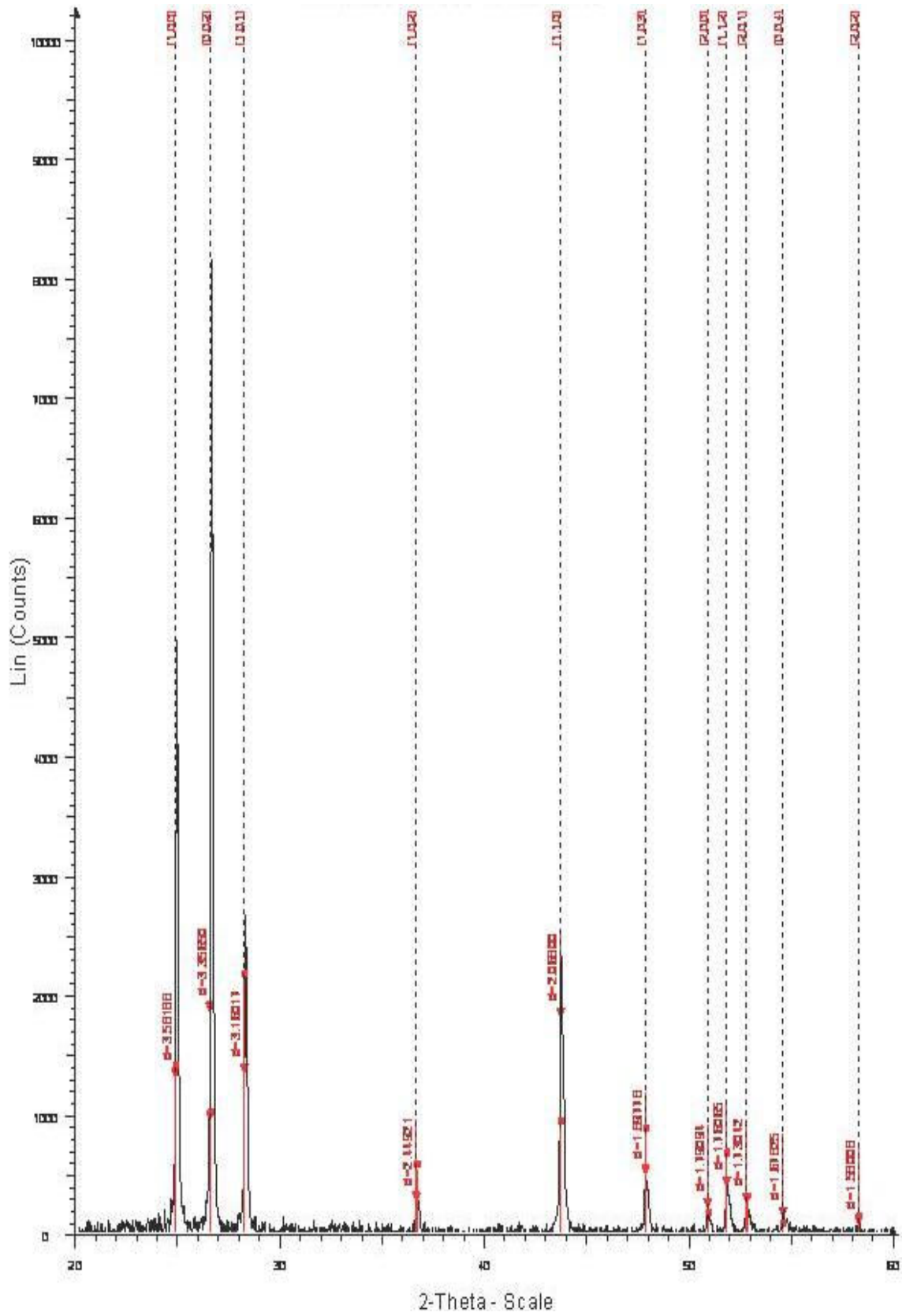
Hazırlanan A1 numunesinin Şekil 3.5.'de verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu numuneye ait bazı yapısal parametreler Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 A1 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri.

Numune Kodu : A1 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : $200 \pm 2^\circ\text{C}$
 ASTM : Cadmium Sulfide Tavlama Süresi : 3 saat

$d \text{ (\AA)}$	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yarı pik genişliği (10^{-3}rad)	D Tanecik Boyutu (\AA)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle \epsilon \rangle \times 10^{-3}$
				$2\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_B \text{ (}^\circ\text{)}$			a=b (\AA)	c (\AA)		
3,5819	1 0 0	hex.	5000	24,90	12,45	13,963	101,69	4,1360	6,7130	96,697	-0,31
3,3565	0 0 2	hex.	8150	26,60	13,30	11,345	125,59	4,1360	6,7130	63,405	-3,12
3,1602	1 0 1	hex.	2700	28,20	14,10	12,217	117,01	4,1360	6,7130	73,036	0,06
2,4492	1 0 2	hex.	1020	36,70	18,35	3,927	371,98	4,1360	6,7130	7,227	-0,33
2,0680	1 1 0	hex.	2550	43,80	21,90	17,017	87,82	4,1360	6,7130	129,661	0,00
1,8978	1 0 3	hex.	1250	47,90	23,95	3,927	386,34	4,1360	6,7130	6,700	-0,11
1,7909	2 0 0	hex.	900	50,90	25,45	2,618	586,32	4,1360	6,7130	2,909	-0,06
1,7607	1 1 2	hex.	1150	51,90	25,95	5,236	296,47	4,1360	6,7130	11,377	-0,17
1,7304	2 0 1	hex.	1020	52,90	26,45	6,109	253,52	4,1360	6,7130	15,558	-0,35
1,6783	0 0 4	hex.	950	54,70	27,35	4,363	357,77	4,1360	6,7130	7,813	-0,42
1,5801	2 0 2	hex.	800	58,30	29,15	4,363	363,50	4,1360	6,7130	7,568	-0,57

Bu numunede (002) doğrultulu pik, şiddeti en yüksek olan pik olup, bu pikin 2θ değeri $26,60^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi $V_a=114,8359 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk üç piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=2.16$, $TC_{002}=3.52$ ve $TC_{101}=1.17$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (002) doğrultusundaki ilk pikin hem yarı pik genişliği en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{002}=3.52$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri 26.60° olan (002) pikinin tercihli yönelimi belirlediği düşünülmektedir.



Şekil 3.5 Al numunesi XRD desenleri.

3.3.3. A2 numunesinin XRD desenleri

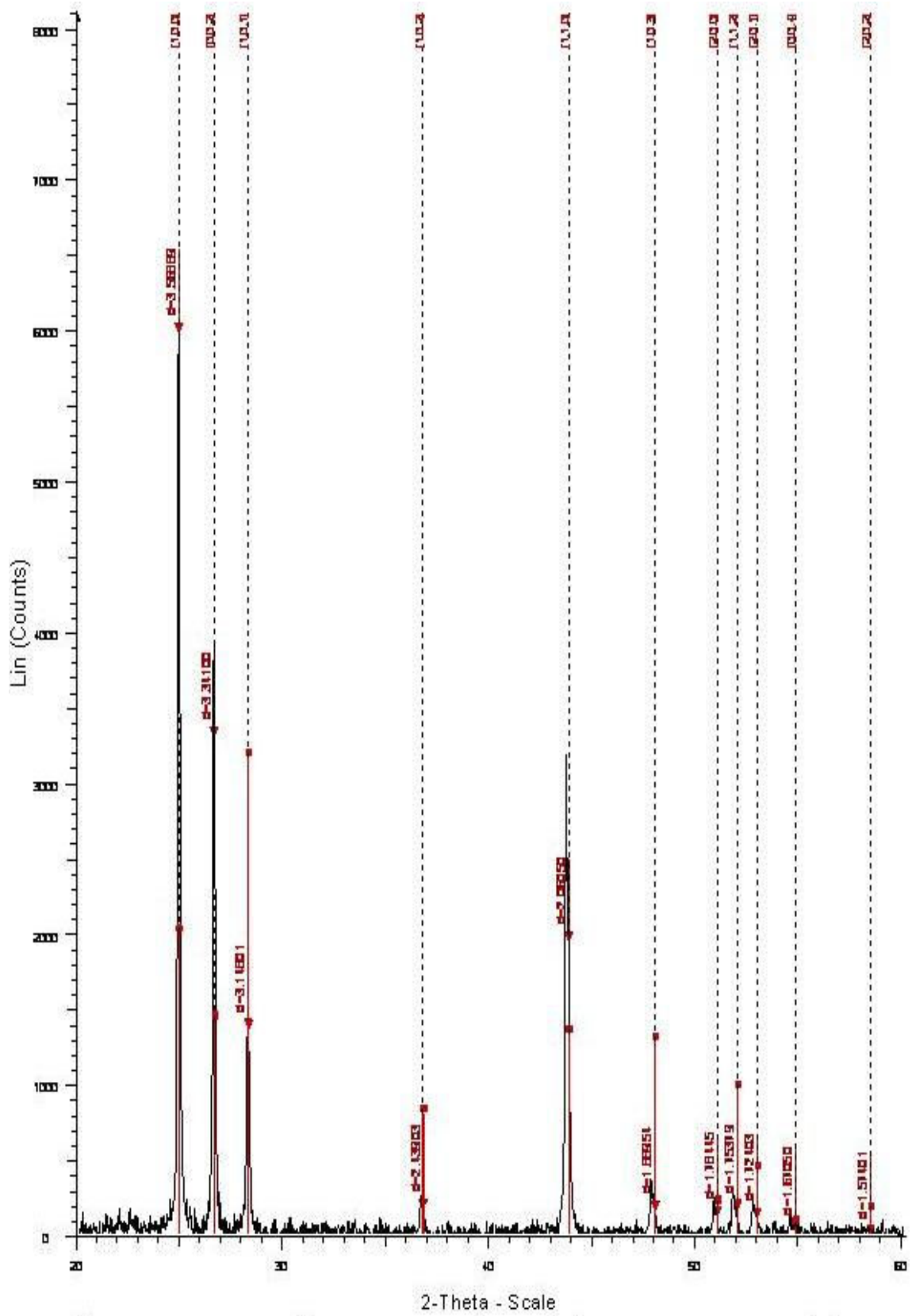
A2 numunesinin Şekil 3.6.'da verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu numuneye ait bazı yapısal parametreler Çizelge 3.3. 'de verilmiştir.

Desenlerden görüleceği üzere kırınım pikleri (100), (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleşmektedir. (100) doğrultulu pik, şiddeti en yüksek olan pik olup 2θ değeri $25,00^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi $V_a=114,3056 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk üç piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=2.96$, $TC_{002}=1.95$ ve $TC_{101}=1.65$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (100) doğrultusundaki ilk pikin hem yarı pik aralığı en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{100}=2.96$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri 25.00° olan (100) pikinin tercihli yönelimi belirlendiği düşünülmektedir.

Çizelge 3.3 A2 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri

Numune Kodu : A2 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : $250 \pm 2^\circ\text{C}$
 ASTM : Cadmium Sulfide Tavlama Süresi : 3 saat

$d (\text{Å})$	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yarı pik genişliği (10^{-3} rad)	D Tanecik Boyutu (Å)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle \epsilon \rangle \times 10^{-3}$
				$2\theta (^\circ)$	$\theta_B (^\circ)$			a=b (Å)	c (Å)		
3,5689	1 0 0	hex.	5850	25,00	12,50	12,217	116,22	4,1360	6,6820	74,034	-3,94
3,3410	0 0 2	hex.	3850	26,80	13,40	11,345	125,59	4,1360	6,6820	63,405	-7,72
3,1480	1 0 1	hex.	3250	28,30	14,15	12,217	117,01	4,1360	6,6820	73,036	-3,80
2,4390	1 0 2	hex.	850	36,90	18,45	5,236	278,98	4,1360	6,6820	12,848	-4,49
2,0650	1 1 0	hex.	3200	43,90	21,95	9,599	155,68	4,1360	6,6820	41,260	-1,45
1,8896	1 0 3	hex.	1300	48,10	24,05	5,236	289,76	4,1360	6,6820	11,910	-4,43
1,7845	2 0 0	hex.	650	51,10	25,55	4,363	351,79	4,1360	6,6820	8,080	-3,63
1,7538	1 1 2	hex.	980	52,10	26,05	5,236	296,47	4,1360	6,6820	11,377	-4,09
1,7240	2 0 1	hex.	680	53,10	26,55	4,363	354,93	4,1360	6,6820	7,938	-4,04
1,6705	0 0 4	hex.	600	54,90	27,45	4,363	357,77	4,1360	6,6820	7,813	-5,06
1,5740	2 0 2	hex.	500	58,70	29,35	3,491	454,37	4,1360	6,6820	4,844	-4,43



Şekil 3.6 A2 numunesi XRD desenleri.

3.3.4. A3 numunesinin XRD desenleri

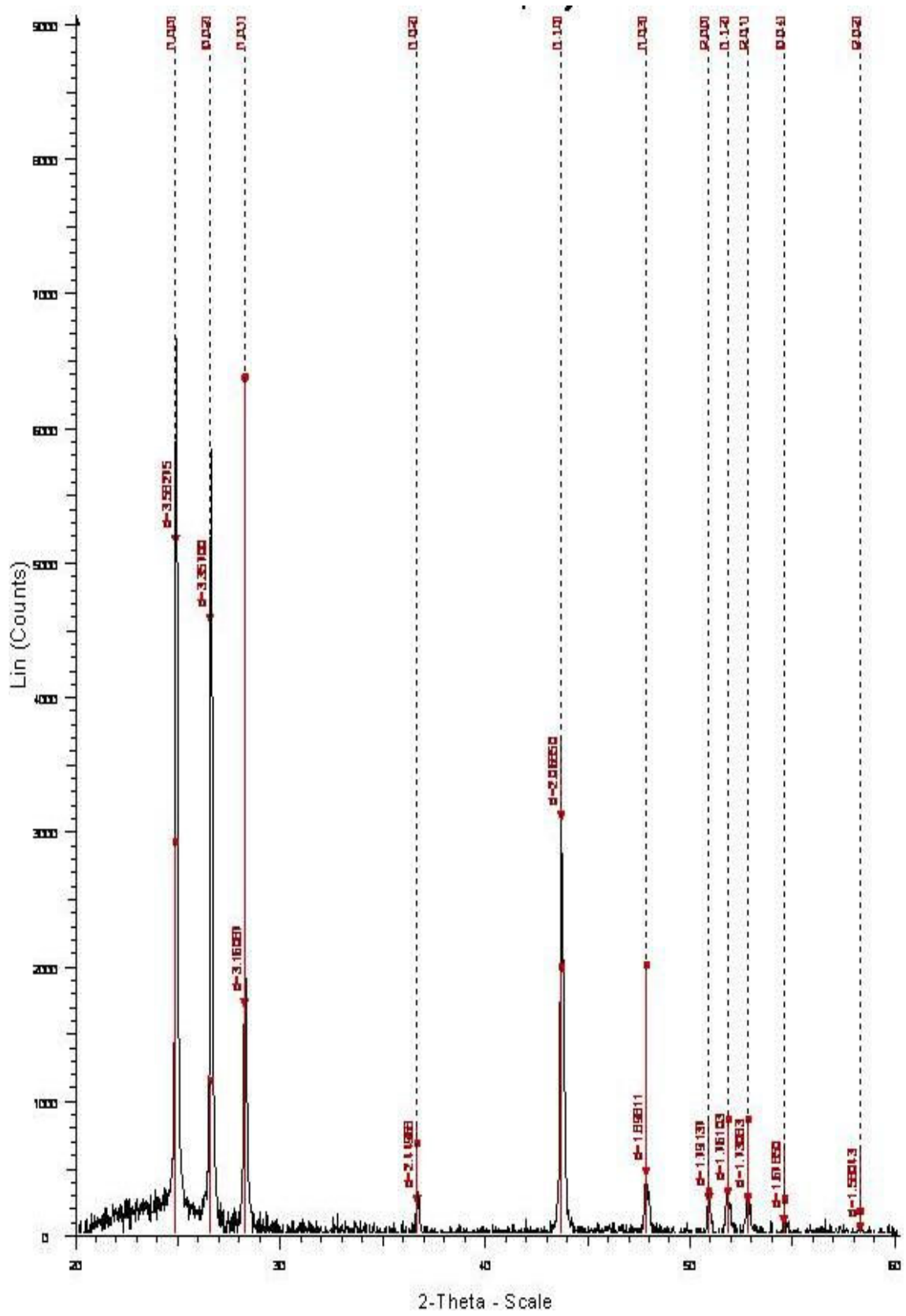
Hazırlanan A3 numunesinin Şekil 3.7.'de verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu numuneye ait bazı yapısal parametreler Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Desenlerden görüleceği üzere kırınım pikleri (100), (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleşmektedir. (100) doğrultulu pik, şiddeti en yüksek olan pik olup 2θ değeri $24,90^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi $V_a=114,8530 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk üç piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=2.48$, $TC_{002}=2.18$ ve $TC_{101}=2.38$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (100) doğrultusundaki ilk pikin hem yarı pik aralığı en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{100}=2.48$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri $24,90^\circ$ olan (100) pikinin tercihli yönelimi belirlediği düşünülmektedir.

Çizelge 3.4 A3 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri.

Numune Kodu : A3 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : $300 \pm 2^\circ\text{C}$
 ASTM : Greenockite, syn. Tavlama Süresi : 3 saat

$d (\text{Å})$	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yan pik genişliği (10^{-3}rad)	D Tanecik Boyutu (Å)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle e \rangle \times 10^{-3}$
				$2\theta (^\circ)$	$\theta_B (^\circ)$			a=b (Å)	c (Å)		
3,5828	1 0 0	hex.	6650	24,90	12,45	12,217	116,22	4,1360	6,7140	74,034	-0,89
3,3570	0 0 2	hex.	5850	25,60	12,80	11,345	125,33	4,1360	6,7140	63,665	-0,60
3,1609	1 0 1	hex.	6400	27,30	13,65	12,217	116,78	4,1360	6,7140	73,323	-0,66
2,4497	1 0 2	hex.	850	36,80	18,40	5,236	279,07	4,1360	6,7140	12,840	-0,53
2,0685	1 1 0	hex.	3700	43,80	21,90	9,599	155,68	4,1360	6,7140	41,260	-0,72
1,8981	1 0 3	hex.	2050	47,90	23,95	5,236	289,76	4,1360	6,7140	11,910	-0,47
1,7914	2 0 0	hex.	900	50,90	25,45	4,363	351,91	4,1360	6,7140	8,075	-0,89
1,7610	1 1 2	hex.	920	51,90	25,95	5,236	294,49	4,1360	6,7140	11,530	-0,57
1,7308	2 0 1	hex.	880	52,90	26,45	4,363	354,93	4,1360	6,7140	7,938	-0,69
1,6785	0 0 4	hex.	700	54,60	27,30	4,363	357,61	4,1360	6,7140	7,820	-0,30
1,5804	2 0 2	hex.	620	58,30	29,15	3,491	454,79	4,1360	6,7140	4,835	-0,38



Şekil 3.7 A3 numunesi XRD desenleri

3.3.5. A4 numunesinin XRD desenleri

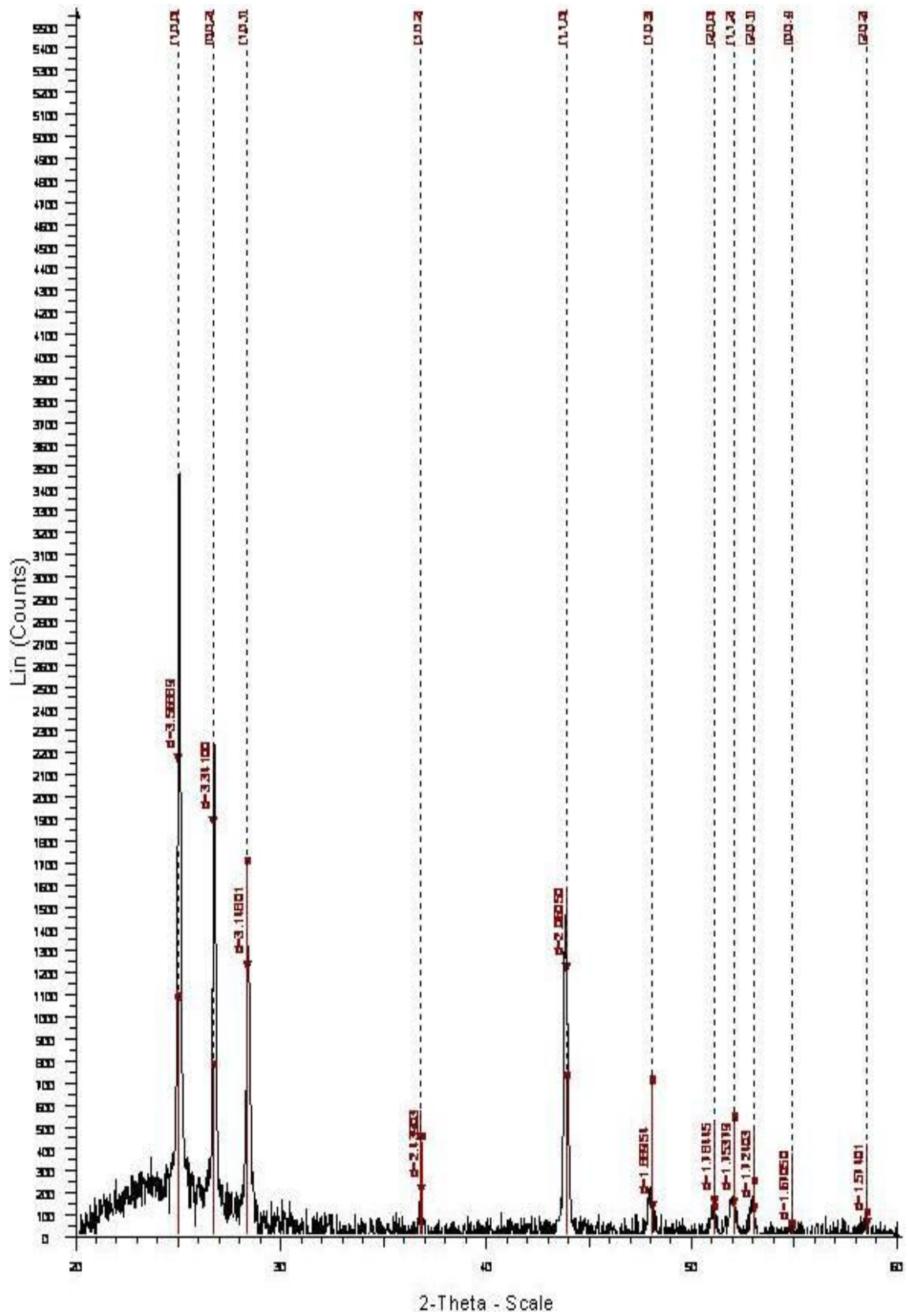
Hazırlanan A4 numunesinin Şekil 3.8.'de verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu numuneye ait bazı yapısal parametreler Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Desenlerden görüleceği üzere kırınım pikleri (100), (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleşmektedir. (100) doğrultulu pik, şiddeti en yüksek olan pik olup 2θ değeri $25,00^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi $V_a=113,4780 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk üç piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=3.00$, $TC_{002}=1.94$ ve $TC_{101}=1.47$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (100) doğrultusundaki ilk pikin hem yarı pik aralığı en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{101}=3.00$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri 25.00° olan (100) pikinin tercihli yönelimi belirlendiği düşünülmektedir.

Çizelge 3.5 A4 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri.

Numune Kodu : A4 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : $350 \pm 2^\circ\text{C}$
 ASTM : Cadmium Sulfide Tavlama Süresi : 3 saat

$d \text{ (\AA)}$	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yan pik genişliği (10^{-3}rad)	D Tanecik Boyutu (\AA)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle \epsilon \rangle \times 10^{-3}$
				$2\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_B \text{ (}^\circ\text{)}$			a=b (\AA)	c (\AA)		
3,5689	1 0 0	hex.	3475	25,00	12,50	10,472	135,59	4,1210	6,6820	54,392	-3,94
3,3410	0 0 2	hex.	2250	26,70	13,35	9,599	148,45	4,1210	6,6820	45,378	-7,72
3,1480	1 0 1	hex.	1700	28,25	14,13	10,036	142,48	4,1210	6,6820	49,261	-3,80
2,4390	1 0 2	hex.	550	36,85	18,43	3,054	478,51	4,1210	6,6820	4,367	-4,49
2,0650	1 1 0	hex.	1550	43,90	21,95	10,036	148,96	4,1210	6,6820	45,066	-1,45
1,8896	1 0 3	hex.	750	48,10	24,05	3,491	434,97	4,1210	6,6820	5,285	-4,43
1,7845	2 0 0	hex.	525	51,10	25,55	4,363	352,22	4,1210	6,6820	8,061	-3,63
1,7538	1 1 2	hex.	550	52,20	26,10	4,363	353,87	4,1210	6,6820	7,986	-4,09
1,7240	2 0 1	hex.	500	53,05	26,53	3,491	443,96	4,1210	6,6820	5,073	-4,04
1,6705	0 0 4	hex.	425	54,90	27,45	2,618	596,82	4,1210	6,6820	2,807	-5,06
1,5740	2 0 2	hex.	450	58,65	29,33	2,618	607,50	4,1210	6,6820	2,710	-4,43



Şekil 3.8 A4 numunesi XRD desenleri.

3.3.6. A5 numunesinin XRD desenleri

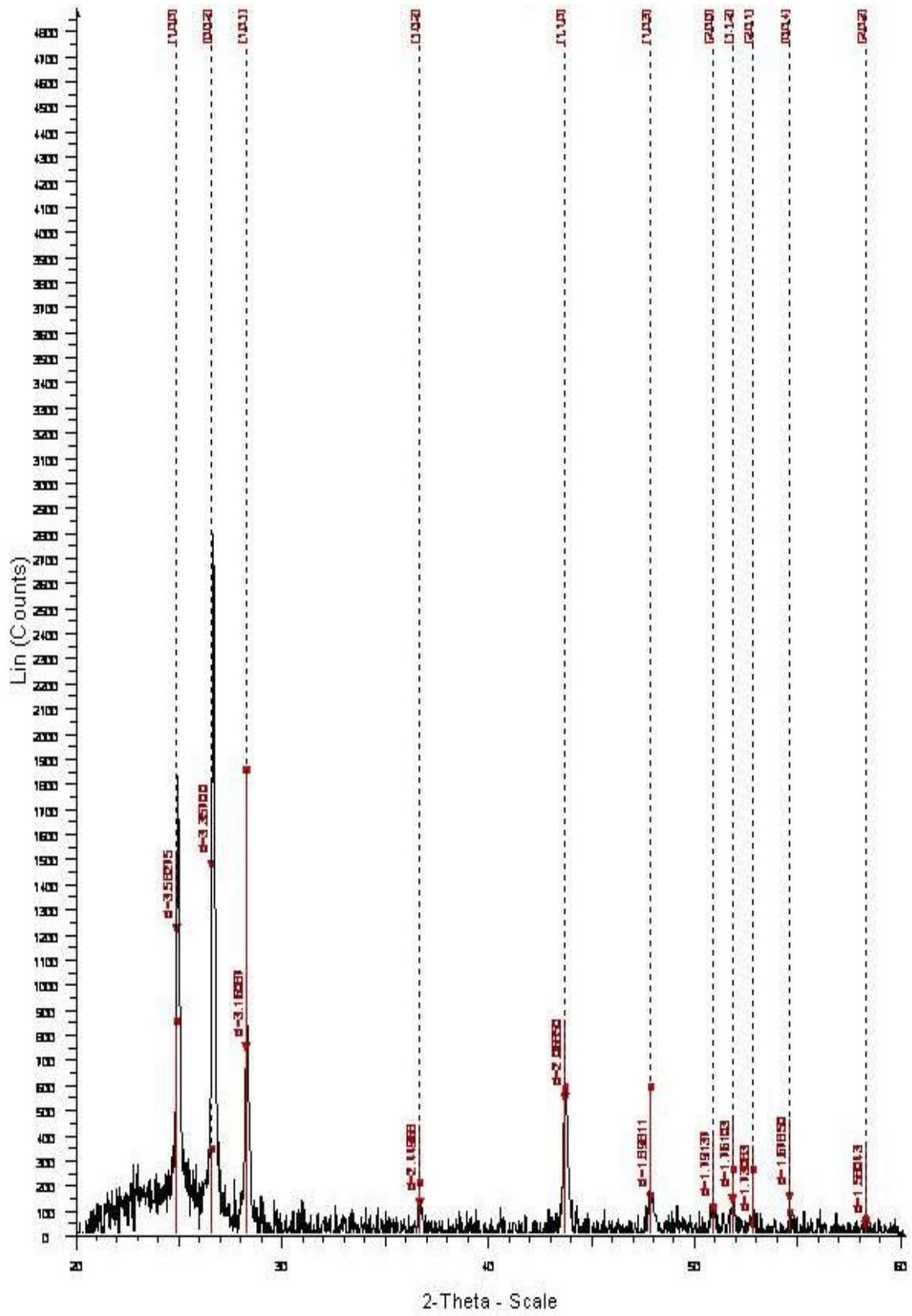
Hazırlanan A5 numunesinin Şekil 3.9.'da verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu numuneye ait bazı yapısal parametreler Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Desenlerden görüleceği üzere kırınım pikleri (100), (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleşmektedir. (002) doğrultulu pik, hem şiddeti en fazla olan pik olup 2θ değeri $25,60^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi $V_a=114,9086 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk iki piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=1.93$, $TC_{002}=2.92$ ve $TC_{101}=1.96$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (002) doğrultusundaki ikinci pikin hem yarı pik genişliği en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{002}=2.92$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri 25.60° olan (002) pikinin tercihli yönelimi belirlendiği düşünülmektedir.

Çizelge 3.6 A5 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri

Numune Kodu : A5 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : $400 \pm 2^\circ\text{C}$
 ASTM : Greenockite, syn. Tavlama Süresi : 3 saat

d (Å)	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yan pik genişliği (10^{-3} rad)	D Tanecik Boyutu (Å)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle \epsilon \rangle \times 10^{-3}$
				2θ (°)	θ_B (°)			a=b (Å)	c (Å)		
3,5828	1 0 0	hex.	1850	24,90	12,45	12,217	116,22	4,1370	6,7140	74,034	-0,89
3,3570	0 0 2	hex.	2800	25,60	12,80	11,345	125,33	4,1370	6,7140	63,665	-0,60
3,1609	1 0 1	hex.	1880	28,20	14,10	11,781	121,35	4,1370	6,7140	67,913	-0,66
2,4497	1 0 2	hex.	425	36,80	18,40	5,236	279,07	4,1370	6,7140	12,840	-0,53
2,0685	1 1 0	hex.	850	43,80	21,90	9,599	155,68	4,1370	6,7140	41,260	-0,72
1,8981	1 0 3	hex.	625	47,90	23,95	5,236	289,76	4,1370	6,7140	11,910	-0,47
1,7914	2 0 0	hex.	425	50,90	25,45	4,363	351,91	4,1370	6,7140	8,075	-0,89
1,7610	1 1 2	hex.	475	51,90	25,95	5,236	294,49	4,1370	6,7140	11,530	-0,57
1,7308	2 0 1	hex.	350	52,90	26,45	4,363	354,93	4,1370	6,7140	7,938	-0,69
1,6785	0 0 4	hex.	475	54,70	27,35	4,363	357,77	4,1370	6,7140	7,813	-0,30
1,5804	2 0 2	hex.	375	58,20	29,10	3,491	454,58	4,1370	6,7140	4,839	-0,38



Şekil 3.9 A5 numunesi XRD desenleri.

3.3.7. A6 numunesinin XRD desenleri

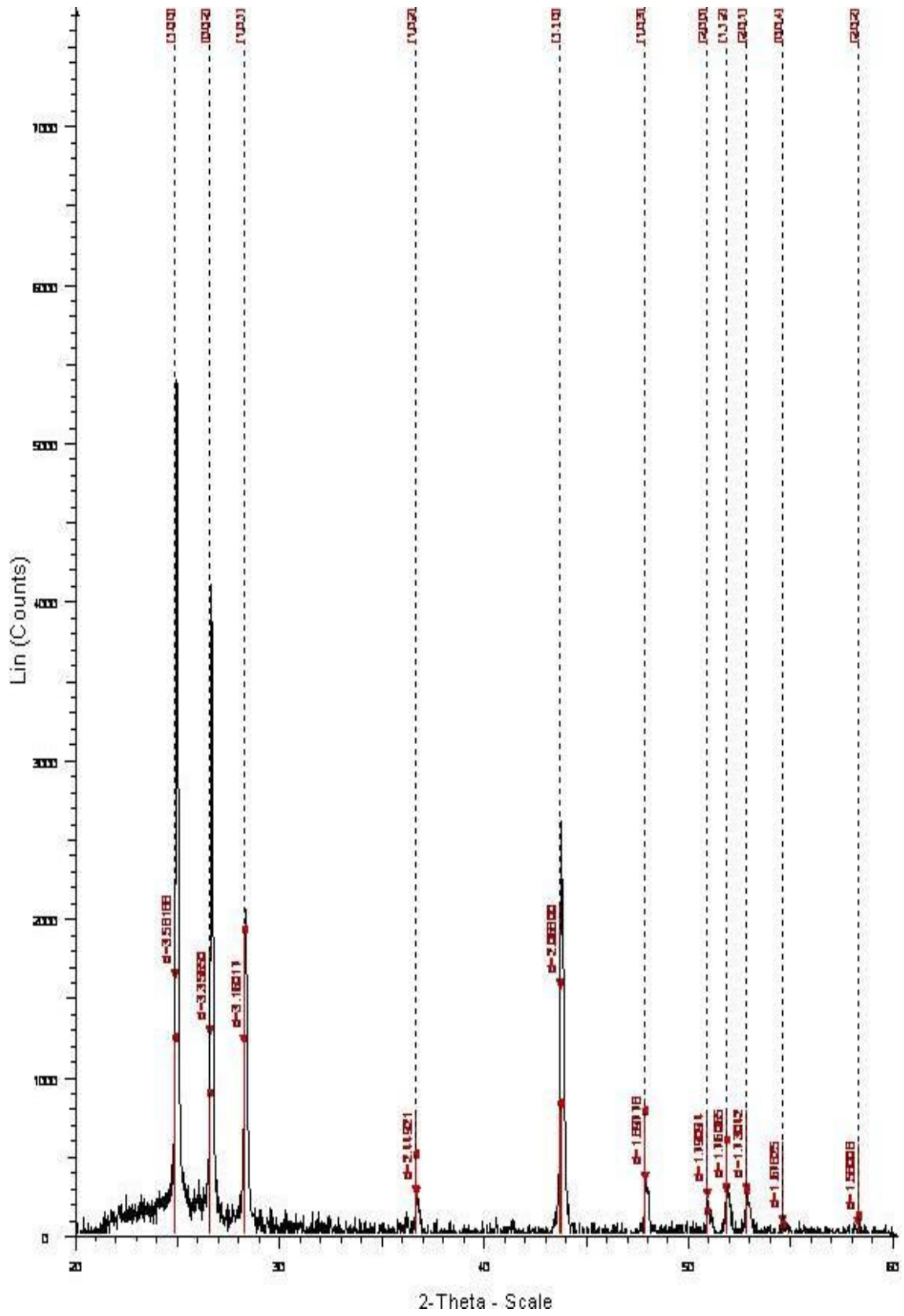
Hazırlanan A6 numunesinin Şekil 3.10.'da verilen x-ışını kırınım desenlerinde farklı şiddette ve genişlikte 11 pik bulunmaktadır. Bu numuneye ait bazı yapısal parametreler Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Desenlerden görüleceği üzere kırınım pikleri (100), (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleşmektedir. (100) doğrultulu pik, şiddeti en yüksek olan pik olup 2θ değeri $24,90^\circ$ olarak bulunmuştur. Birim hücre hacmi $V_a=114,8359 \text{ \AA}^3$ (Çizelge 3.9) olan bu numunenin ilk iki piki için yapılanma katsayıları $TC_{100}=3.06$, $TC_{002}=2.33$ ve $TC_{101}=1.16$ olarak hesaplanmış olup, bu numunede (100) doğrultusundaki ilk pikin hem yarı pik genişliği en az olan hem de yapılanma katsayısı en yüksek olan ve $TC_{100}=3.06$ değerini alması sebebiyle 2θ değeri $24,90^\circ$ olan (100) pikinin tercihli yönelimi belirlendiği düşünülmektedir.

Çizelge 3.7 A6 numunesinin bazı yapısal parametrik değerleri.

Numune Kodu : A6 Taban Sıcaklığı : $300 \pm 5^\circ\text{C}$
 Kullanılan x-ışını $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ Tavlama Sıcaklığı : $450 \pm 2^\circ\text{C}$
 ASTM : Cadmium Sulfide Tavlama Süresi : 3 saat

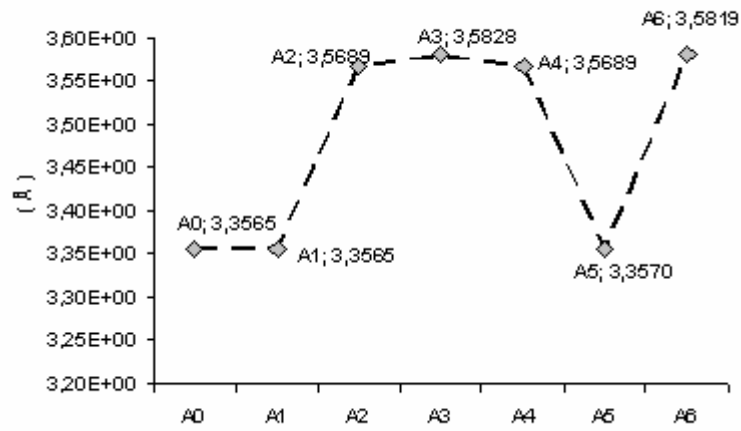
$d \text{ (\AA)}$	$h k l$	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yarı pik genişliği (10^{-3}rad)	D Tanecik Boyutu (\AA)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle \epsilon \rangle \times 10^{-3}$
				$2\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$\theta_B \text{ (}^\circ\text{)}$			a=b (\AA)	c (\AA)		
3,5819	1 0 0	hex.	5400	24,90	12,45	10,472	135,59	4,1360	6,7130	54,392	-0,31
3,3565	0 0 2	hex.	4100	26,70	13,35	8,727	163,29	4,1360	6,7130	37,502	-3,12
3,1602	1 0 1	hex.	2050	28,25	14,13	9,163	156,05	4,1360	6,7130	41,066	0,06
2,4492	1 0 2	hex.	800	36,85	18,43	4,363	334,95	4,1360	6,7130	8,913	-0,33
2,0680	1 1 0	hex.	2700	43,80	21,90	10,472	142,71	4,1360	6,7130	49,102	0,00
1,8978	1 0 3	hex.	820	47,90	23,95	3,491	434,64	4,1360	6,7130	5,294	-0,11
1,7909	2 0 0	hex.	780	50,90	25,45	3,491	439,88	4,1360	6,7130	5,168	-0,06
1,7607	1 1 2	hex.	800	51,90	25,95	3,491	441,74	4,1360	6,7130	5,125	-0,17
1,7304	2 0 1	hex.	780	52,90	26,45	3,491	443,67	4,1360	6,7130	5,080	-0,35
1,6783	0 0 4	hex.	580	54,75	27,38	2,618	596,42	4,1360	6,7130	2,811	-0,42
1,5801	2 0 2	hex.	580	58,25	29,13	2,182	727,58	4,1360	6,7130	1,889	-0,57



Şekil 3.10 A6 numunesi XRD desenleri

3.3.8. XRD desenleri için genel değerlendirme ve tercihli yönelimler

Elde edilen tüm numunelerde, gözlenen piklerin oluştuğu tüm doğrultulardaki düzlemler arasındaki mesafelerin ASTM kartlarındaki değerlerine çok yakın olması elde edilen numunelerin literatüre uygun olduğunu göstermektedir (Şekil 3.11 ve Çizelge 3.8).

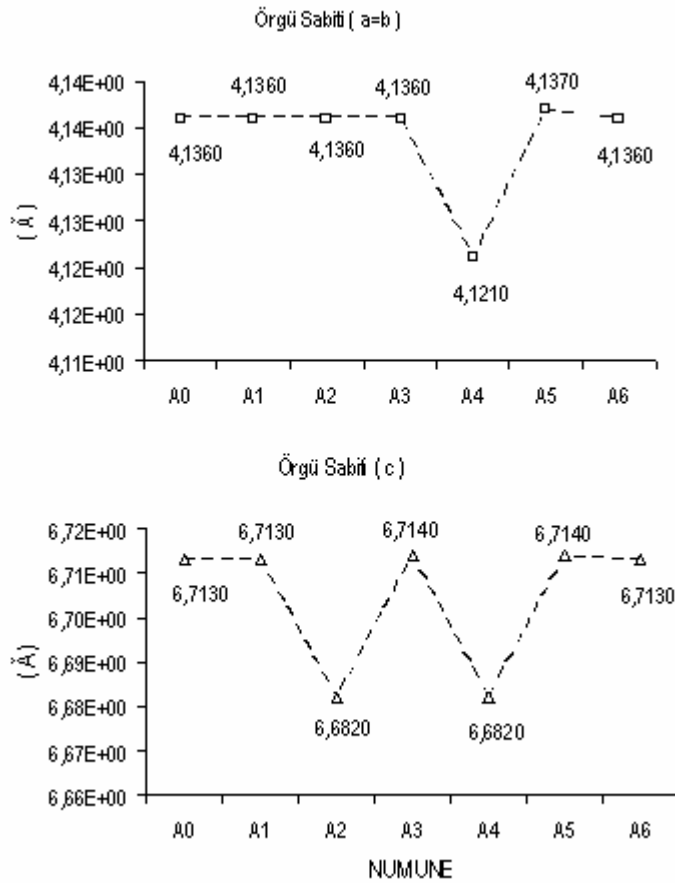


Şekil 3.11 Numunelerin tercihli yönelim gösterdiği ve piklerin oluştuğu düzlemler arasındaki d (Å) değerlerinin yığılma analizi

Çizelge 3.8 CdS filmlerine ait ASTM kartı değerleri

Pik Kodu	Düzlem		ASTM								
	h	k	l	Cadmium Sulfide				Greenockite			
				Düzlemler Arasındaki Mesafe (Å)	Int.	Birim Örgü Sabitleri (Å)	Birim Örgü Hacmi (Å) ³	Düzlemler Arasındaki Mesafe (Å)	Int.	Birim Örgü Sabitleri (Å)	Birim Örgü Hacmi (Å) ³
1	1	0	0	3,583	75	$a = b = 4,1360$ $c = 6,713$	114,8359	3,586	62	$a = b = 4,14092$ $c = 6,7198$	115,2259
2	0	0	2	3,367	60			3,359	91		
3	1	0	1	3,16	100			3,163	100		
4	1	0	2	2,45	25			2,451	29		
5	1	1	0	2,068	55			2,07	48		
6	1	0	3	1,898	40			1,899	50		
7	2	0	0	1,791	18			1,793	8		
8	1	1	2	1,761	45			1,762	31		
9	2	0	1	1,731	18			1,732	15		
10	0	0	4	1,679	4			1,679	5		
11	2	0	2	1,581	8			1,581	3		

Hava içerisinde yapılan termal tavlama sonucunda kristalleşmenin arttığı gözlenen bu film numunelerinde kristal birim hacimlerinin değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu, örgü sabitlerinin örtüştüğü (Şekil 3.12) ve literatüre uygun olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.12. Numunelerin örgü sabitleri dağılımı analizi

Numunelerin tavlama sıcaklıklarının 200-250 ve 300 °C olduğu çalışmalar sonucunda elde edilen filmlerde düzlemsel deformasyonların birbirinden farklı ancak çok küçük olmasının yanı sıra düzlemsel dislokasyonlarının da eşit ve küçük olması aynı yarı pik genişlikleri ve tanecik boyutlarını oluşturması sebebi ile seçilen bu tavlama sıcaklığı aralıklarında filmlerde oldukça iyi bir kristallenme ve tercihli yönelmeler elde edilmiştir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.9 Numunelerin tercihli yönelime göre birim örgü hacimleri

Numune	a=b (Å)	c (Å)	Hacim V_a (Å) ³
A0	4,136	6,713	114,8359
A1	4,136	6,713	114,8359
A2	4,136	6,682	114,3056
A3	4,136	6,714	114,853
A4	4,121	6,682	113,478
A5	4,137	6,714	114,9086
A6	4,136	6,713	114,8359

Çizelge 3.10 Numunelerin tercihli yönelimlerine göre bazı yapısal parametrik değerleri

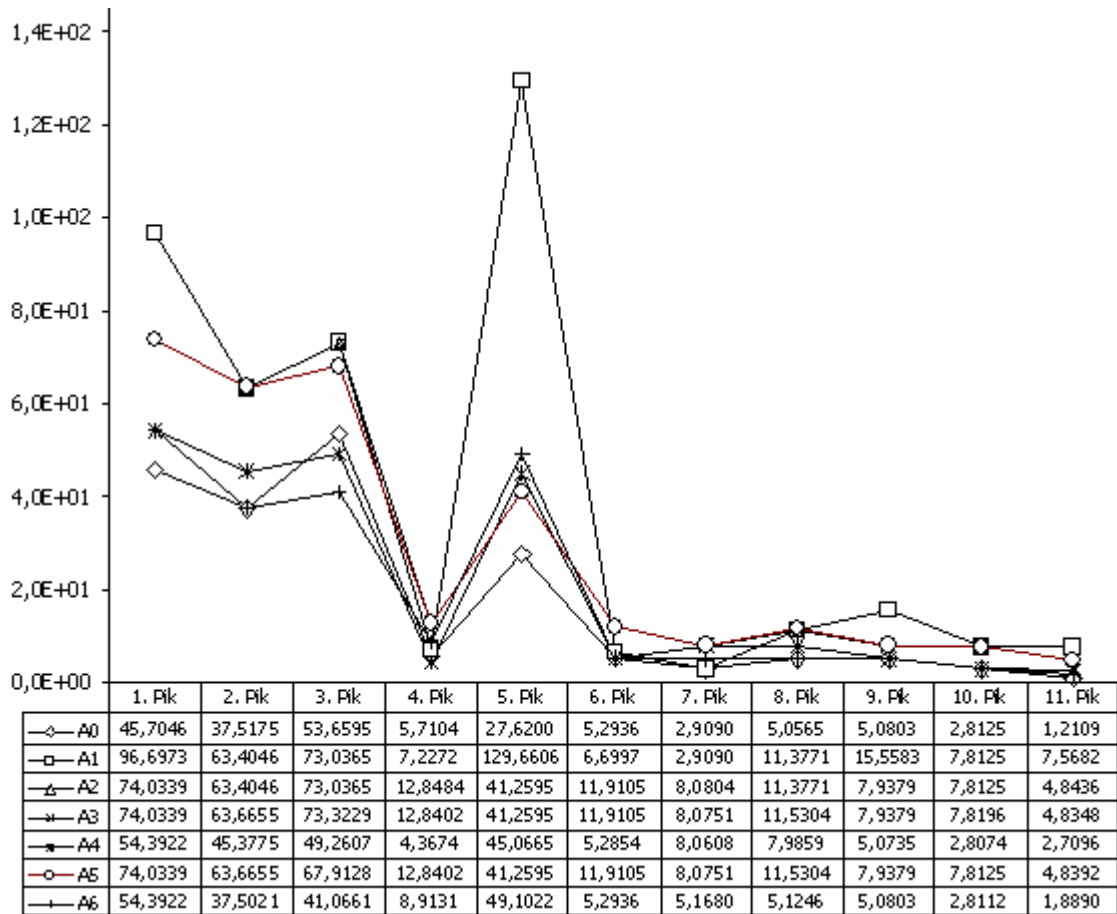
Numune Kodu : Genel
Kullanılan x-ışını =1,5406 Å

Numune Kodu	d (Å)	$h k l$	Kristal Sistemi	ASTM Grubu	Tercihli Yönelim		β yarı pik genişliği (10 ³ rad)	D Tanecik Boyutu (Å)	örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon δ_D x10 ⁻⁶	Düzlemsel Deformasyon < ϵ > x10 ⁻³
					2θ (°)	θ_B (°)			a=b (Å)	c (Å)		
A0	3,3565	0 0 2	hex.	Cadmium Sulfide	26,60	13,30	8,73	163,26	4,1360	6,7130	37,518	-3,12
A1	3,3565	0 0 2	hex.	Cadmium Sulfide	26,60	13,30	11,345	125,59	4,1360	6,7130	63,405	-3,12
A2	3,5689	1 0 0	hex.	Cadmium Sulfide	25,00	12,50	12,217	116,22	4,1360	6,6820	74,034	-3,94
A3	3,5828	1 0 0	hex.	Greenockite syn.	24,90	12,45	12,217	116,22	4,1360	6,7140	74,034	-0,89
A4	3,5689	1 0 0	hex.	Cadmium Sulfide	25,00	12,50	10,472	135,59	4,1210	6,6820	54,392	-3,94
A5	3,3570	0 0 2	hex.	Greenockite syn.	25,60	12,80	11,345	125,33	4,1370	6,7140	63,665	-0,60
A6	3,5819	1 0 0	hex.	Cadmium Sulfide	24,90	12,45	10,472	135,59	4,1360	6,7130	54,392	-0,31

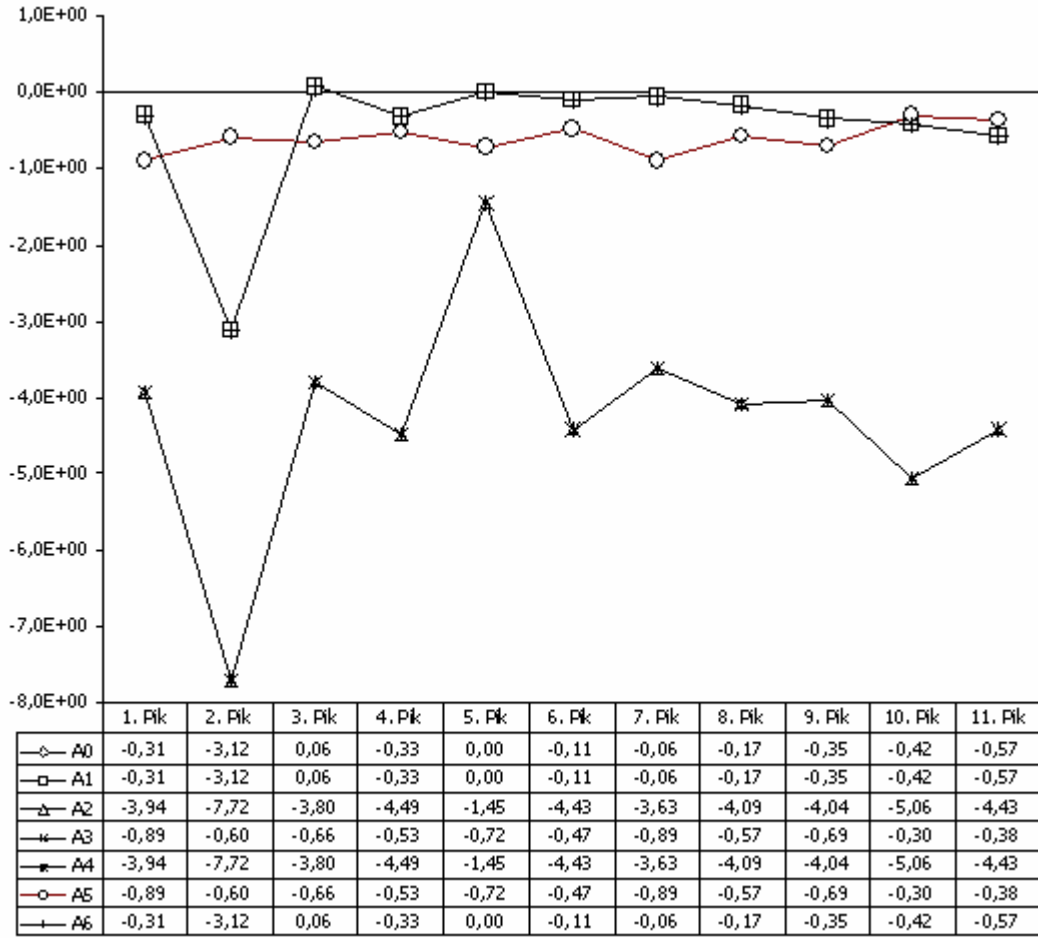
Numunelerin desenlerinde gözlenen tüm pikler ve düzlemler için düzlemsel dislokasyonların ve düzlemsel deformasyonların numuneler bazında dağılımı Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de, tercihli yönelmeler içinse Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da, Bütün numunelerin piklerin gözleendiği düzlemlere göre TC yapılanma katsayıları Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Numunelerin piklerin gözlendiği düzlemlere göre TC yapılanma katsayıları.

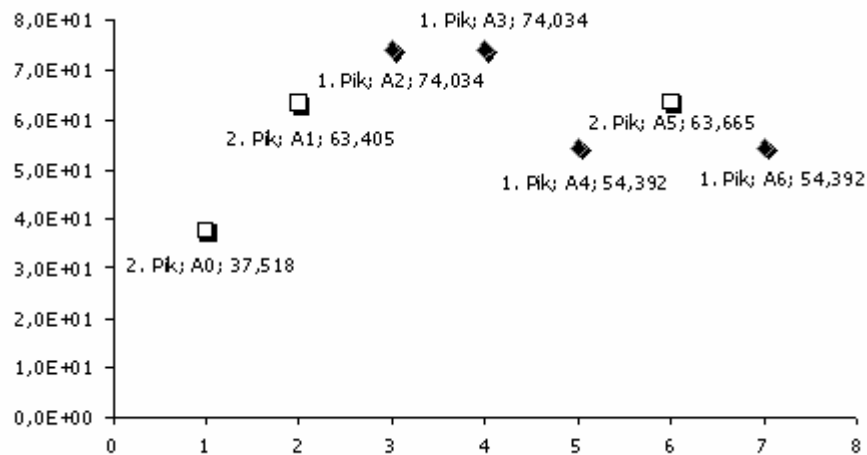
Pik Kodu	Düzlem			NUMUNE KODU						
	k	k	l	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	1	0	0	3,00	2,16	2,96	2,48	3,00	1,93	3,06
2	0	0	2	3,29	3,52	1,95	2,18	1,94	2,92	2,33
3	1	0	1	0,78	1,17	1,65	2,38	1,47	1,96	1,16
4	1	0	2	0,39	0,44	0,43	0,32	0,48	0,44	0,45
5	1	1	0	1,23	1,10	1,62	1,38	1,34	0,89	1,53
6	1	0	3	0,46	0,54	0,66	0,76	0,65	0,65	0,47
7	2	0	0	0,38	0,39	0,33	0,34	0,45	0,44	0,44
8	1	1	2	0,42	0,50	0,50	0,34	0,48	0,50	0,45
9	2	0	1	0,41	0,44	0,34	0,33	0,43	0,37	0,44
10	0	0	4	0,35	0,41	0,30	0,26	0,37	0,50	0,33
11	2	0	2	0,30	0,35	0,25	0,23	0,39	0,39	0,33



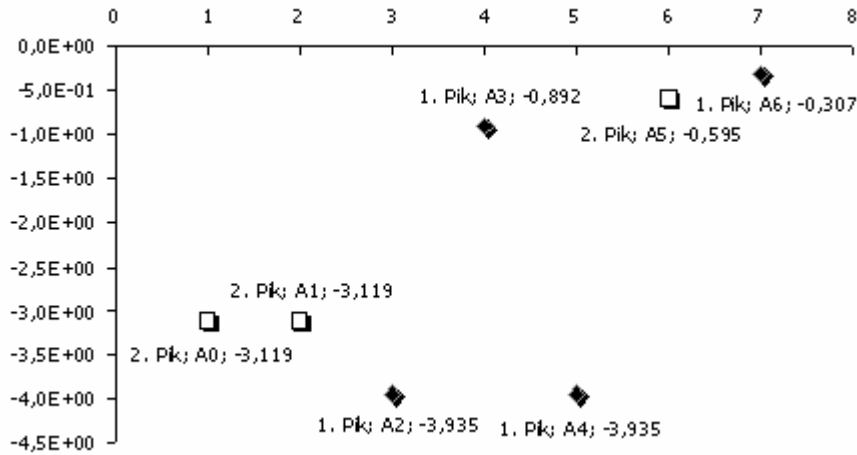
Şekil 3.13. Piklenmenin gözlendiği düzlemlerdeki düzlemsel dislokasyonların numuneler bazında dağılımı.



Şekil 3.14. Piklenmenin gözleendiği düzlemlerdeki düzlemsel deformasyonların numuneler bazında dağılımı.



Şekil 3.15. Numunelerin tercihli yönelmelerinin olduğu düzlemlerdeki düzlemsel dislokasyonların numuneler bazında dağılımı.



Şekil 3.16. Numunelerin tercihli yönelmelerinin olduğu düzlemlerdeki düzlemsel deformasyonların numuneler bazında dağılımı.

Hazırlanan film numunelerinde tercihli yönelimin gözlemlendiği kalınlığına bağlı tanecik boyutu ve yarı pik genişlikleri Çizelge 3.12.'de verilmiştir. Desenlerin incelenmesinden literatüre uygun olarak yarı pik genişliklerinin azaldığı tespit edilmiştir. Hazırlanan numunelerin içerisinde, tanecik boyutlarına göre sırasıyla A2 ve A3 numuneleri daha sonra A1 ve A5 numuneleri, en son olarak ta A4 ve A6 numuneleri; yarı pik genişliğine bağlı olarak ise, sırasıyla A4 ve A6, daha sonra A1 ve A5 daha sonra ise A2 ve A3 numuneleri tavlama sıcaklığına bağlı olarak kullanılan parametrelere göre en iyi kristalleşmenin ve tercihli yönelimin olduğu bulunmuştur.

XRD desenlerindeki ilk üç farklı pik, filmlerin yapısında önemli bir rol oynamaktadır. Filmlerin büyüme ve tercihli yönelimlerine yönelik olarak bu filmlerin ilk üç şiddetli pikleri için TC yapılanma katsayıları hesaplandığında bütün numunelerde tek fazlı büyüme ve tercihli yönelme olduğu gözlenmiştir (Çizelge 3.11). Desenlerdeki ilk üç pikin şiddeti çözeltideki Cd^{+2} (hegzagonal yapıya geçişi belirler) konsantrasyonun iyi seçildiğini, taban temizliğinin iyi yapıldığını, püskürtme hızı ile taban ve tavlama sıcaklıklarının uygun olarak seçildiğini, tavlama ortamının ve süresinin iyi bir kristalleşme örneği olan bu numunelerin yapılanmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.12. Numunelerde tercihli yönelimin gözleendiği düzlemlere göre β_{rad} yarı pik genişlikleri ve D tanecik boyutları

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı (± 5 °C)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x μm	β yarı pik genişliği (10^{-3} rad)	D Tanecik Boyutu (Å)
A0	300	Ham	1,0	8,727	163,26
A1		200	4,2	11,345	125,59
A2		250	2,5	12,217	116,22
A3		300	4,9	12,217	116,22
A4		350	3,8	10,472	135,59
A5		400	2,4	11,345	125,33
A6		450	3,4	10,472	135,59

A0 numunesi ham olarak tavlansmadan test edildiğinde sahip olduğu kalınlığa bağlı olarak tanecik boyutunun büyük olduğu ve azalan gerilmelere sahip olduğu, filmin kalınlığının artmasından kaynaklanan örgü kusurlarının konsantrasyonunu azalttığı söylenebilir.

Tüm numuneler; eşit parametreler altında termal tavlama sonucunda, artan film kalınlıkları ile daha küçük yarı pik genişliklerine sahiptirler. Tanecik boyutları dikkate alındığında küçük tanecik boyutlarına sahip olduklarından desen çizgilerinin yayıldığı gözlenmiştir.

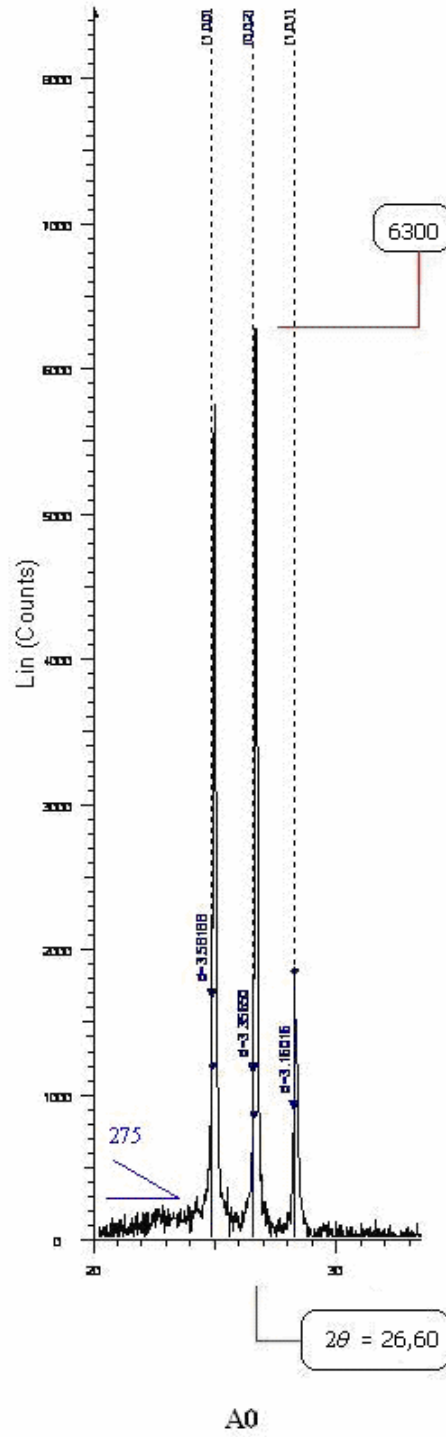
Isıl tavlama ile numunelerin tanecik boyutlarının küçüldüğü bu arada yarı pik genişliklerinin arttığı gözlenmiştir. Yarı pik genişliğinin artmasının nedeni filmlerin kalınlığı ve tanecik büyüklüğüne bağlı olarak düzlemsel dislokasyonun ve deformasyon değerlerinin değişmesi olabilir.

Desenler incelendiğinde (100) düzlemine ait hem ilk pikin hem de (200) düzlemine ait ikinci pikin 2θ değerlerinin literatüre uygun olarak gerçekleştiği gözlenmiştir. Piklenmenin 2θ eksenine olan mesafeleri incelendiğinde ise tavlansmayan numunede eksenden uzaklaştığı, 200-300 °C tavlama sıcaklığı aralığında ise eksene

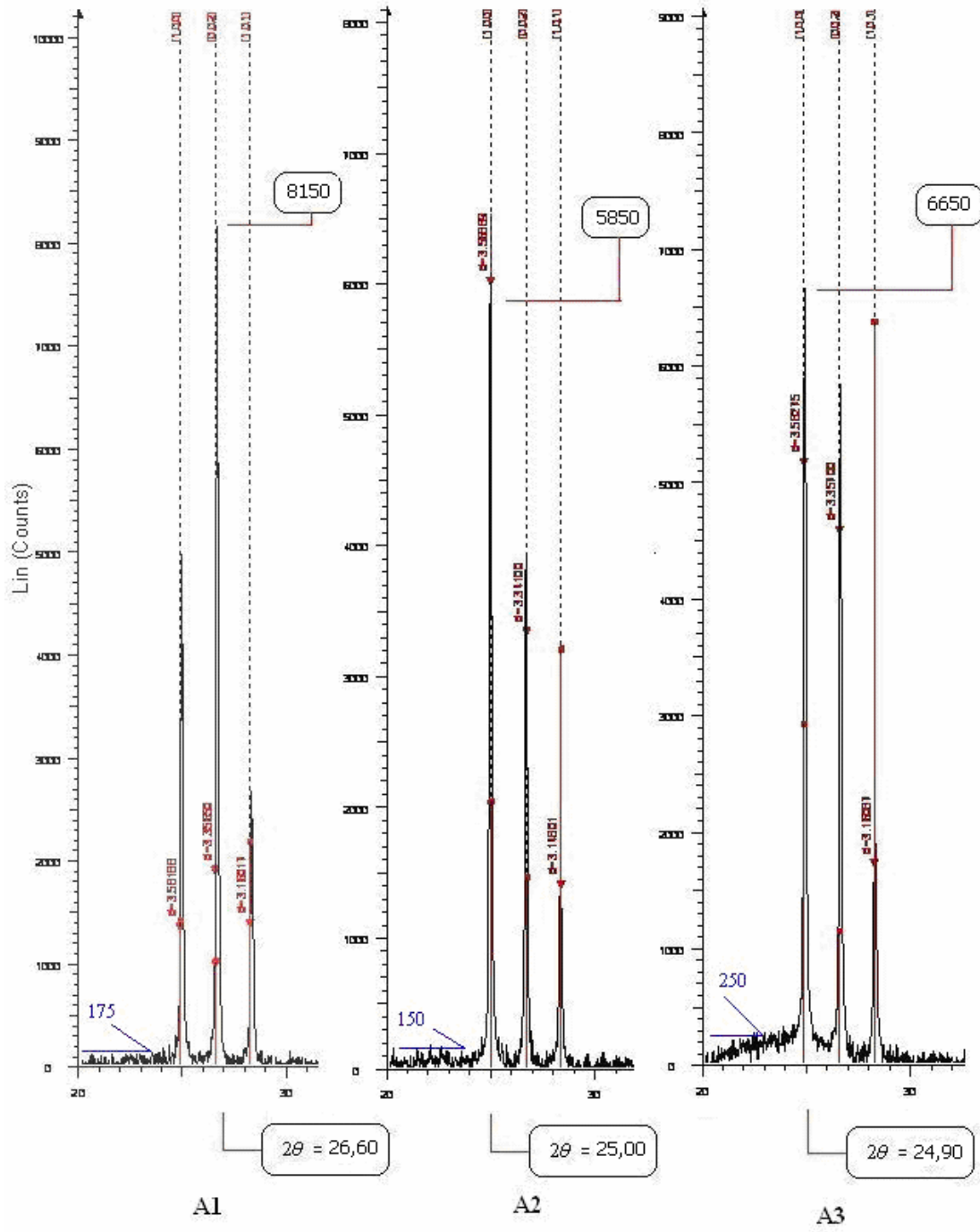
yaklaştığı, daha yüksek tavlama sıcaklıklarında da eksenden uzaklaştığı görülmüştür. Bu sonuç, tavlamanın tanecik boyutunun küçülmesi ve tercihli yönelimin değerinin azalmasının yarı pik genişliğinin artmasına bağlı olduğunu doğrulamaktadır.

Tercihli yönelimi etkileyen bir başka faktör de taban olarak kullanılan cam ile kaplanan numune arasındaki ısıl genleşme katsayısı farkı olabilir. Gerek numune elde edilirken gerekse püskürtme sonundaki soğuma esnasında taban olarak kullanılan cam ve kaplanan filmin farklı ısıl genleşme katsayıları iki yapı arasında deformasyonlara neden olabilir ve bu durum film kristalleşmelerinde örgü kusurları oluşturabilir. Benzer durumlar tavlama esnasında da ortaya çıkabilir.

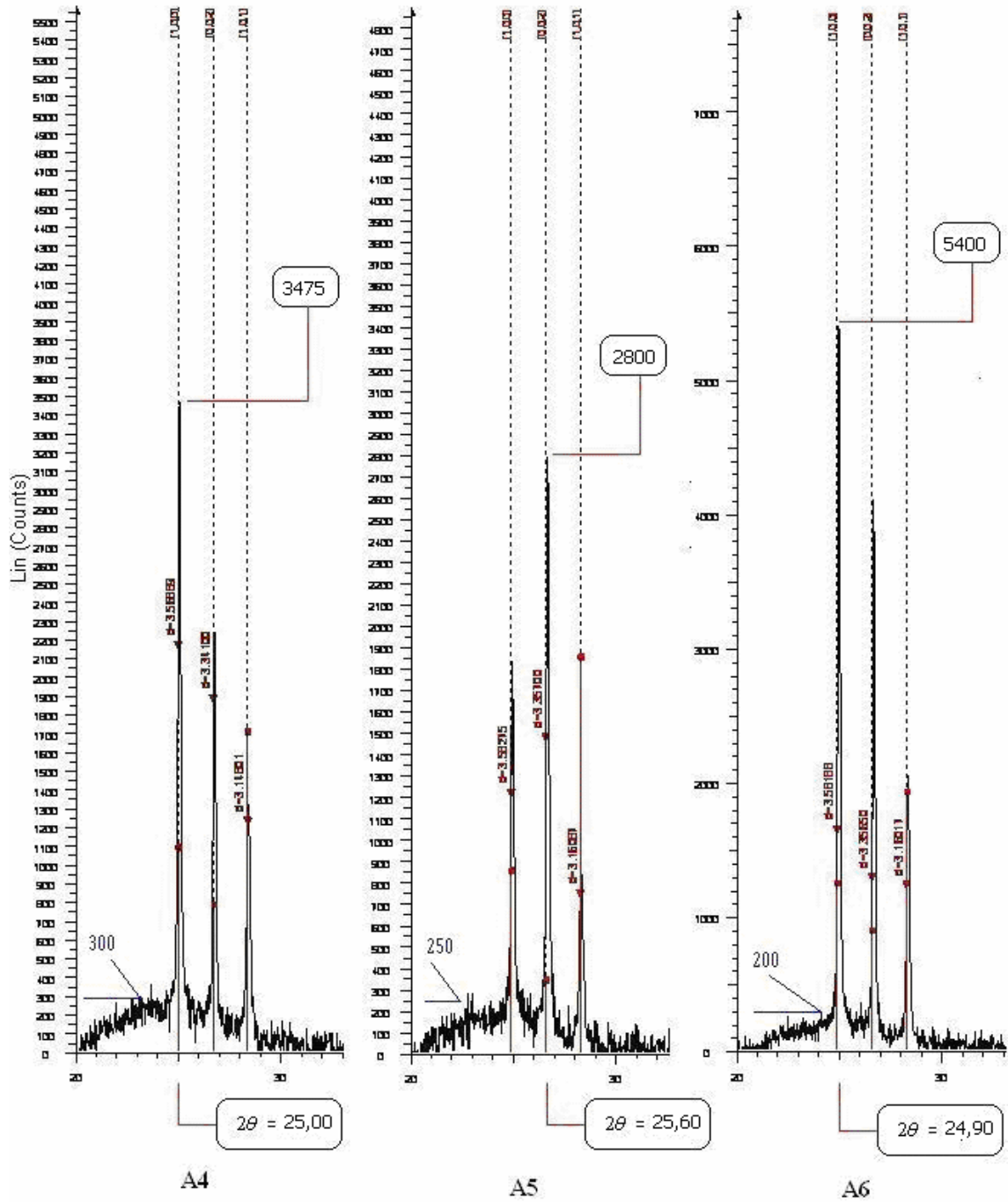
Bütün numunelerde; söz konusu ilk üç pikin şiddetleri incelendiğinde, A0 numunesinde (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 275 mertebesinde başladığı ve 5700 mertebesinde gerçekleştiği, tercihli yönelimin gözlemlendiği (002) doğrultulu pikin 150 mertebesinde başladığı ve 6300 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu pikin ise 50 mertebesinde başladığı ve 1500 mertebesinde gerçekleştiği (Şekil 3.17), A1 numunesinde (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 175 mertebesinde başladığı ve 5000 mertebesinde gerçekleştiği, tercihli yönelimin gözlemlendiği (002) doğrultulu pikin 150 mertebesinde başladığı ve 8150 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu pikin ise 40 mertebesinde başladığı ve 2700 mertebesinde gerçekleştiği (Şekil 3.18), A2 numunesinde tercihli yönelimin gözlemlendiği (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 150 mertebesinde başladığı ve 5850 mertebesinde gerçekleştiği, (002) doğrultulu pikin 100 mertebesinde başladığı ve 3850 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu pikin ise 30 mertebesinde başladığı ve 3250 mertebesinde gerçekleştiği (Şekil 3.18), A3 numunesinde; tercihli yönelimin gözlemlendiği (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 250 mertebesinde başladığı ve 6650 mertebesinde gerçekleştiği, (002) doğrultulu pikin 200 mertebesinde başladığı ve 5850 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu pikin ise 200 mertebesinde başladığı ve 6400 mertebesinde gerçekleştiği gözlemiştir (Şekil 3.18),



Şekil 3.17. Tavlanmayan A0 numunesinin tercihli yönlenmesinin ve ilk üç pikinin olduğu düzlemlerdeki piklenme şiddetlerinin dağılımı.



Şekil 3.18. A1, A2 ve A3 numunelerinin tercihli yönlenmesinin ve ilk üç pikinin olduğu düzlemlerdeki piklenme şiddetlerinin dağılımı



Şekil 3.19. A4, A5 ve A6 numunelerinin tercihli yönlenmesinin ve ilk üç pikinin olduğu düzlemlerdeki piklenme şiddetlerinin dağılımı.

A4 numunesinde; tercihli yönelimin gözlemlendiği (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 300 mertebesinde başladığı ve 3475 mertebesinde gerçekleştiği, (002) doğrultulu pikin 250 mertebesinde başladığı ve 2250 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu

pikin ise 100 mertebesinde başladığı ve 1700 mertebesinde gerçekleştiği (Şekil 3.19), A5 numunesinde (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 250 mertebesinde başladığı ve 1850 mertebesinde gerçekleştiği, tercihli yönelimin gözleendiği (002) doğrultulu pikin 150 mertebesinde başladığı ve 2800 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu pikin ise 50 mertebesinde başladığı ve 1880 mertebesinde gerçekleştiği (Şekil 3.19), A6 numunesinde; tercihli yönelimin gözleendiği (100) doğrultulu ilk şiddetli pikin 200 mertebesinde başladığı ve 5400 mertebesinde gerçekleştiği, (002) doğrultulu pikin 150 mertebesinde başladığı ve 4100 mertebesinde gerçekleştiği, (101) doğrultulu pikin ise 40 mertebesinde başladığı ve 2050 mertebesinde gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 3.19).

2θ ekseninden uzaklaşan piklenme başlangıç değerlerinin bu şekilde gerçekleşmesinin nedeninin taban olarak kullanılan camların yapısından, oluşan filmin yapısına giren farklı elementlerin varlığının yanı sıra kullanılan cihazın özelliklerinden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Film numunelerinin oluşturulması sırasında uygulanan püskürtme hızı v.b. parametreler filmlerin üniformluğunu dolayısı ile tanecik boyutunu belirlediğinden küçük tanecikli yapılaşmadan dolayı desenlerde belirgin pikler gözlenmiştir.

Numunelerin tamamında küçük tanecik yapılanması nedeniyle kırınım piklerinde açılma ve sayılabilirlik vardır. Bunun nedeni, Bragg açısına yakın koharent saçılmaları yok edecek örgü düzlemlerinin oluşmaması ve Bragg açısından küçük sapmaların birbirlerini yok edememesidir. Büyük mesafelerde oluşan örgü düzlemlerinde var olan çizgisel kusur, oransal olarak azalmaktadır. Hesaplanan dislokasyon değerlerinin (Çizelge 3.13) küçük çıkması bunu doğrulamaktadır.

İlk (100) ve (002) doğrultulu iki pikin gözleendiği düzlemlere ait negatif deformasyon değerleri de sıkışarak büyümenin varlığını göstermektedir. (101) doğrultulu düzlemlerde ise A0, A1 ve A6 numunelerinde genişleyerek diğer numunelerde sıkışarak büyüme söz konusudur. Tercihli yönlenmenin gözleendiği bütün düzlemlerde sıkışarak büyüme söz konusudur. Numunelerin x kalınlığına ve termal tavlama sıcaklıklarına bağlı olarak elde edilen D tanecik büyüklüğü ile bu değerlere

bağlı olarak δ_D dislokasyon ve $\langle e \rangle$ düzlemsel deformasyonlarına ait değişimler incelendiğinde iyi bir kristalleşme örneği oldukları söylenebilir.

Çizelge 3.13. Numunelerde tercihli yönelimin gözlemlendiği düzlemlere göre bazı yapılanma katsayıları

Numune Kodu	Pik Kodu	d (Å)	Kristal Sistemi	Pik Şiddeti	Tercihli Yönelim		β yarı pik genişliği (10^{-3} rad)	D Tanecik Boyutu (Å)	Örgü sabiti		Düzlemsel Dislokasyon $\delta_D \times 10^{-6}$	Düzlemsel Deformasyon $\langle e \rangle \times 10^{-3}$
					2θ (°)	θ_B (°)			a=b (Å)	c (Å)		
A0	2	3,3565	hex.	6300	26,60	13,30	8,727	163,26	4,1360	6,7130	37,518	-3,12
A1	2	3,3565	hex.	8150	26,60	13,30	11,345	125,59	4,1360	6,7130	63,405	-3,12
A2	1	3,5689	hex.	5850	25,00	12,50	12,217	116,22	4,1360	6,6820	74,034	-3,94
A3	1	3,5828	hex.	6650	24,90	12,45	12,217	116,22	4,1360	6,7140	74,034	-0,89
A4	1	3,5689	hex.	3475	25,00	12,50	10,472	135,59	4,1210	6,6820	54,392	-3,94
A5	2	3,3570	hex.	2800	25,60	12,80	11,345	125,33	4,1370	6,7140	63,665	-0,60
A6	1	3,5819	hex.	5400	24,90	12,45	10,472	135,59	4,1360	6,7130	54,392	-0,31

Birinci en yüksek şiddetli ve tercihli yönelimin gözlemlendiği piklere ait yapısal değerler

A0	1	3,5819	hex.	5750	24,90	12,45	9,599	147,92	4,1360	6,7130	45,705	-0,31
A1	1	3,5819	hex.	5000	24,90	12,45	13,963	101,69	4,1360	6,7130	96,697	-0,31
A2	2	3,3410	hex.	3850	26,8	13,40	11,345	125,59	4,1360	6,6820	63,405	-7,72
A3	2	3,3570	hex.	5850	25,60	12,80	11,345	125,33	4,1360	6,7140	63,665	-0,60
A4	2	3,3410	hex.	2250	26,70	13,35	9,599	148,45	4,1210	6,6820	45,378	-7,72
A5	1	3,5828	hex.	1850	24,90	12,45	12,217	116,22	4,1370	6,7140	74,034	-0,89
A6	2	3,3565	hex.	4100	26,70	13,35	8,727	163,29	4,1360	6,7130	37,502	-3,12

İkinci en yüksek şiddetli piklere ait yapısal değerler

A0	3	3,1602	hex.	1500	28,20	14,10	10,472	136,51	4,1360	6,7130	53,659	0,06
A1	3	3,1602	hex.	2700	28,20	14,10	12,217	117,01	4,1360	6,7130	73,036	0,06
A2	3	3,1480	hex.	3250	28,30	14,15	12,217	117,01	4,1360	6,6820	73,036	-3,80
A3	3	3,1609	hex.	6400	27,30	13,65	12,217	116,78	4,1360	6,7140	73,323	-0,66
A4	3	3,1480	hex.	1700	28,25	14,13	10,036	142,48	4,1210	6,6820	49,261	-3,80
A5	3	3,1609	hex.	1880	28,20	14,10	11,781	121,35	4,1370	6,7140	67,913	-0,66
A6	3	3,1602	hex.	2050	28,25	14,13	9,163	156,05	4,1360	6,7130	41,066	0,06

Üçüncü en yüksek şiddetli piklere ait yapısal değerler

BÖLÜM IV

CdS FİLMLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

4.1. Giriş

Yarıiletkenler, gösterdikleri kırılma, yansıma, absorpsiyon, geçirgenlik ve benzeri optik özellikler açısından elektron ve fotonların etkileşmesine bağlıdır. Bu optik özelliklerin incelenmesi sonucunda bir yarıiletkenin bant yapısı ile elektron ve boşlukların davranışları hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (*Calixto and Sebastian, 1999; Lokhande and Mane, 1997*).

4.2. Filmlerin Optik Özellikleri

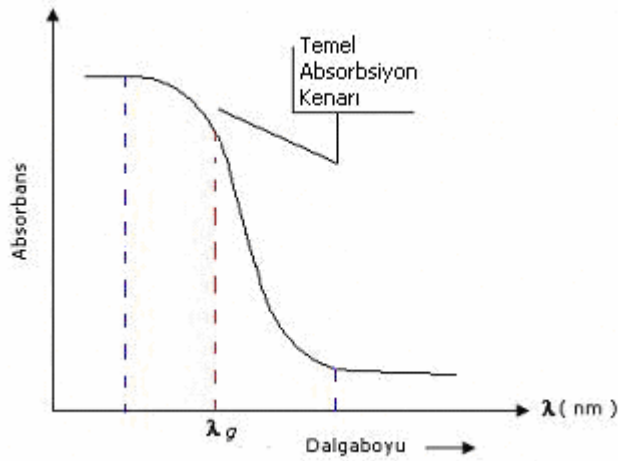
Her bir yarıiletkenin kendine özgü özellikleri vardır. Farklı numuneler üzerine gönderilen ışın demetleri yarıiletken numuneden geçerken sahip oldukları dalgaboylarının bazıları kaybolur. Bunun nedeni, numune üzerine gönderilen elektromagnetik dalga ile yarıiletkenin yüklerinin etkileşmesidir. Bu etkileşme sonuçta enerji kaybıdır ve “absorpsiyon” olarak bilinmektedir.

Fotonlar, bir elektronu daha yüksek bir enerji seviyesine çıkarmak için yeterli enerjiye sahip olmadıklarında absorblama olayı gerçekleşmez ve yarıiletken bu durumda saydam yani geçirgen davranış gösterir. Bir yarıiletkende absorblama yada geçirgenlik gelen fotonun $h\nu$ enerjisine ve yarıiletkenin E_g yasak enerji aralığına; $h\nu \geq E_g$ denklemi ile bağlıdır.

Banddan banda geçişi temsil eden temel absorpsiyon olayı, değerlik bandındaki bir elektronun bir foton soğurarak iletim bandına geçmesi olarak adlandırılabilir. Gelen ışının frekansı $\nu_g \geq E_g / h$ olmalıdır. Burada; λ dalgaboyu, h Planck sabiti ve c ışık

hızı olmak üzere $\lambda_g \leq hc / E_g$ olduğundan gelen ışınının absorpsiyon sınırı fotonun ν_g frekansında gerçekleşir ve $\nu_g \geq E_g / h$ frekansı, absorpsiyon sınırı olarak adlandırılır. Absorpsiyon spektrumunda temel absorpsiyon hızlı bir artış gösterdiğinden yarıiletken materyallerin enerji aralıklarının belirlenmesinde kullanılır (Bube, 1970).

Şekil 4.1.'den görüldüğü gibi λ_g dalgaboyuna yakın dalgaboylarından itibaren absorpsiyonda sürekli bir artış gözlenir ve λ_g 'den sonra bir denge değerine ulaşır. Yarıiletken malzeme λ_g dalgaboyundan küçük dalgaboylarında kuvvetli bir absorblayıcı, λ_g dalgaboyundan büyük dalgaboylarında ise hemen hemen geçirgen özellik gösterir. Sonuç olarak bir yarıiletken malzemedeki uzun dalgaboylarında geçirgenliğin yüksek, yani absorpsiyonun düşük olduğu kısa dalgaboylarında ise malzemenin iyi bir absorblayıcı (opak) olduğu bilinmektedir. Geçirgenlikten opaklığa geçiş bölgesi temel absorpsiyon bölgesi olarak bilinir (Rudden and Wilson, 1980).



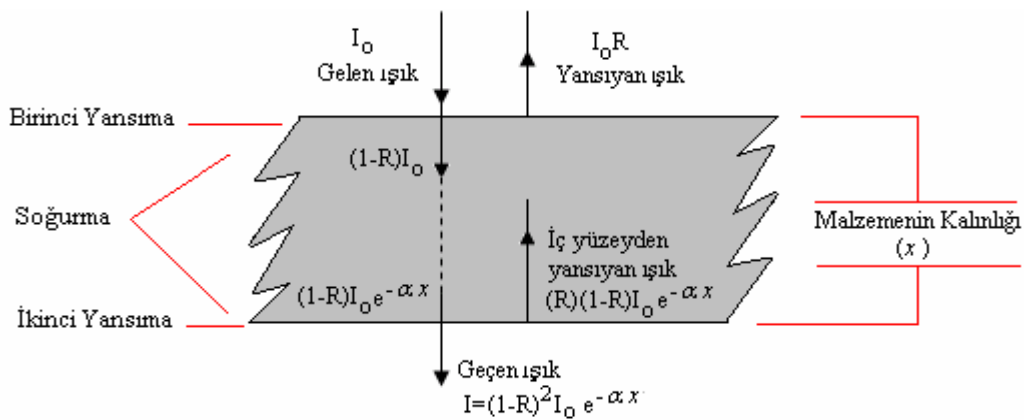
Şekil 4.1. Yarıiletken bir malzemedeki temel absorpsiyon spektrumu (Rudden and Wilson, 1980)

Yarıiletken malzeme üzerine gönderilen fotonların enerjilerinin bir elektronu bir üst enerji seviyesine uyararak için yeterli olmadığı durumlarda malzeme saydam olarak davranır. Saydamlığın belirteci olan geçirgenlik (T), geçen ışınının (I) şiddetinin gelen ışınının (I_0) şiddetine oranı olarak verilir (Pankove, 1971). Buna göre bir

fotonun absorblanması yada geçirilmesi yarıiletken malzemenin E_g yasak enerji aralığına ve atomik dizilişinin yanı sıra fotonun $h\nu$ enerjisine bağlı (Askeland, 1998) olup sonuç olarak yarıiletken malzemeler; üzerlerine gelen fotonun $h\nu$ enerjisi, E_g yasak enerji aralıklarından, donör ve akseptör seviyelerinden küçük olmadığı durumlarda; kısa dalgaboylu fotonlar için absorblayıcı, uzun dalgaboylu fotonlar için saydamlık gösterirler (Smith, 1990). Yarıiletken bir malzeme üzerine gelen ışınımın bir kısmı absorblanır, bir kısmı geçerken bir kısmı da yansımaktadır. Yansıma (R)'nın nedeni gelen fotonların düşük bir enerjiye sahip olmasının yanı sıra malzemenin yüzeyinin düzgün olmasıdır (Askeland, 1998). Malzeme üzerine gönderilen ışınımın I şiddeti, malzemeye girerken ve çıkarken ortam değiştiren ışınımın malzemenin alt ve üst yüzeylerinde oluşan yansıma ile absorblanan ışınım şiddetine bağlıdır (Şekil 4.2.). Gelen ışınımın malzemenin alt yüzeyine gelen şiddeti $(1-R)(I_0 e^{-\alpha x})$ ile ve alt yüzeyden yansıyan şiddeti ise $(R)(1-R)(I_0 e^{-\alpha x})$ ile ifade edilir. Malzemenin alt yüzeyine gelen ışınım ile bu yüzeyden yansıyan ışınım şiddeti arasındaki fark malzemeyi geçen ışık şiddetine eşit olacaktır. Bu ilişki,

$$I = (1 - R)^2 (I_0 e^{-\alpha x}) \quad (4.1)$$

denklemleri ile verilir (Smith, 1990; Sze, 1981).



Şekil 4.2. Işığın dik geliş durumunda soğurulma, geçirilme ve yansıma (Bilgin, 2003)

Malzemenin kalınlığı x , geçirgenlik katsayısı T , geçirgenlik oranı $\%T$, yansımaya katsayısı R , yansımaya oranı $\%R$, absorpsiyon değeri A , absorpsiyon katsayısı α olmak üzere,

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (4.2)$$

$$\%T = \frac{T}{100} \quad (4.3)$$

$$R = 1 - \left[\left(\frac{\%T}{100} \right)^4 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

$$\%R = \frac{R}{100} \quad (4.5)$$

$$A = \log_{10} \%T = \log_{10} \frac{I/I_0}{100} \quad (4.6)$$

$$\alpha = \frac{A}{x} \quad (4.7)$$

denklemleriyle verilmektedir (*Askeland, 1998; Kittel, 1996; Köse, et al., 2004*). Absorpsiyon katsayısı α 'nın yansımaya ve geçirgenliğe olan bağımlılığı; absorpsiyon ve film kalınlığına bağlı olarak,

$$T = (1 - R)^2 \exp(-A) \quad (4.8)$$

veya,

$$T = (1 - R)^2 \exp(-\alpha x) \quad (4.9)$$

denklemleri ile (*Altıokka ve Aksay, 2005*) ayrıca,

$$\alpha = 2,303 \left[\frac{\log_{10}(I_0 / I)}{x} \right] \quad (4.10)$$

bağıntısı ile de verilmektedir (*Smith, 1990, Bilgin 2003*).

λ dalgaboylu bir ışınım I_0 şiddeti ile x kalınlığındaki bir yarıiletken malzeme üzerine düşürüldüğünde bir kısmı yarıiletkeni (I_T) geçecek, bir kısmı yarıiletken tarafından (I_A) absorblanacak, bir kısmı ise yarıiletken tarafından (I_R) yansıtılacağından gelen ışınımın toplamı bunların hepsinin toplamına eşit olacaktır (*Smith, 1990*).

$$I_0 = I_T + I_A + I_R \quad (4.11)$$

Bu değerlendirme herhangi bir yarıiletken için,

$$T + R + A = 1 \quad (4.12)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Absorbsiyonun maksimum olduğu durumlarda yarıiletkeni geçen ışınımın şiddeti $I=0$ olacaktır (*Callister, 2004*).

Yarıiletken malzemedan geçen ışınım enerji kaybeder, kaybolan bu enerji nedeni ile hız kaybeden ışınım yön değiştirir ve kırılmaya uğrar. Işınımın boşluktaki hızının malzeme içindeki hızına oranı n kırılma indisi olarak tanımlanır ve yansıma ile arasında,

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \left[\frac{4R}{(1-R)^2 - k^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.13)$$

bağıntısı olup bu değer ışınımın malzemedeki kırılmasını verir. Bu denklemdeki k değeri malzemedeki absorpsiyona karşılık olup lineer absorpsiyon katsayısı olarak bilinir ve;

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (4.14)$$

bağıntısı ile tanımlanır (*Askeland, 1998; Kittel, 1996; Tigau, et al., 2004; Köse, et al., 2004*). Yarıiletken malzemenin atomik yapısını oluşturan atomların numaralarının büyük olması yani elektron sayısının fazla olması kırılma indisinin değerini artırır (*Van Vlack, 1998*). Kırılma indisinin değerinin yüksek olması malzemenin, küçük kırılma indisine sahip malzemelere göre daha yüksek yansıma değerine sahip olduğunu gösterir (*Askeland, 1998*).

Yarıiletkenlerde temel absorpsiyon sınırında doğrudan ve dolaylı band geçişleri olduğu bilinmektedir (*McKelvey, 1966; Sze, 1981; Kittel, 1996; Van Vlack, 1998*). Doğrudan band geçişli yarıiletkenlerde valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için yasak enerji aralığına eşit yada daha büyük enerjili bir fotonun absorblanması zorunludur. Dolaylı band geçişli yarıiletkenlerde ise valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için bir fononunda absorblanması yada salınması gerekmektedir.

Doğrudan geçişli yarıiletkenlerde eksiton oluşumu veya elektron-hol etkileşimi dikkate alınmazsa absorpsiyon katsayısı α , gelen fotonun $h\nu$ enerjisine *Tauc* bağıntısı olarak adlandırılan,

$$\alpha(h\nu) = A^*(h\nu - E_g)^n \quad (4.15)$$

ifadesiyle bağlıdır (*Saxena, et al., 2006; Ashour, 2003; Bhushan and Khare, 2006; Metin and Esen, 2003; Han, et al., 2007; El Nahass, et al., 1990*). Burada A^* değeri,

$$A^* = \frac{q^2 \left(2 \frac{m_h^* m_e^*}{m_h^* + m_e^*} \right)^{3/2}}{nch^2 m_e^*} \quad (4.16)$$

şeklinde verilir. Burada n değeri izinli doğrudan geçişler için 1/2, izinsiz doğrudan geçişler için ise 3/2 değerlerini alabilen bir sabittir (Pankove, 1971; Sahay, et al., 2007; Grecu, et al., 2004).

Doğrudan geçişli yarıiletkenlerin aksine dolaylı geçişli yarıiletkenlerde enerji korunmasına karşın momentum korunmaz. Momentumun korunabilmesi için bir fononun absorblanması yada salınması zorunludur. Bu iki geçiş için yarıiletkenin üzerine düşürülen ışınımın enerjisi, E_f son durum enerjisi, E_i ilk durum enerjisi ve E_p fononun enerjisi olmak üzere; fonon salınımı için $h\nu_e = E_f - E_i + E_p$ ve fonon absorblanması durumu için ise $h\nu_a = E_f - E_i - E_p$ olarak ifade edilmektedir. Fonon absorpsiyonlu geçiş için α değeri $h\nu > (E_g - E_p)$ durumunda,

$$\alpha_a = \frac{A(h\nu - E_g - E_p)^n}{\exp\left(\frac{E_p}{kT}\right) - 1} \quad (4.17)$$

ve, fonon salınımlı geçiş için α değeri $h\nu > (E_g + E_p)$ durumunda,

$$\alpha_e = \frac{A(h\nu - E_g + E_p)^n}{1 - \exp\left(-\frac{E_p}{kT}\right)} \quad (4.18)$$

ile verilir. Burada, dolaylı vadiler arası dolaylı geçişler için $n=2$, doğrudan vadiler arası dolaylı geçişler için $n=3$ alınır. Hem fonon salınımı hem de fonon absorpsiyonunun olması durumunda ise,

$$\alpha(h\nu) = \alpha_e(h\nu) + \alpha_a(h\nu) \quad (4.19)$$

olarak alınmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda fonon yoğunluğu küçük olacağından, α_a da küçük olacaktır. α_a ve α_e absorpsiyon katsayıları sıcaklığa bağlıdır.

Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan optik yöntem, optik geçişler hakkında bilgi vermesinin yanı sıra temel absorpsiyon spektrumundan (absorbans- λ) yararlanılarak çizilen $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiğinde değişimin lineer kısmının doğrultusunun $h\nu$ ekseninin $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 'da kestiği noktanın değerinin belirlenmesi ile yarıiletkenin yasak enerji aralığı bulunabilmektedir (*Al Kuhaimi, 1998; Hankare, et al., 1993 Lokhande; et al., 2000; Calixto and Sebastian, 1999; Lokhande and Mane, 1997; Wenyi, et al., 2005; Jayaraj and Yoosuf, 2005*).

Temel absorpsiyon spektrumuna göre α absorpsiyon katsayısı ile gelen fotonun $h\nu$ enerjisi arasında,

$$n_0 \alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^n \quad (4.20)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntıda n_0 kırılma indisi olup üstel n değeri, doğrudan geçişli bir yarıiletken için geçişin izinli olması durumunda $n= 1/2$, izinsiz doğrudan geçişler için ise $n=3/2$ 'dir (*Sze, 1981; Bilgin, et al, 2005; Jayaraj and Yoosuf, 2005*).

Materyali oluşturan yarıiletken malzemenin sahip olduğu atomlar ile fotonlar arasındaki etkileşim oranı kırılma miktarı üzerinde etkilidir. Bu nedenle malzemenin kırılma indisi ile dielektrik sabiti arasında bir ilişki vardır. Malzemedeki atomların kutuplaşmasının tanımı olan dielektrik değeri kırınım ile doğru orantılıdır (*Askeland, 1998*). Yarıiletken materyaller için dielektrik sabiti ;

$$\epsilon = n^2 \quad (4.21)$$

denklemleri ile verilir ve kristalin band yapısına doğrudan bir şekilde bağlı olması nedeni ile kristalin band yapısı hakkında olumlu bilgiler verir (*Pankove, 1971; Askeland, 1998; Kittel, 1996*).

Valans ve iletim bandları arasındaki geçişler absorpsiyon kenarına yol açar ve doğrudan geçişli materyallerde E_g yasak enerji aralığının altında absorpsiyon beklenmez. Fakat uygulamada genel olarak üstel artımlı bir absorpsiyon kenarının varlığı kabul edilir ve α absorpsiyon katsayısının fotonun $h\nu$ enerjisine olan bağımlılığı,

$$\alpha(h\nu) = \alpha_0 e^{h\nu/E_0} \quad (4.22)$$

denklemleri ile verilir. Urbach kuralı olarak bilinen bu bağıntıda E_0 parametrik bir değer olup,

$$E_0 = \left[\frac{d(\ln \alpha)}{d(h\nu)} \right]^{-1} \quad (4.23)$$

yasak enerji aralığında yerleşik enerji düzeyleri uzantısının genişliği olarak tanımlanır ve $\ln \alpha$ 'nın $h\nu$ 'ye göre değişimini veren grafiğin lineer kısmının eğiminden hesaplanır (*Pankove, 1971; Ullrich, et al., 2001*).

II-VI bileşiklerinin hemen hemen tamamı doğrudan band geçişli yarıiletkenlerdir (*Saxena, et al., 2006*). Bu grup bileşiklerinden olan polykristal yapılu CdS filmlerinin oda sıcaklığındaki yasak enerji aralıklarının 2,42 eV – 2,45 eV (*Sze, 1981; O'Brien, et al., 1999; Salazar, et al., 2006; Oliva, et al., 2006; Wu, et al., 2001*) civarında olduğu ve Cd iyon konsantrasyonunun değişimi (*Lokhande and Mane, 1997; Wenyi, et al., 2005; Mathew and Enriquez, 2003; Grecu, et al., 2004; Herrera, et al., 2006*) ile yapı düzensizliğinin yavaşça gözlemlendiği ilk geçiş bölgelerinde güçlü absorpsiyonun varlığı bilinmektedir. Filmlerin tavlama sürelerinin arttırılması da optiksel iletimi arttırır ve düşük enerji bölgelerine doğru absorpsiyon değişimi sınırlanır (*Sasikala, et al., 2000; Chow and Oladeji, 2005; Mathew and Enriquez, 2003; Al Kuhaimi, 1998; Narayandass, et al., 2002*). Filmlerde Cd iyon konsantrasyonunun yüksek olması (*El Nahass, et al., 1990*) taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitenin de yüksek olduğunu

göstermektedir (*Valyamona, et al., 1992; Sasikala, et al., 2000; Hepp, et al., 2002; Calixto and Sebastian, 1999; Mathew and Enriquez, 2003*). Taban sıcaklığının yükseltilmesi ile üretilen filmlerde taşıyıcı yoğunluğunun artması nedeniyle optik band aralığının değeri de bir parça artar. Bunun bir diğer sebebi de tanecik boyutunun büyümesi ve kristalleşmenin iyileşmesidir (*Vigil, et al., 1995; Lokhande, et al., 2000; Ashour, 2005; Bilgin, et al., 2005; ; Mathew and Enriquez, 2003; Webb, et al., 1998; Bayhan and Ercelebi, 1998; Oliva, et al., 2003*).

Filmlerin optiksel özellikleri kalınlığa önemli dercede bağlıdır. Kalınlığın artması optik enerji aralığını azaltır (*Metin and Esen, 2003; Sahay, et al., 2007; Herrera, et al., 2006*). Yüksek tiöüre konsantrasyonu iyi bir çökeltme olmayacak şekilde reaksiyon hızını artırır. Taban yüzeyinin durumu çökelmeyi etkiler (*Zelaya-Angel, et al., 2001*). Bu filmlerde absorpsiyon sınırında yüksek geçirgenlik 500 nm ‘nin üzerinde gözlenir (*Calixto and Sebastian, 1999*). Yasak enerji aralığının azalması kristalleşmenin doğal bir sonucu olabilir. Bu arada düşük banyo sıcaklığı kristalleşme için yararlıdır. Düz absorpsiyon kenarlarındaki büyük kristalleşme yüzeydeki pürüzlülüğe katkıda bulunur (*Wenyi, et al., 2005; Mathew and Enriquez, 2003*). Bu filmlerde lineer absorpsiyon katsayısı k ; çöktürme tekniğine (*Sahay, et al., 2007; Herrera, et al., 2006; Al Kuhaimi, 1998*) sıkıca bağlı olup buharlaştırma yöntemi ile elde edilen filmlerde oldukça yüksek bir değere sahiptir. Bu arada kalın filmlerde yüksek dalgaboylu absorpsiyon band aralığının azalmasına neden olmaktadır (*Al Kuhaimi, 1998*).

4.2.1. CdS filmlerinin optik özellikleri

Bu çalışmada elde edilen CdS filmlerinin temel absorpsiyon spektrumları 200-1100 nm ölçüm aralıklı Perkin-Elmer UV/VIS Spectrometer Lambda 2S (double-beam) cihazı kullanarak alınmıştır. Geçirgenlik ve absorpsiyon spektrumlarından faydalanılarak; yansıma katsayıları, absorpsiyon katsayıları, geçirgenlik katsayıları, kırılma indisleri, lineer absorpsiyon katsayıları, dielektrik sabitleri ve yasak enerji aralıkları hesaplanarak bu parametrelerin dalgaboyuna göre

değişimlerine tavlamanın etkisi araştırılmıştır. Elde edilen farklı kalınlıklardaki numunelerin tavlama sıcaklıklarına göre pürüzlülük, üniformaluk ve tanecik boyutları Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

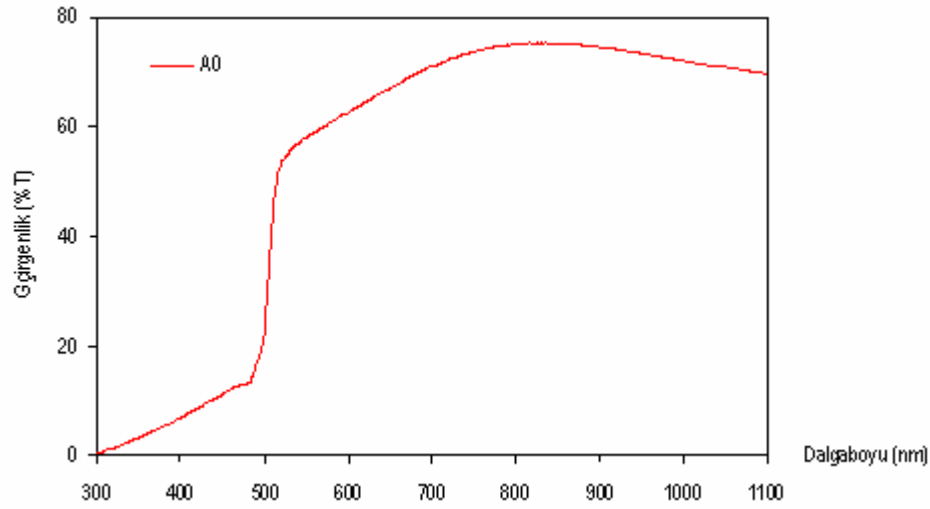
Çizelge 4.1. Numunelerin tavlama sıcaklıkları ile kalınlık, pürüzlülük, üniformaluk ve tanecik boyutları

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı (±5 °C)	Tavlama Sıcaklığı (±5 °C)	Film Kalınlığı x_f μm	Pürüzlülük Katsayısı R_{RMS}	D Tanecik Boyutu (Å)	Üniformaluk Değeri $\%x_u$
A0	300	Ham	1,0	19,74	163,26	90,91
A1		200	4,2	25,13	125,59	71,43
A2		250	2,5	15,49	116,22	80,00
A3		300	4,9	10,34	116,22	81,63
A4		350	3,8	12,07	135,59	78,95
A5		400	2,4	27,43	125,33	83,33
A6		450	3,4	45,00	135,59	62,50

4.2.1.1. CdS filmlerinin geçirgenlikleri

Elde edilen numunelerin yüzde geçirgenliklerinin dalgaboyuna göre değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.3 Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 'da toplu gösterimleri ise Şekil 4.10.'da ve grafiklere ait veriler Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

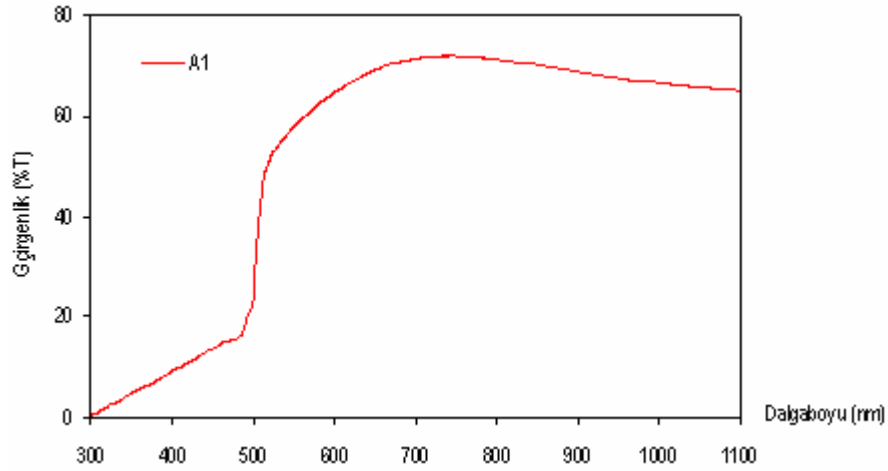
Çizelge 4.2. incelendiğinde geçirgenlik değerlerinin A0 numunesinde, yapı düzensizliğinin $\lambda=500$ nm'ye kadar yavaşça gözlendiği ve ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550$ nm.'de güçlü bir absorpsiyonun varlığı ile piklenmenin hızlı bir artışa geçerek maksimum seviyeye ise $\lambda=850$ nm.'de ulaştığı gözlenmiştir. Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. Tavlamanın yapılmadığı bu numunede filmin kalınlığından (1,0 μm) daha çok %90,91'lik üniform bir yüzeye ve 19,74'lük pürüzlülük değerinin yanı sıra tanecik büyüklüğünün (163,26 Å) etkili olduğu ve $\%T=75,06$ değerini aldığı görülmektedir.



Şekil 4.3. A0 numunesinin geçirgenlik grafiği

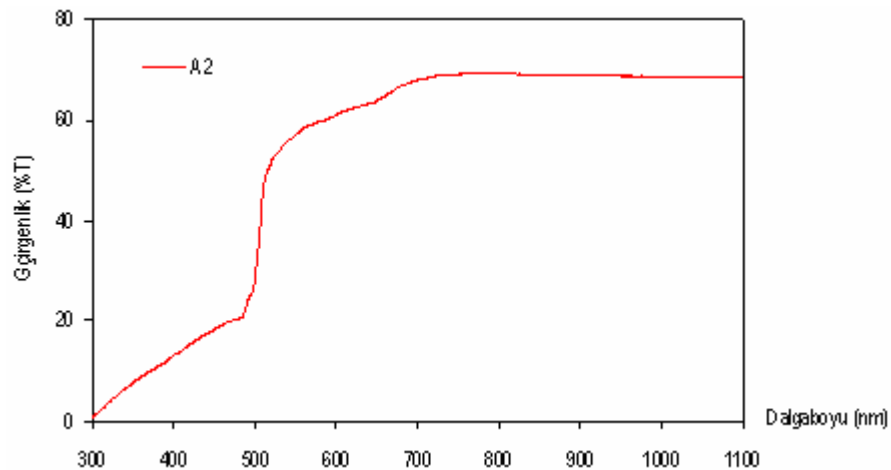
Termal tavlama işleminin 3 saat olarak yapıldığı tüm numunelerde; A1 numunesinde, yapı düzensizliğinin $\lambda=500$ nm.'ye kadar yavaşça gözlendiği ve ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550$ nm.'de güçlü bir absorpsiyonun varlığı ile piklenmenin hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise $\lambda=750$ nm.'de ulaştığı gözlenmiştir. Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. $200\pm 2^\circ\text{C}$ 'de de tavlanan bu numunede filmin kalınlığına karşın ($4,2 \mu\text{m}$) tanecik boyutunun ($125,59 \text{ \AA}$) ve üniformluluk değerinin azaldığı (%71,43) ve buna bağlı olarak da pürüzlülüğün (25,13) arttığı ve $\%T=71,90$ değerini aldığı görülmektedir.

A2 numunesinde, yapı düzensizliğinin $\lambda=500$ nm.'ye kadar yavaşça gözlendiği ve ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550$ nm.'de güçlü bir absorpsiyonun varlığı ile piklenmenin hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise $\lambda=800$ nm.'de ulaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.4. A1 numunesinin geçirgenlik grafiği

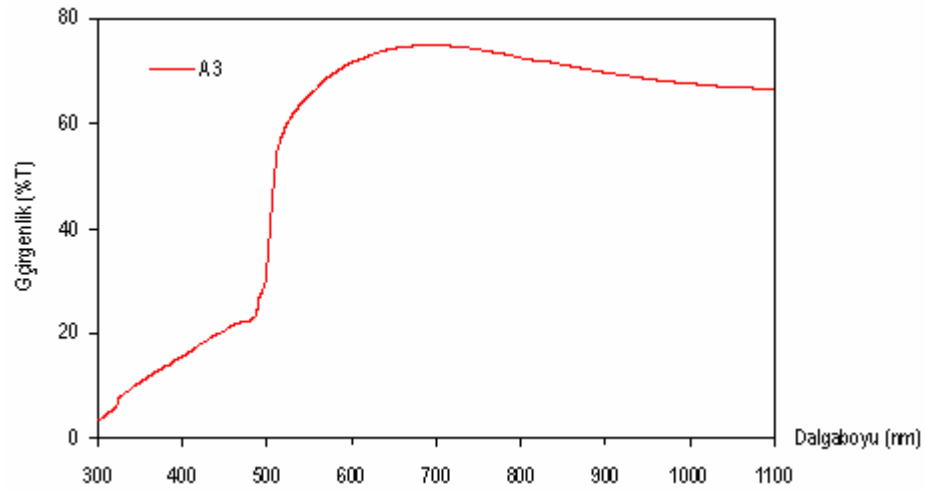
Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. $250\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de de tavlanan bu numunede filmin kalınlığına karşın ($2,5\ \mu\text{m}$) tanecik boyutunun ($116,22\ \text{\AA}$) ve üniformaluluk değerinin arttığı ($\%80,00$) buna bağlı olarak da pürüzlülüğün ($15,49$) azalması sonucunda $\%T=69,06$ değerini aldığı görülmektedir.



Şekil 4.5. A2 numunesinin geçirgenlik grafiği

A3 numunesinde, yapı düzensizliğinin $\lambda=500\ \text{nm}$.’ye kadar yavaşça gözlendiği ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550\ \text{nm}$.’de güçlü bir absorpsiyonun varlığı ile piklenmenin

hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise $\lambda=700$ nm.'de ulaştığı gözlenmiştir. Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. $300\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tavlanan bu numunede filmin kalınlığına karşın ($4,9 \mu\text{m}$) tanecik boyutunun ($116,22 \text{ \AA}$) ve üniformluk değerinin artması (%81,63) ve pürüzlülüğünün de (10,34) azalması sonucunda $\%T=74,94$ değerini aldığı görülmektedir.

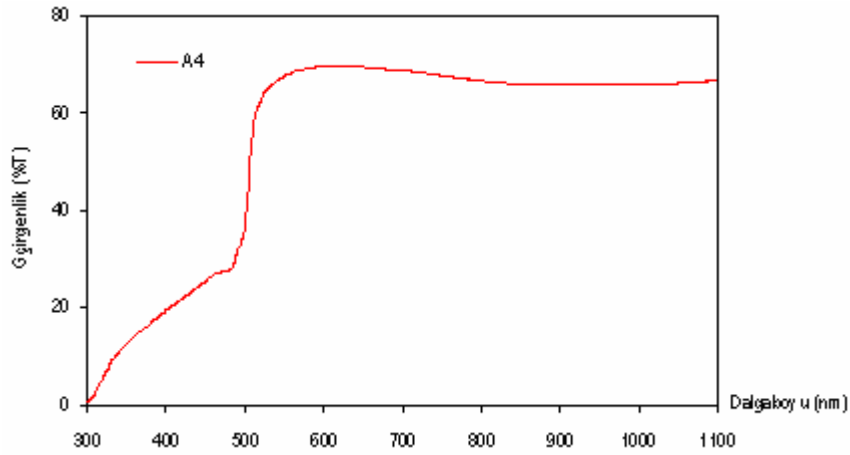


Şekil 4.6. A3 numunesinin geçirgenlik grafiği

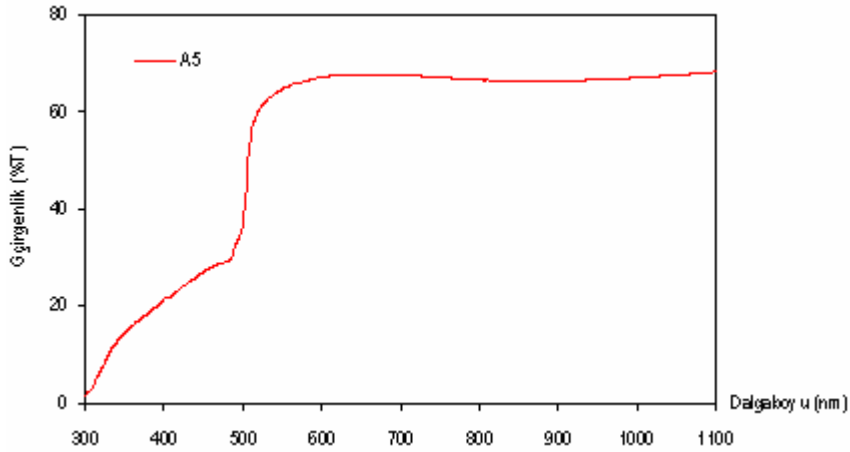
A4 numunesinde, yapı düzensizliğinin $\lambda=500$ nm.'ye kadar yavaşça gözlendiği ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550$ nm.'de güçlü bir absorpsiyonun gözlenerek piklenmenin hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise $\lambda=600$ nm.'de ulaştığı gözlenmiştir. Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. $350\pm 2^\circ\text{C}$ 'de de tavlanan bu numunede filmin kalınlığına karşın ($3,8 \mu\text{m}$) tanecik boyutunun ($135,59 \text{ \AA}$) ve üniformluk değerinin (%78,95) ve pürüzlülük değerinin de (12,07) artması sonucunda $\%T=69,64$ değerini aldığı görülmektedir.

A5 numunesinde, yapı düzensizliğinin $\lambda=500$ nm.'ye kadar yavaşça gözlendiği ve ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550$ nm.'de güçlü bir absorpsiyonun gözlenerek piklenmenin hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise $\lambda=650$ nm.'de ulaştığı gözlenmiştir. Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. $400\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tavlanan

bu numunede filmin kalınlığına karşın ($3,4 \mu\text{m}$) tanecik boyutunun ($125,33 \text{ \AA}$) ve üniformluluk değerin artarak (%83,33) numuneler içerisinde maksimum seviyeye ulaşması ve pürüzlülüğünün de (27,43) artması sonucunda $\%T=67,60$ değerini aldığı görülmektedir.



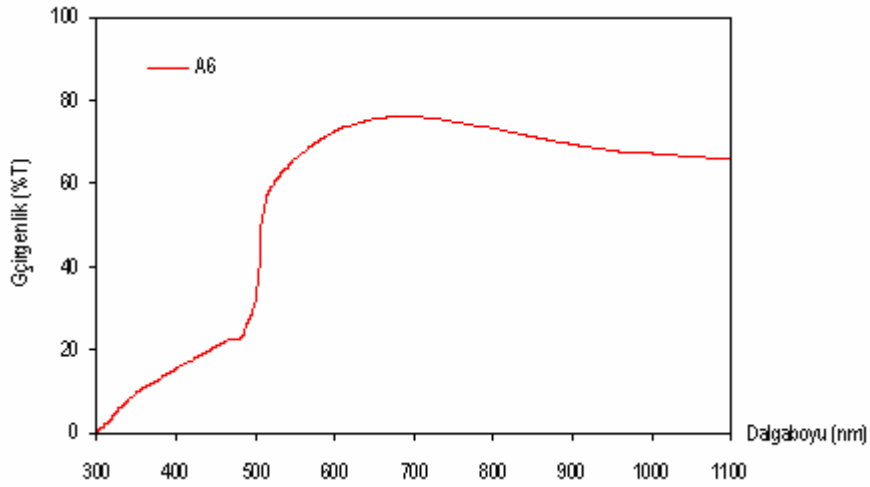
Şekil 4.7. A4 numunesinin geçirgenlik grafiği



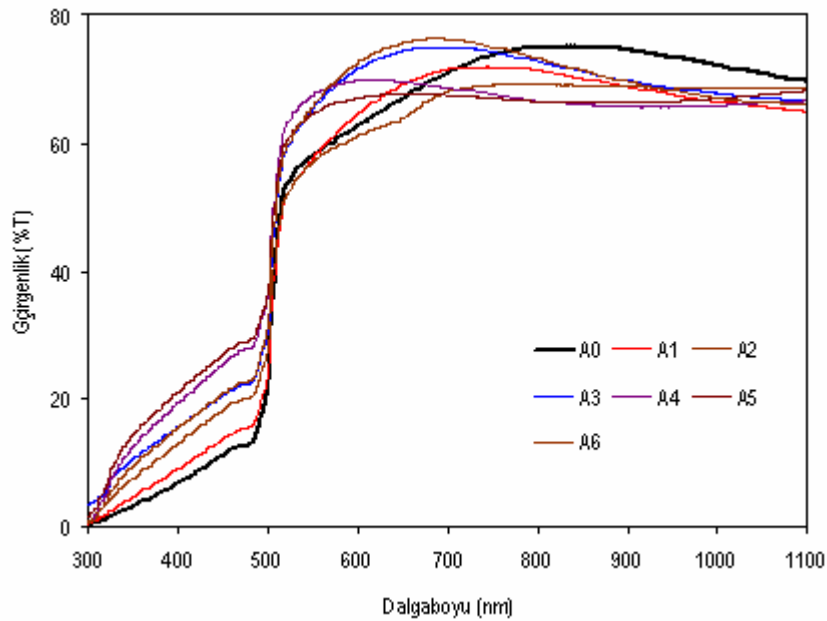
Şekil 4.8. A5 numunesinin geçirgenlik grafiği

A6 numunesinde ise yapı düzensizliğinin $\lambda=500 \text{ nm.}$ 'ye kadar yavaşça gözlemlendiği ve ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550 \text{ nm.}$ 'de güçlü bir absorpsiyonun gözlenerek piklenmenin hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise $\lambda=700 \text{ nm.}$ 'de ulaştığı

gözlenmiştir. Bu dalgaboyundan sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır. $450\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tavlanan bu numunede filmin kalınlığına karşın ($2,4\ \mu\text{m}$) tanecik boyutunun ($135,59\ \text{\AA}$) ve üniformaluluk değerinin azalarak (%62,50) numuneler içerisinde minimum seviyeye ulaşması ile pürüzlülüğünün de (45,00) azalması sonucunda $\%T=76,15$ değerini aldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.9. A6 numunesinin geçirgenlik grafikleri



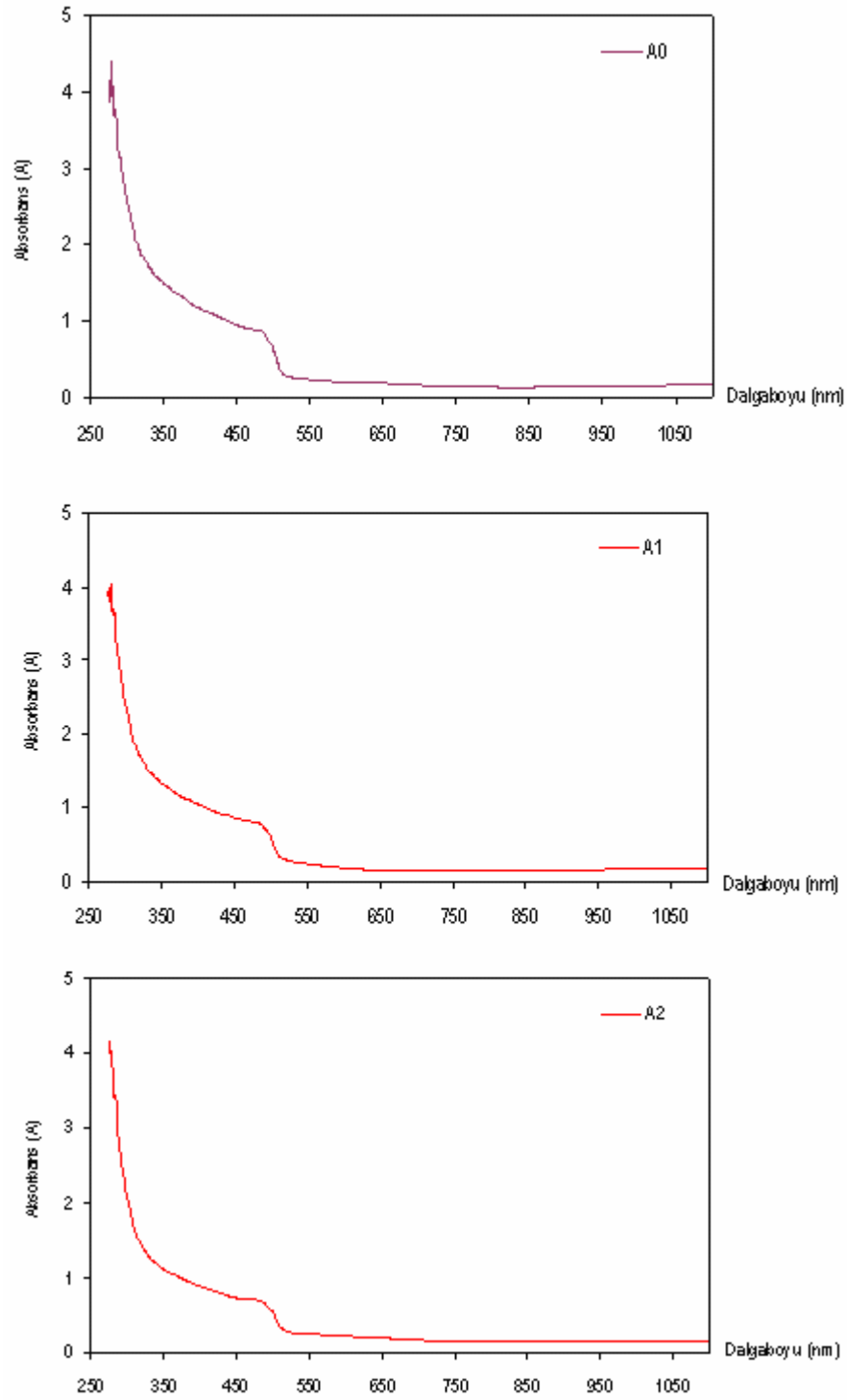
Şekil 4.10. Numunelerinin geçirgenlik değerlerine ait toplu gösterim grafikleri

Çizelge 4.2. Numunelerin dalgaboyuna bağlı %T geçirgenlik değerleri

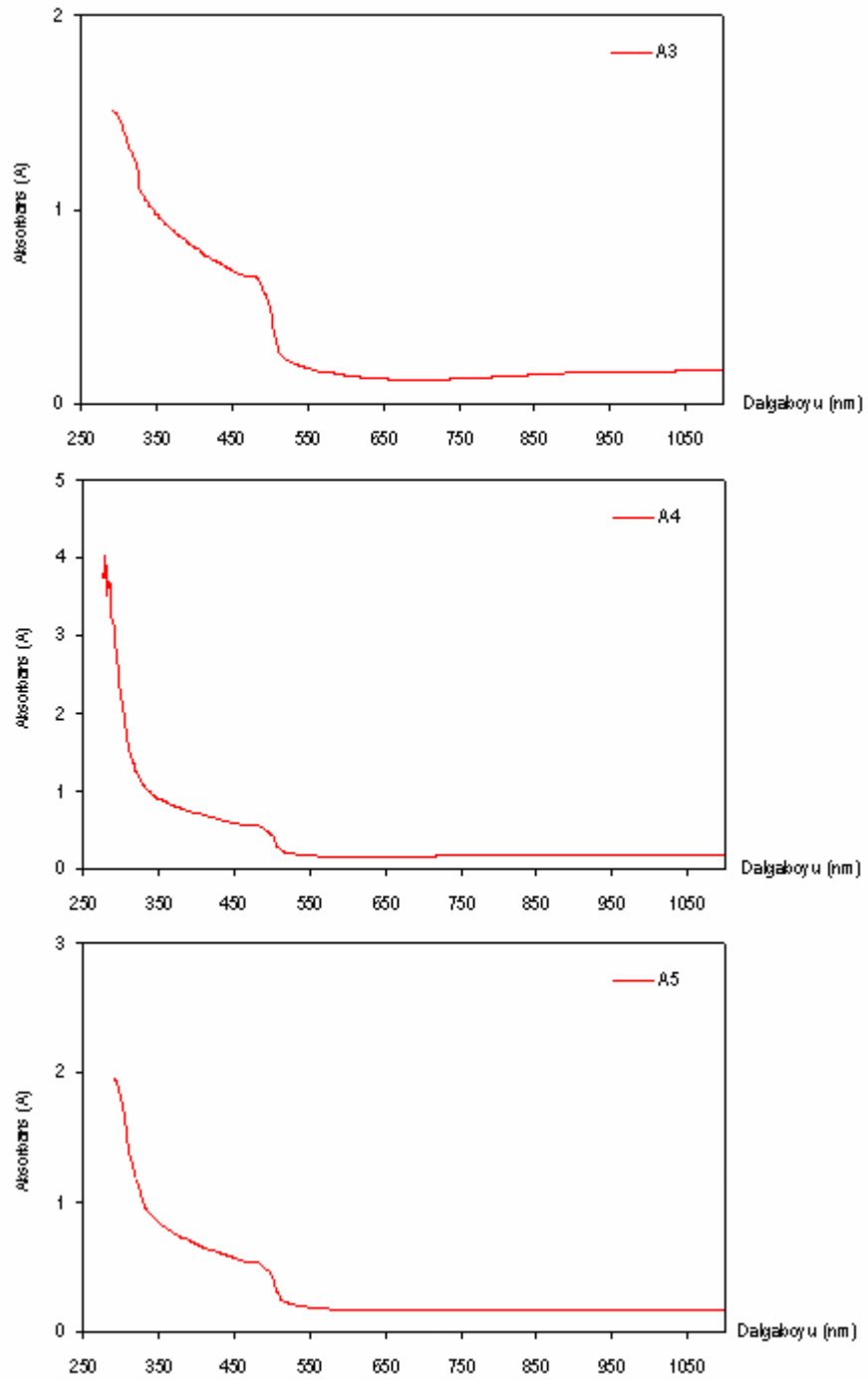
λ (nm)	A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)	%T	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C Film Kalınlığı x (μ m)
200														
250														
300	0,24		0,38		0,82		3,39		0,58		1,59		0,42	
350	3,20		4,66		7,55		10,52		12,56		14,38		9,59	
400	6,82		9,06		12,98		15,56		19,31		21,11		15,44	
450	11,19		13,72		18,28		20,54		25,46		26,91		20,80	
500	22,28		24,34		28,19		31,13		36,66		37,04		32,03	
550	58,02		57,61		56,91		65,35		67,40		64,53		65,77	
600	62,61		64,55		61,01		71,54		69,64		67,06		72,46	
650	66,98	Ham 1,00	69,09	200 4,20	63,78	250 2,50	74,31	300 4,90	69,46	350 3,80	67,60	400 2,90	75,58	450 3,40
700	70,92		71,40		67,93		74,94		68,60		67,45		76,15	
750	73,66		71,90		69,06		74,13		67,54		67,04		75,03	
800	74,89		71,28		69,10		72,74		66,59		66,58		73,19	
850	75,06		70,09		68,98		71,12		65,95		66,37		71,25	
900	74,43		68,73		68,81		69,64		65,65		66,38		69,54	
950	73,38		67,53		68,71		68,55		65,63		66,59		68,15	
1000	72,07		66,49		68,62		67,70		65,84		67,00		67,10	
1050	70,79		65,68		68,64		67,12		66,23		67,52		66,38	
1100	69,52		65,02		68,62		66,73		66,68		68,06		65,89	

4.2.1.2. CdS filmlerinin absorpsiyon ve yansıma değerleri

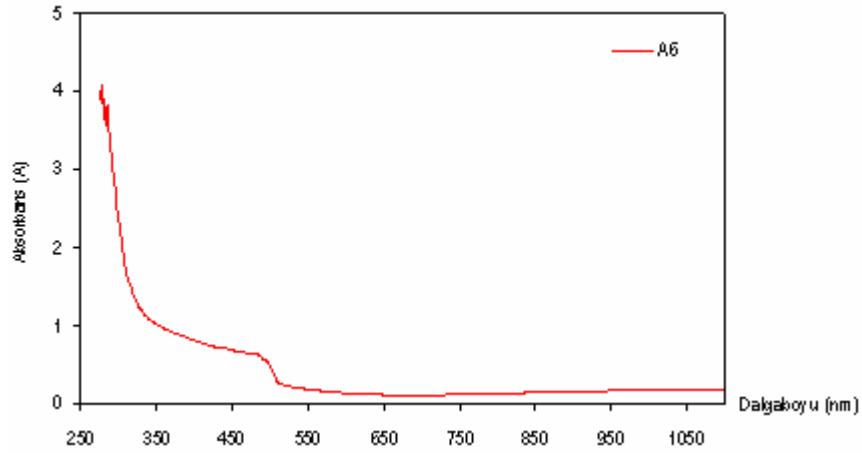
Elde edilen numunelerin absorpsiyon değerlerinin dalgaboyuna göre değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13.'de, toplu gösterimleri ise Şekil 4.14.'de, yine aynı şekilde numunelere ait yansıma oranlarının dalgaboyuna göre değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16. ve Şekil 4.17'de, toplu gösterimleri Şekil 4.18.'de ve grafiklere ait veriler Çizelge 4.3. 'de ve geçirgenlik, absorpsiyon ve yansıma değerleri ise Çizelge 4.4.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.11. A0, A1 ve A2 numunelerine ait absorbans değerleri

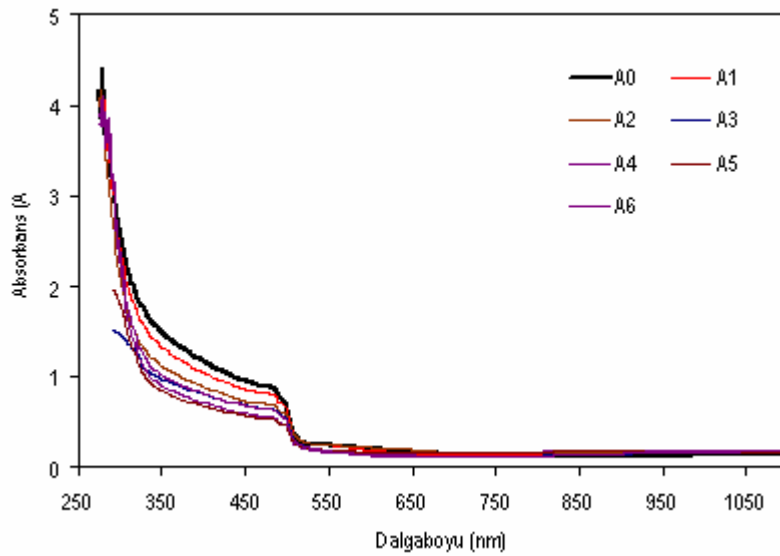


Şekil 4.12. A3, A4 ve A5 numunelerine ait absorban değerleri



Şekil 4.13. A6 numunesine ait absorbanans değerleri

Numunelerin yansıma değerleri incelendiğinde görünür bölgede yaklaşık %7 ile %10 arasında düşük bir yansımaya sahip oldukları ve kısa dalga boylarına gidildikçe yansımanın arttığı gözlenmiştir. Filmlerin kalınlıkları aynı parametrik değere sahip olmadığından karşılaştırma yapılamamış fakat kalınlıkların değerinin yansıma değeri üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Yansıma üzerinde yüzeyin üniformalılığı ve pürüzlülüğü etkili olduğundan filmlerin yüzey fotoğrafları bunu doğrular niteliktedir.



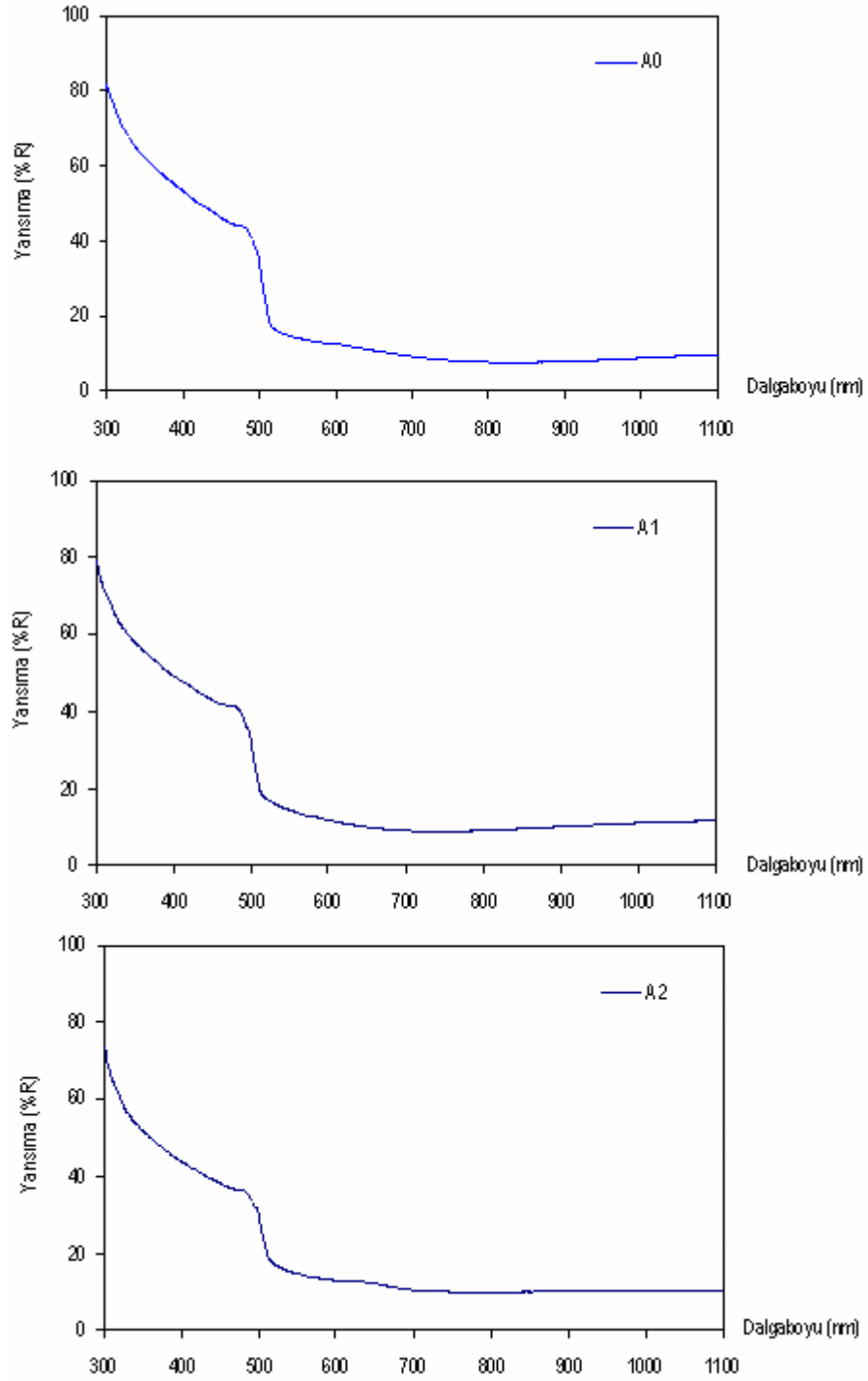
Şekil 4.14. Bütün numunelere ait absorbanans değerleri

Bütün numuneler için absorbans değerinin düşük çıkması, filmlerin absorblama ya da yansıtma yerine geçirgenlik karakterine sahip olduğunu göstermektedir.

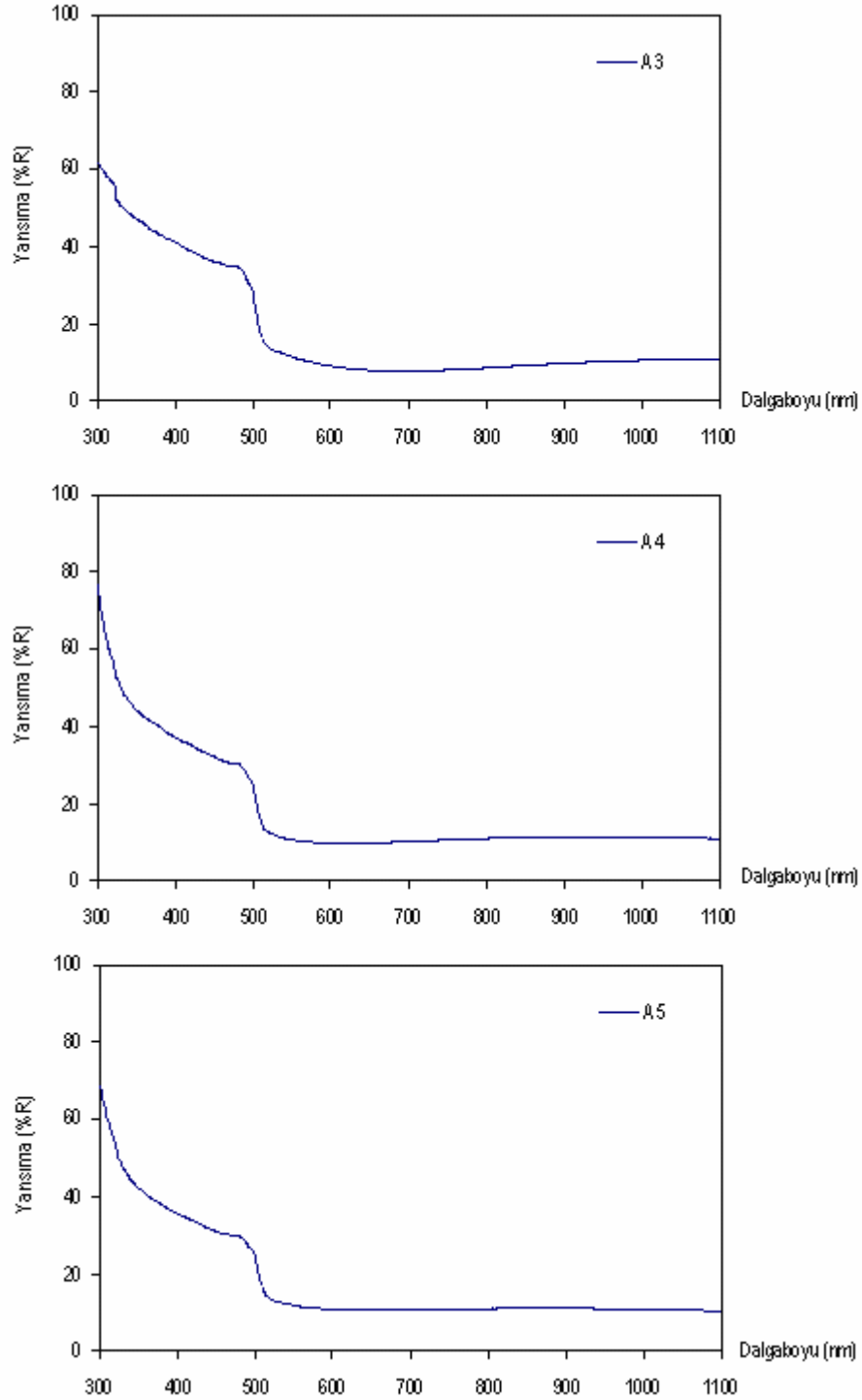
Genel olarak numunelere bakıldığında yapı düzensizliğinin bütün numuneler için literatüre uygun olarak (*Zelaya-Angel, et al., 1999*) absorbsiyon band kenarlarının $\lambda=275$ nm'de başladığı, $\lambda=500$ nm.'ye kadar yavaşça gözlendiği, ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=550$ nm.'de güçlü bir absorbsiyonun gözlenerek piklenmenin hızlı bir artışa geçtiği ve maksimum seviyeye ise tavlınmayan A0 numunesinde $\lambda=850$ nm, tavlınan numunelerde $\lambda=600-750$ nm. aralıklarında ulaştığı gözlenmiştir. Bu dalgaboylarından sonra yavaş bir azalma söz konusu olmaktadır.

Süreleri aynı tutulmak koşulu ile tavlınan filmlerde farklı numune kalınlıkları için tanecik boyutunun azaldığı, üniformaluluk değerlerinin A6 numunesi hariç ~%72-%92 aralıklarında olduğu, pürüzlülüklerinin ise yine A6 numunesi hariç ~10-27, geçirgenliklerinin ise ~%68-%75 aralıklarında olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç literatüre oldukça uygundur (*Kashiwaba, et al., 1990; Baykul and Balcioglu, 2000*). Elde edilen filmlerdeki hesaplanan tanecik büyüklükleri de literatüre uygun olup (*Baykul and Balcioglu, 2000; Choy and Su, 2000*) 116,22-163,26 Å arasındadır (Çizelge 4.3., Çizelge 4.4).

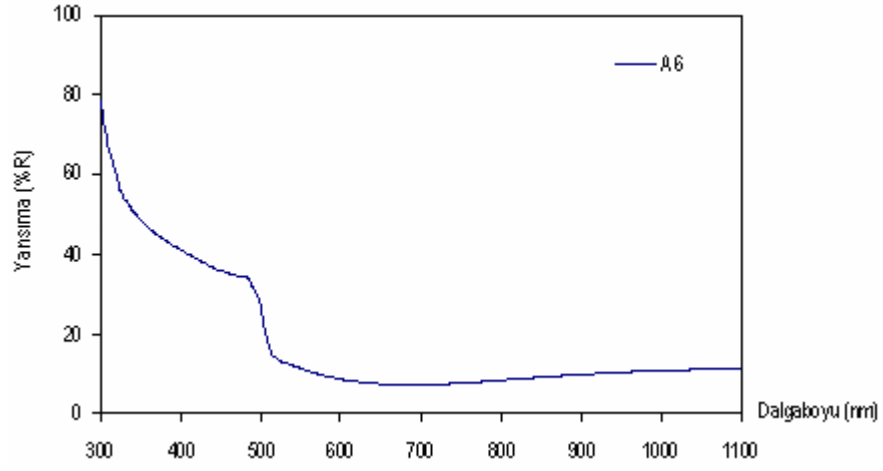
Literatüre göre $300\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tavlınan A3 numunesi üniformaluk ve pürüzlülük değeri ile en uygun film olma özelliği göstermektedir (*Hartley and Irvine, 2000; Berrigan, et al., 1998; Jin, et al., 2005; Vigil, et al., 1995; Lozada- Morales and Zelaya-Angel, 2004; Archbold, et al., 2005; Choy and Su, 2000*). $400\pm 2^\circ\text{C}$ 'den fazla tavlama sıcaklığına tabi tutulan A5 ve A6 numunelerinin üniformaluk ve pürüzlülük değerinin bu şekilde çıkması da literatüre uygun olduğunu ve A6 numunesinin kompozit bir malzeme gibi olduğunu göstermektedir (*Johnson, 2000*).



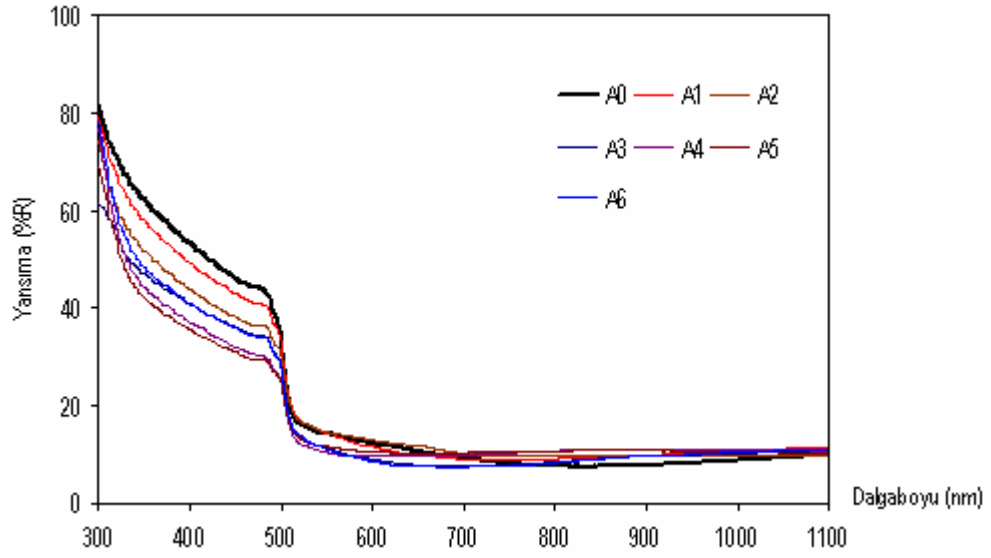
Şekil 4.15. A0, A1 ve A2 numunelerine ait yansıtma değerleri



Şekil 4.16. A3, A4 ve A5 numunelerine ait yansıtma değerleri



Şekil 4.17. A6 numunesine ait yansıtma değerleri



Şekil 4.18. Bütün numunelere ait yansıtma değerleri

Çizelge 4.3. Numunelerin dalgaboyuna bağlı %R yansımaya değerleri

λ (nm)	A0			A1			A2			A3			A4			A5			A6			
	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	%R	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Film Kalınlığı x (μ m)	
200																						
250																						
300	81,87			79,28			74,28			61,62			76,71			69,02			78,67			
350	62,21			57,99			51,85			47,11			44,39			42,23			48,48			
400	53,21			49,30			43,87			40,92			37,19			35,60			41,05			
450	46,18			42,99			38,16			36,09			32,09			31,01			35,86			
500	34,60			32,94			30,10			28,11			24,71			24,49			27,53			
550	14,27			14,44			14,74			11,34			10,56			11,65			11,18			
600	12,41			11,65			13,04			9,04			9,73			10,69			8,71			
650	10,72	Ham	1,00	9,93	200	4,20	11,96	250	2,50	8,06	300	4,90	9,79	350	3,80	10,48	400	2,90	7,61	450	3,40	
700	9,26			9,09			10,36			7,84			10,11			10,54			7,42			
750	8,28			8,91			9,94			8,12			10,51			10,70			7,81			
800	7,85			9,13			9,93			8,61			10,86			10,87			8,45			
850	7,80			9,57			9,97			9,19			11,11			10,95			9,14			
900	8,02			10,06			10,04			9,73			11,22			10,94			9,77			
950	8,38			10,51			10,07			10,13			11,23			10,86			10,28			
1000	8,85			10,90			10,11			10,45			11,15			10,71			10,67			
1050	9,31			11,21			10,10			10,66			11,00			10,51			10,94			
1100	9,77			11,46			10,11			10,81			10,83			10,31			11,13			

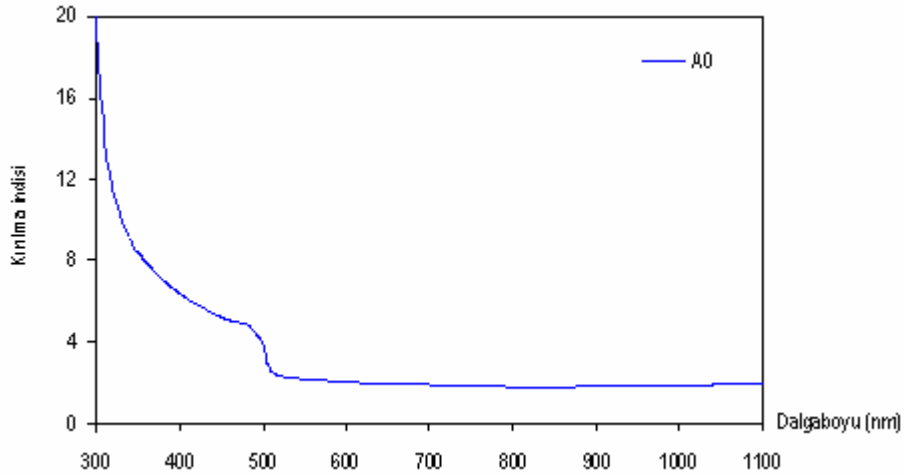
Çizelge 4.4. Numunelerin kalınlık ve tavlama sıcaklığına bağlı geçirgenlik, absorpsiyon ve yansımaya değerleri.

λ (nm)	A0			A1			A2			A3			A4			A5			A6		
	Tavlama Sıcaklığı Ham			Tavlama Sıcaklığı 200 \pm 2 °C			Tavlama Sıcaklığı 250 \pm 2 °C			Tavlama Sıcaklığı 300 \pm 2 °C			Tavlama Sıcaklığı 350 \pm 2 °C			Tavlama Sıcaklığı 400 \pm 2 °C			Tavlama Sıcaklığı 450 \pm 2 °C		
	Film Kalınlığı x = 1,0 mm			Film Kalınlığı x = 4,2 mm			Film Kalınlığı x = 2,5 mm			Film Kalınlığı x = 4,9 mm			Film Kalınlığı x = 3,8 mm			Film Kalınlığı x = 2,9 mm			Film Kalınlığı x = 3,4 mm		
%R	%T	Absorbans	%R	%T	Absorbans	%R	%T	Absorbans	%R	%T	Absorbans	%R	%T	Absorbans	%R	%T	Absorbans	%R	%T	Absorbans	
400																					
450																					
500	34,60	22,28	0,65	32,94	24,34	0,61	30,10	28,19	0,89	28,11	31,13	0,51	24,71	36,66	0,44	24,49	37,04	0,43	27,53	32,03	0,49
550	14,27	58,02	0,24	14,44	57,61	0,24	14,74	56,91	0,74	11,34	65,35	0,18	10,56	67,40	0,17	11,65	64,53	0,19	11,18	65,77	0,18
600													9,73	69,64	0,16						
650																10,48	67,60	0,17			
700										7,84	74,94	0,13							7,42	76,15	0,12
750				8,91	71,90	0,14															
800							9,93	69,10	0,17												
850	7,80	75,06	0,12																		
900																					
950																					
1000																					
1050																					
1100																					
Top.	82,96			80,95			79,19			82,90			79,53			78,26			83,69		

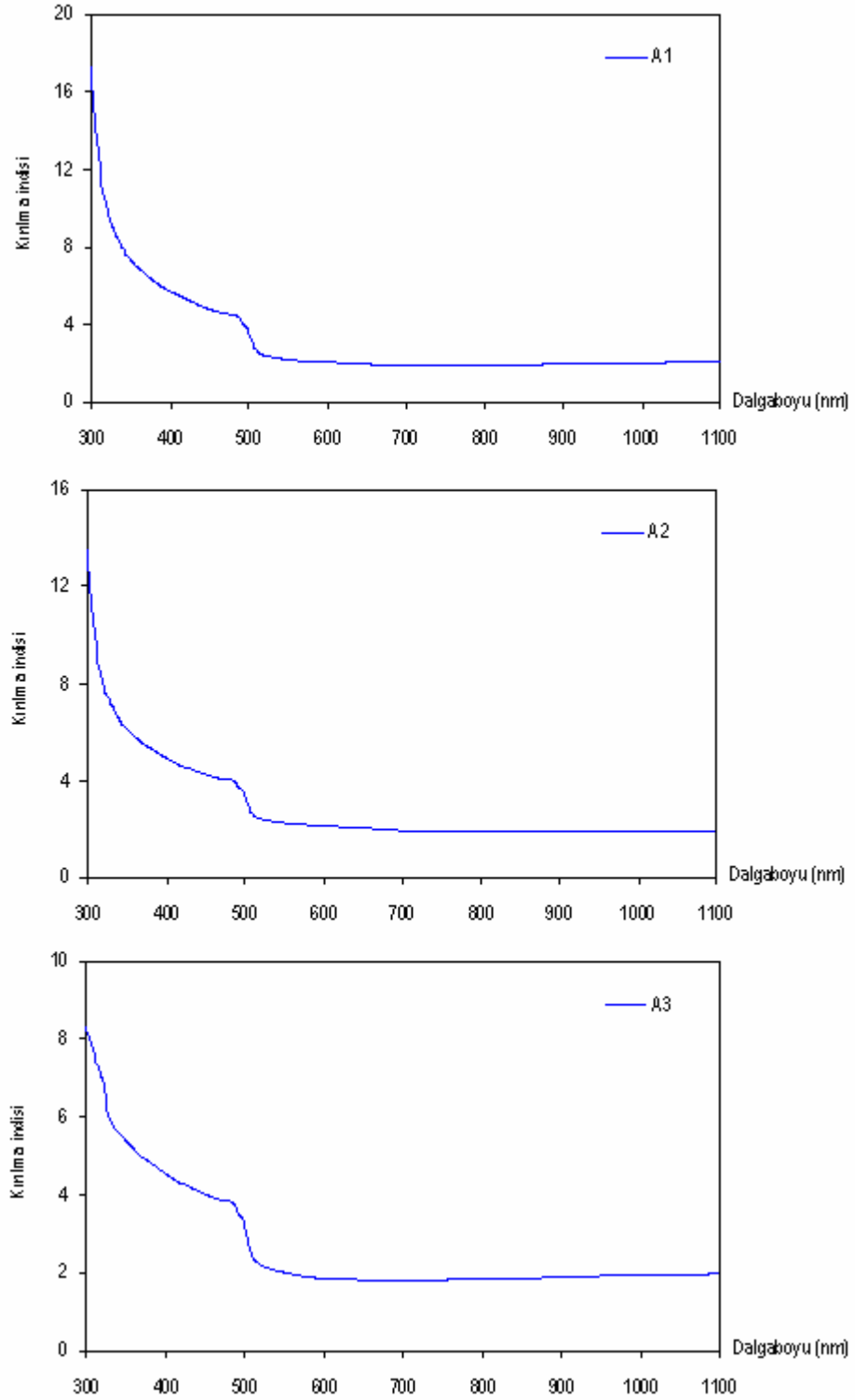
4.2.1.3. CdS filmlerinin kırılma indisleri

Elde edilen numunelerin kırılma indislerinin dalgaboyuna göre değişim grafikleri Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21.'de toplu gösterimleri ise Şekil 4.22.'de ve grafiklere ait veriler Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

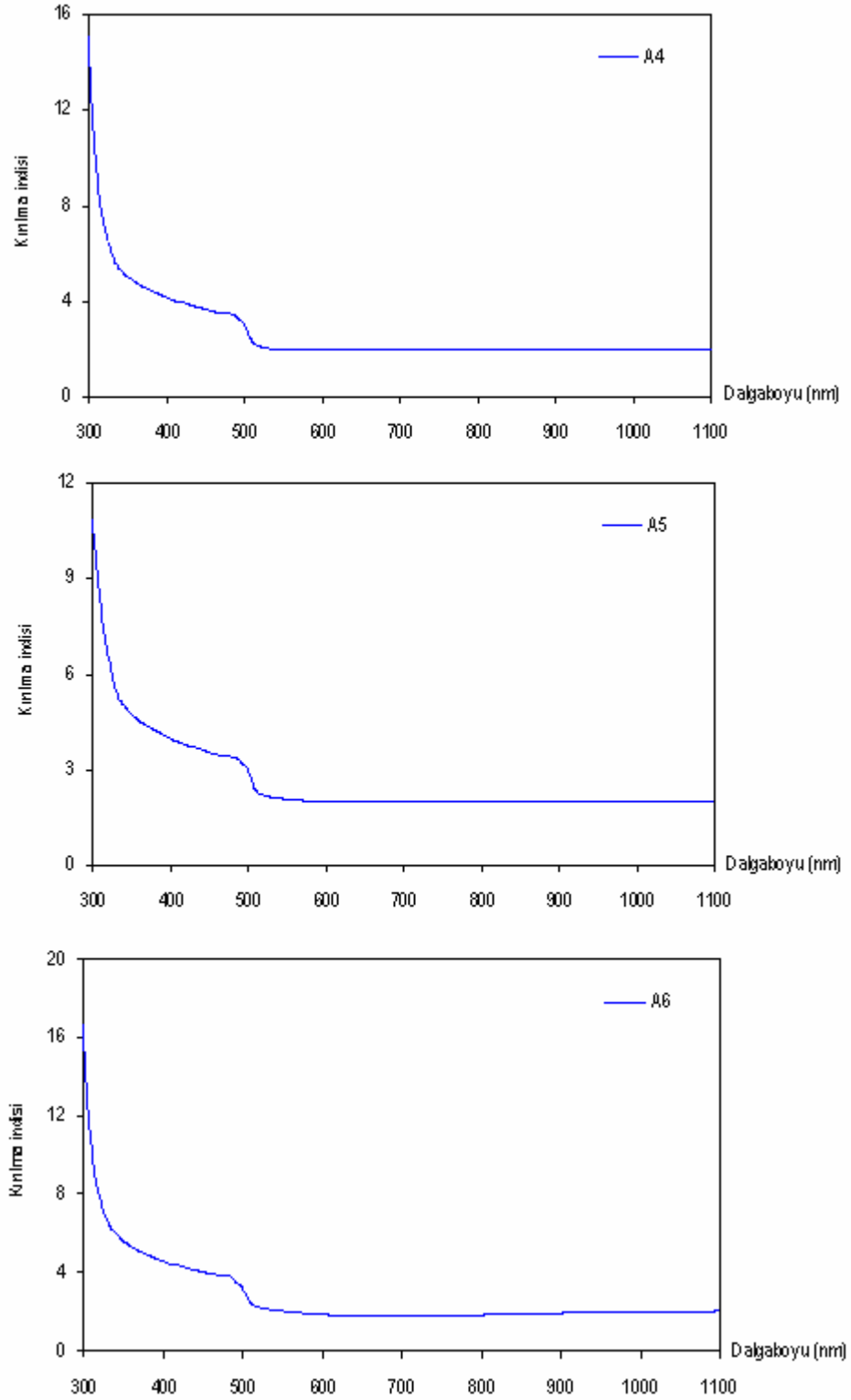
Filmlere ait grafikler incelendiğinde bütün numunelerde; $\lambda=470$ nm. ile $\lambda=490$ nm. aralığında keskin bir azalışın gözleğiği ilk geçiş bölgesi olan $\lambda=490$ nm. ile $\lambda=510$ nm. aralıklarında yer alan dalgaboylarında güçlü bir kırılma ile piklenmenin hızlı bir azalışa geğtiği belirlenmiştir. Bütün numuneler için ilk geçiş bölgesinin değeri $\lambda \sim 500$ nm. alındığında bu bölgedeki n kırılma indisleri değerlerinin sırasıyla, $n_{A0}=3.86$, $n_{A1}=3.69$, $n_{A2}=3.43$, $n_{A3}=3.26$, $n_{A4}=2.98$, $n_{A5}=2.96$ ve $n_{A6}=3.21$ olarak bulunması termal tavlama sonucunda ilk geçiş bölgesi değerinin belirgin bir şekilde değiştiğini göstermektedir.



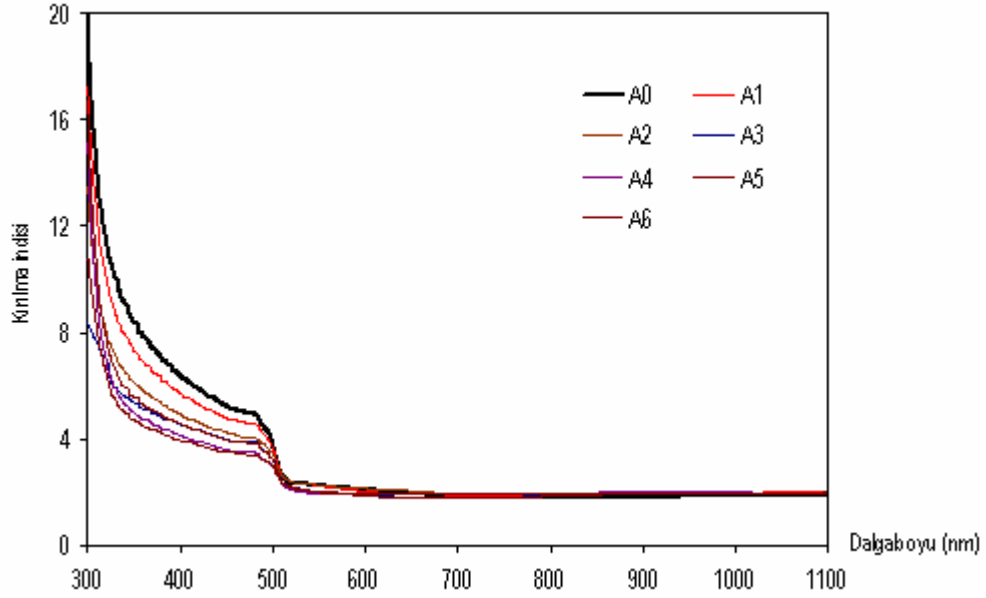
Şekil 4.19. A0 numunesine n ait kırılma indisi değerleri



Şekil 4.20. A1, A2 ve A3 numunelerine n ait kırılma indisi değerleri



Şekil 4.21. A4, A5 ve A6 numunelerine ait n kırılma indisi değerleri



Şekil 4.22. Bütün numunelere ait n kırılma indisi değerleri

Minimum seviyeye ise A0 numunesinde $\lambda=850$ nm.'de, A1 numunesinde $\lambda=750$ nm.'de, A2 numunesinde $\lambda=800$ nm.'de, A3 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de, A4 numunesinde $\lambda=600$ nm.'de , A5 numunesinde $\lambda=650$ nm.'de ve A6 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de ulaşarak $n_{A0}=1.77$, $n_{A1}=1.85$, $n_{A2}=1.92$, $n_{A3}=1.78$, $n_{A4}=1.91$, $n_{A5}=1.96$ ve $n_{A6}=1.75$ değerlerini aldığı gözlenmiştir.

Bütün filmler için filmlerin kalınlığına, üniformaluluğuna ve pürüzlülüğüne bağlı olarak yansımaya değerlerine göre kırılma indisleri incelendiğinde daha kısa dalga boylarına gidildikçe artan yansımaya değerlerinde kırılma katsayılarının arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni; gelen fotonlar için azalan dalga boyunda artan enerjilerinden kaynaklanan malzemenin elektronlarıyla daha fazla etkileşmenin varlığıdır.

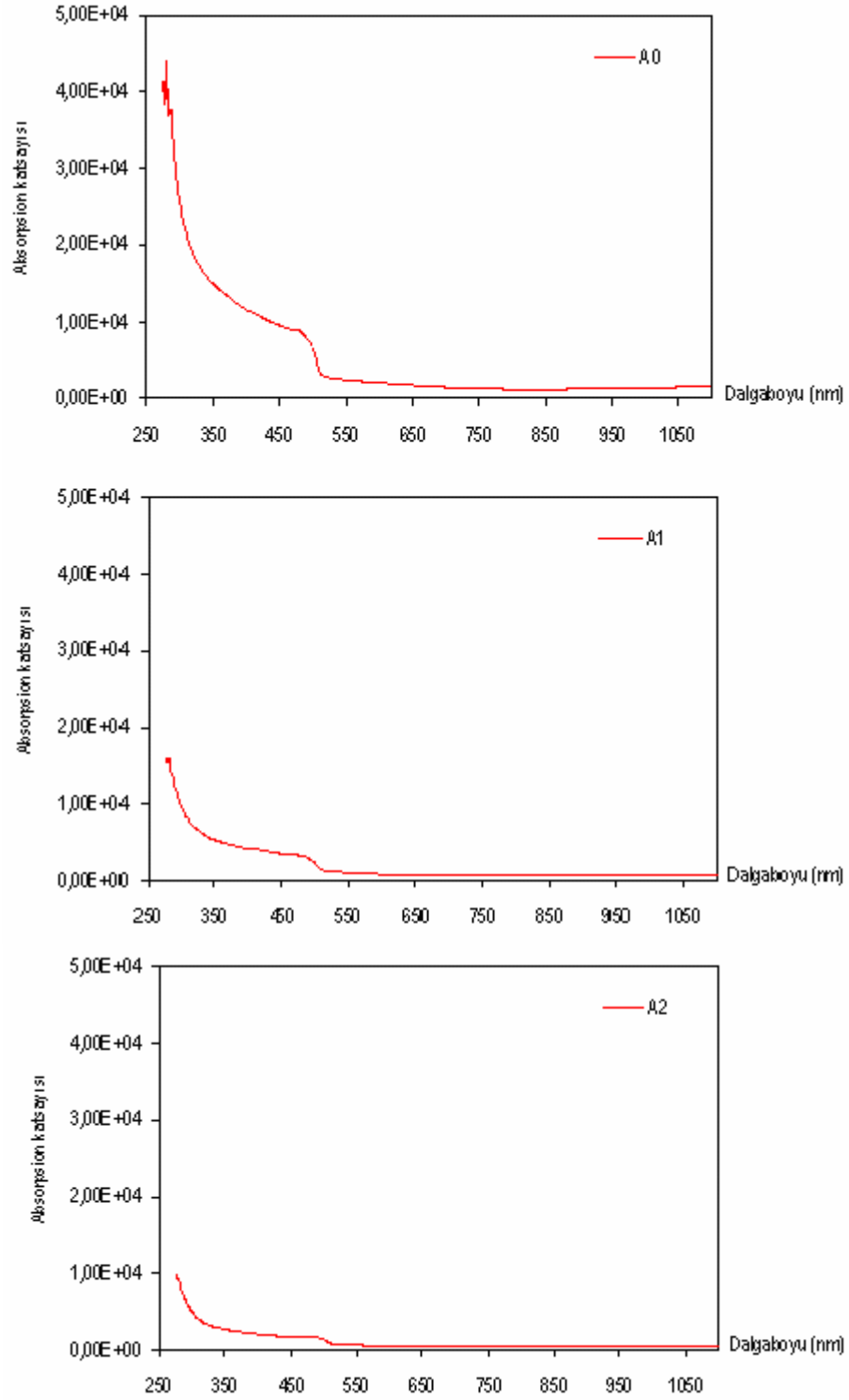
Kırıcılık özelliği yüksek olan malzemeler aynı zamanda yüksek yansıtma özelliğine de sahiptirler.

Çizelge 4.5. Numunelerin dalgaboyuna bağlı n kırılma indisi değerleri

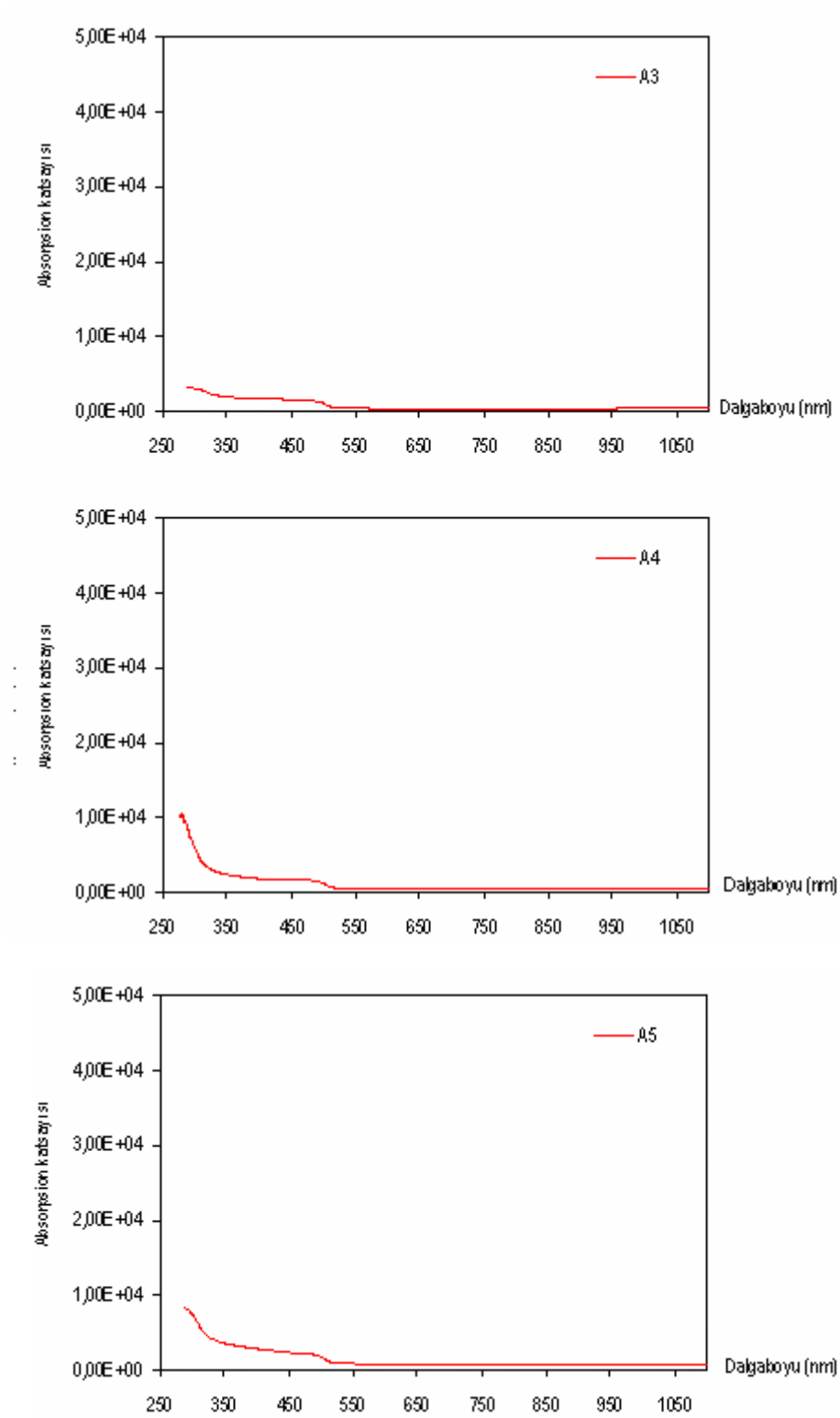
λ (nm)	A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Kırılma İndisi	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)
200														
250														
300	20,01		17,25		13,48		8,30		15,11		10,82		16,70	
350	8,47		7,39		6,14		5,38		4,99		4,71		5,58	
400	6,39		5,72		4,92		4,55		4,13		3,96		4,57	
450	5,24		4,81		4,23		4,01		3,61		3,51		3,99	
500	3,86		3,69		3,43		3,26		2,98		2,96		3,21	
550	2,21		2,23		2,25		2,02		1,96		2,04		2,00	
600	2,09		2,04		2,13		1,86		1,91		1,97		1,84	
650	1,97	Ham	1,92	200	2,06	250	1,79	300	1,91	350	1,96	400	1,76	450
700	1,87	1,00	1,86	4,20	1,95	2,50	1,78	4,90	1,93	3,80	1,96	2,90	1,75	3,40
750	1,81		1,85		1,92		1,80		1,96		1,97		1,78	
800	1,78		1,87		1,92		1,83		1,98		1,98		1,82	
850	1,77		1,90		1,92		1,87		2,00		1,99		1,87	
900	1,79		1,93		1,93		1,91		2,01		1,99		1,91	
950	1,81		1,96		1,93		1,93		2,01		1,98		1,94	
1000	1,85		1,99		1,93		1,96		2,00		1,97		1,97	
1050	1,88		2,01		1,93		1,97		1,99		1,96		1,99	
1100	1,91		2,02		1,93		1,98		1,98		1,95		2,00	

4.2.1.4. CdS filmlerinin absorpsiyon katsayıları

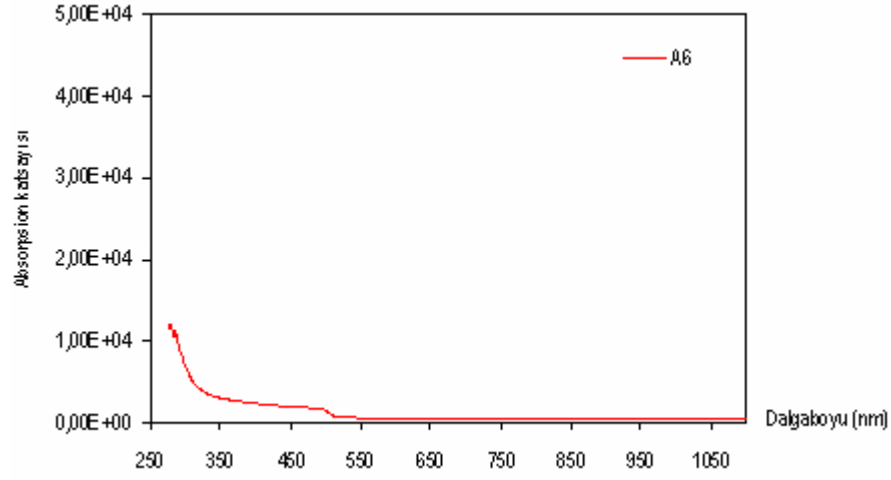
Elde edilen numunelerin absorpsiyon katsayılarının, dalgaboyuna göre değişim grafikleri Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25.'de toplu gösterimleri ise Şekil 4.26.'da ve grafiklere ait veriler Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Filmlere ait grafikler incelendiğinde bütün numunelerde, CdS filmlerinin ortak karakterine bağlı olarak düşük bir absorpsiyonla keskin bir artışın; $\lambda=490$ nm. ile $\lambda=510$ nm. aralıklarından daha kısa dalgaboylarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Bütün numuneler için ilk geçiş bölgesinin değeri $\lambda= \sim 500$ nm. alındığında bu bölgedeki absorpsiyon katsayısı değerlerinin sırasıyla $\alpha_{A0}=6520,26 \text{ cm}^{-1}$, $\alpha_{A1}=2454,43 \text{ cm}^{-1}$, $\alpha_{A2}=1309,30 \text{ cm}^{-1}$, $\alpha_{A3}=1034,21 \text{ cm}^{-1}$, $\alpha_{A4}=1146,77 \text{ cm}^{-1}$, $\alpha_{A5}=1797,40 \text{ cm}^{-1}$ ve $\alpha_{A6}=1454,32 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulunması termal tavlama sonucunda ilk geçiş bölgesi değerinin belirgin bir şekilde değiştiğini göstermektedir. $300 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de tavlanan A3 numunesinin en düşük değeri aldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.23. A0, A1 ve A2 numunelerine ait α (cm^{-1}) absorpsiyon katsayısı değerleri

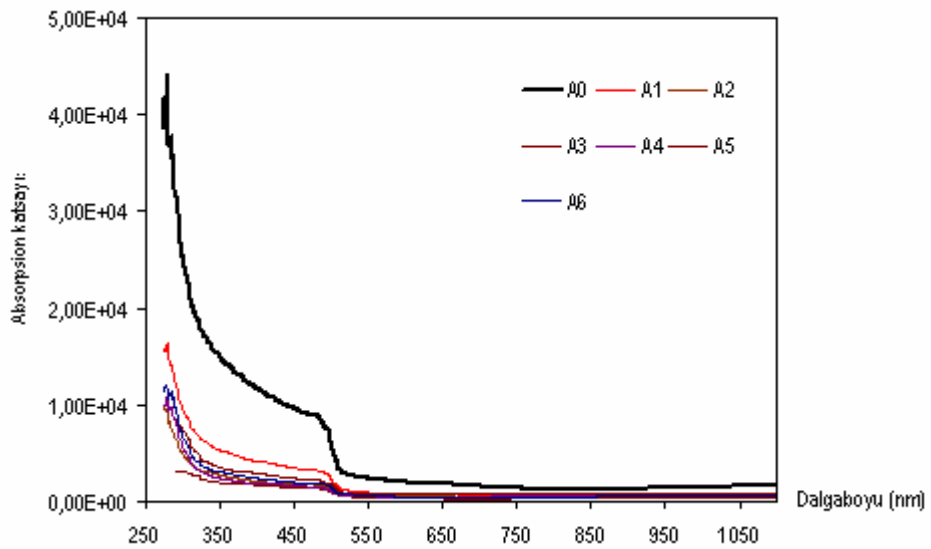


Şekil 4.24. A3, A4 ve A5 numunelerine ait α (cm⁻¹) absorpsiyon katsayısı değerleri



Şekil 4.25. A6 numunesine ait α (cm^{-1}) absorpsiyon katsayısı değeri

Minimum seviyeye ise; A0 numunesinde $\lambda=850$ nm.'de, A1 numunesinde $\lambda=750$ nm.'de, A2 numunesinde $\lambda=800$ nm.'de, A3 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de, A4 numunesinde $\lambda=600$ nm.'de, A5 numunesinde $\lambda=650$ nm.'de ve A6 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de ulaşarak $\alpha_{A0}=1246,20$ cm^{-1} , $\alpha_{A1}=573,08$ cm^{-1} , $\alpha_{A2}=382,20$ cm^{-1} , $\alpha_{A3}=255,75$ cm^{-1} , $\alpha_{A4}=413,46$ cm^{-1} , $\alpha_{A5}=708,45$ cm^{-1} ve $\alpha_{A6}=347,98$ cm^{-1} değerlerini almaktadır.



Şekil 4.26. Bütün numunelere ait α (cm^{-1}) absorpsiyon katsayısı değerleri

Çizelge 4.6. Numunelerin dalgaboyuna bağlı α (cm^{-1}) absorpsiyon katsayısı değerleri

λ (nm)	A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)	Absorpsiyon Katsayısı (α)	Tavlama Sıcaklığı $\pm 2^\circ\text{C}$ Film Kalınlığı x (μm)
200														
250														
300	26.216,02		9.667,20		4.964,59		3.000,64		5.887,69		7.497,60		6.978,34	
350	14.943,07		5.326,08		2.671,55		1.995,63		2.370,72		3.509,84		2.994,65	
400	11.661,52		4.172,25		2.111,09		1.649,24		1.879,28		2.814,98		2.386,33	
450	9.512,86		3.450,84		1.757,03		1.402,99		1.563,40		2.375,23		2.005,57	
500	6.520,26		2.454,43		1.309,30		1.034,21		1.146,77		1.797,40		1.454,32	
550	2.364,37		958,04		582,94		377,09		450,95		792,63		535,29	
600	2.033,91		760,55		510,90		296,81		413,46		723,10		411,48	
650	1.740,68	Ham	642,39	200	465,09	250	263,18	300	416,50	350	708,45	400	357,61	450
700	1.492,07	1,00	585,18	4,20	399,81	2,50	255,75	4,90	430,71	3,80	712,60	2,90	347,98	3,40
750	1.327,74		573,08		382,87		265,31		448,47		723,72		366,99	
800	1.255,82		588,20		382,20		282,16		464,71		736,12		398,64	
850	1.246,20		617,47		384,02		302,11		475,70		741,70		432,91	
900	1.282,81		651,52		386,60		320,65		480,96		741,40		464,05	
950	1.343,99		682,14		388,00		334,68		481,36		735,82		489,79	
1000	1.422,21		709,03		389,46		345,75		477,73		724,61		509,64	
1050	1.500,46		730,29		389,18		353,31		470,86		710,75		523,44	
1100	1.578,96		747,71		389,45		358,52		463,10		696,39		532,94	

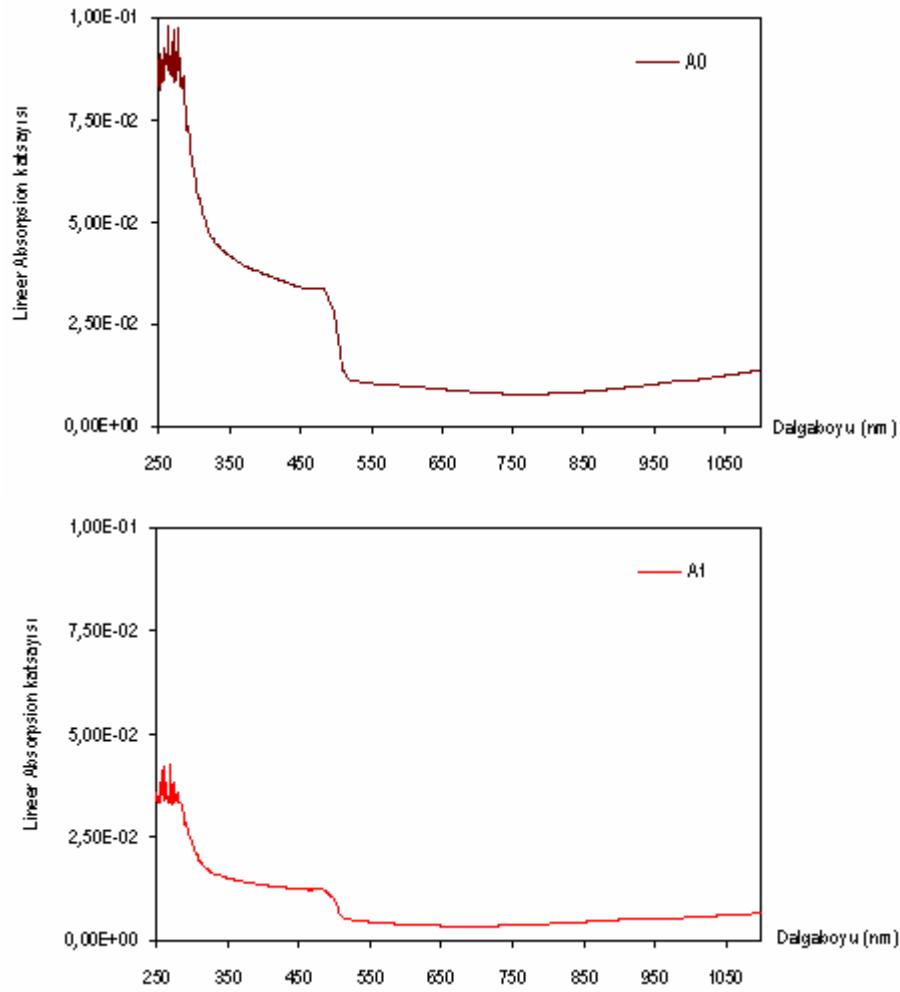
4.2.1.5. CdS filmlerinin lineer absorpsiyon katsayıları

Elde edilen numunelerin lineer absorpsiyon katsayılarının, dalgaboyuna göre değişim grafikleri Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30.'da toplu gösterimleri ise Şekil 4.31.'de ve grafiklere ait veriler Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

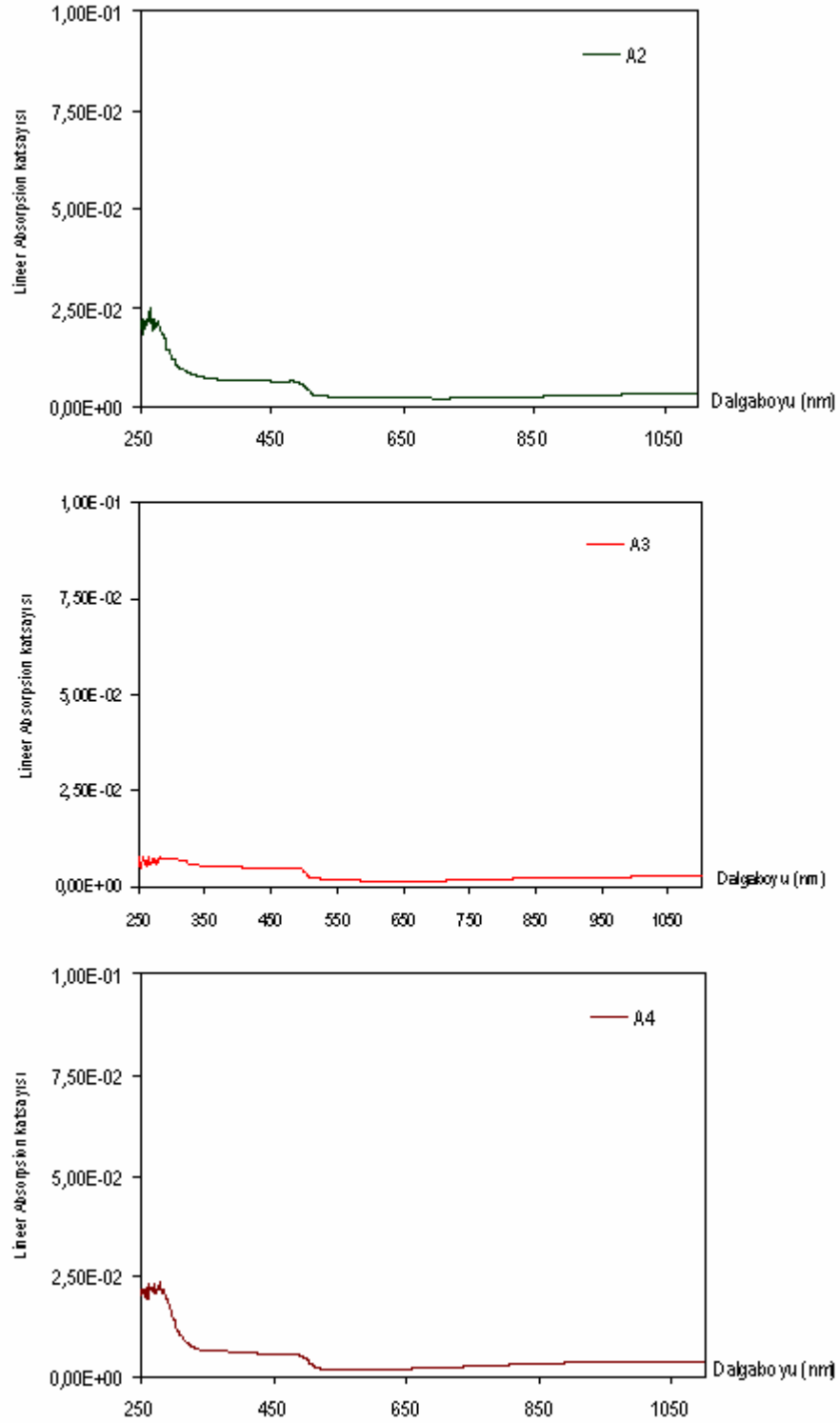
Lineer absorpsiyon katsayısının artışı, malzemenin geçirgenliğinin azalması absorpsiyonun arttığını, azalışı ise malzemenin yansıtıcılığının arttığını belirler.

Filmlere ait grafikler incelendiğinde bütün numunelerde, k lineer absorpsiyon katsayılarının; A0 ve A1 numunelerinde $\lambda=500$ nm. ile $\lambda=550$ nm., diğer numunelerde ise $\lambda=450$ nm. ile $\lambda=500$ nm. aralıklarından daha kısa dalga boylarında yüksek değerlere

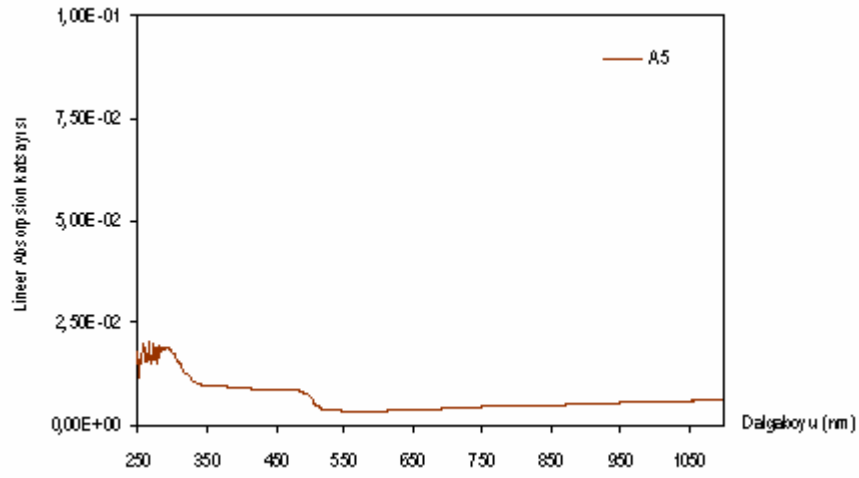
sahip olduğu ve bu bölgelerdeki lineer absorpsiyon katsayısı değerlerinin sırasıyla $k_{A0}=25,96$, $k_{A1}=9,77$, $k_{A2}=6,30$, $k_{A3}=5,03$, $k_{A4}=5,60$, $k_{A5}=8,51$ ve $k_{A6}=7,19$ olarak bulunması termal tavlama sonucunda ilk geçiş bölgesi değerinin belirgin bir şekilde değiştirdiğini ve 300 ± 5 °C 'de tavlanan A3 numunesinde rakamsal olarak en düşük değeri aldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.27. A0 ve A1 numunelerine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri

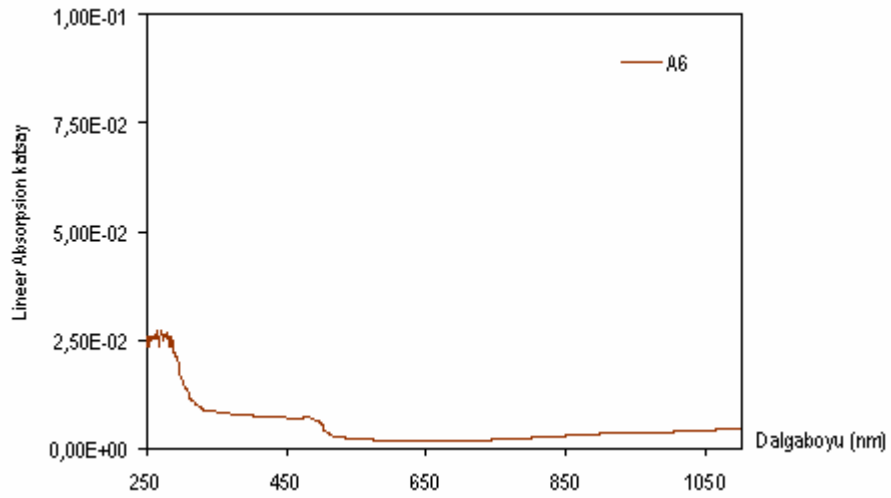


Şekil 4.28. A2, A3 ve A4 numunelerine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri

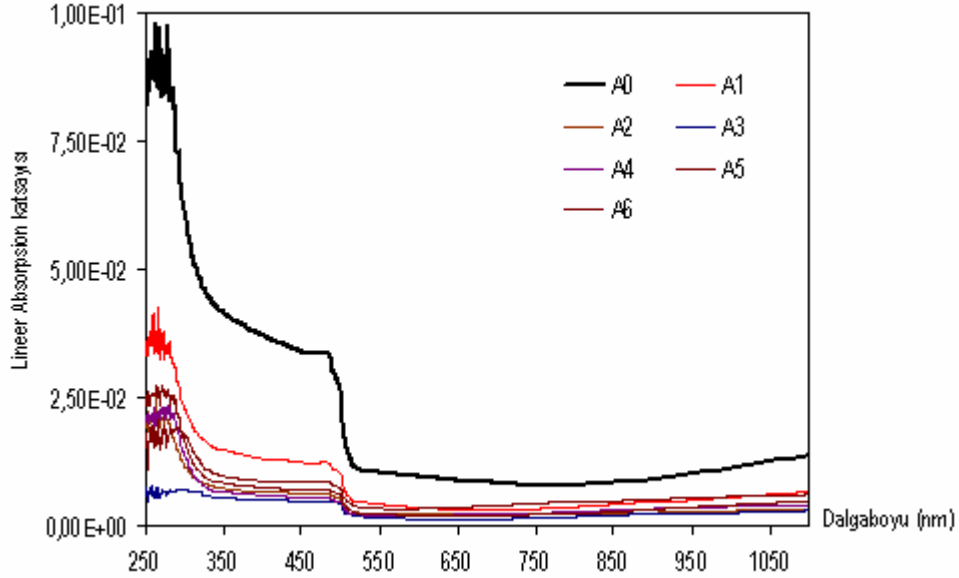


Şekil 4.29. A5 numunesine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değeri

Minimum seviyeye ise A0 numunesinde $\lambda=800$ nm.'de, A1 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de, A2 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de, A3 numunesinde $\lambda=650$ nm.'de, A4 numunesinde $\lambda=600$ nm.'de, A5 numunesinde $\lambda=650$ nm.'de ve A6 numunesinde ise $\lambda=700$ nm.'de ulaştığı ve $k_{A0}=8,00$, $k_{A1}=3,26$, $k_{A2}=2,23$, $k_{A3}=1,36$, $k_{A4}=1,97$, $k_{A5}=3,45$ ve $k_{A6}=1,97$ değerlerini alarak yavaş bir yükselişe geçtiği gözlenmiştir.



Şekil 4.30. A6 numunesine ait k lineer absorpsiyon katsayısı değeri



Şekil 4.31. Bütün numunelere ait k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri

Bütün numunelerde görünür bölgedeki lineer absorpsiyon katsayısı, absorpsiyon, geçirgenlik ve yansımaya grafiklerindeki piklenmenin $\lambda = \sim 500$ nm.'de olmasının yanı sıra özellikle A0 numunesinde $\lambda = 850$ nm. ve $\lambda = 750$ nm, A1 numunesinde $\lambda = 750$ nm. ve $\lambda = 700$ nm, A2 numunesinde $\lambda = 800$ nm. ve $\lambda = 700$ nm, A3 numunesinde $\lambda = 700$ nm. ve $\lambda = 650$ nm, A4 numunesinde $\lambda = 600$ nm. ve $\lambda = 550$ nm, A6 numunesinde $\lambda = 700$ nm. ve $\lambda = 600$ nm. arasındaki artışlar; malzemenin yansıtıcılığının arttığını bunun da literatüre uygun olduğunu gösterirken sadece A5 numunesinde $\lambda = 550$ nm. ve $\lambda = 600$ nm. arasındaki değişimin nedeninin absorpsiyonun da yüksek olmasından kaynaklandığını, sebebinin de yüzey pürüzlülüğü ve üniformalıktan olabileceğini ve kompozit özelliği göstermiş olduğunu düşünmekteyiz.

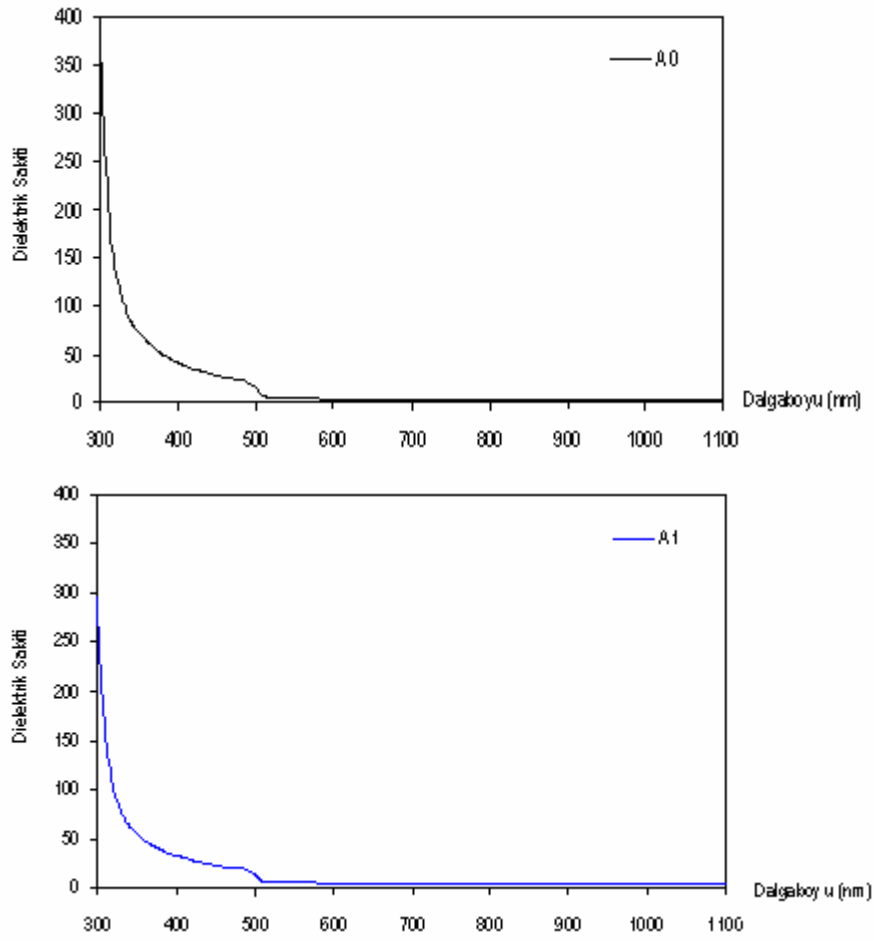
Çizelge 4.7. Numunelerin dalgaboyuna bağlı k lineer absorpsiyon katsayısı değerleri

λ (nm)	A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C	Lineer Absorpsiyon Katsayısı	Tavlama Sıcaklığı ± 2 °C
200														
250	90,03		36,01		21,43		7,67		21,76		18,21		25,75	
300	62,62		23,09		11,86		7,17		14,06		17,91		16,67	
350	41,64		14,84		7,44		5,56		6,61		9,78		8,34	
400	37,14		13,29		6,72		5,25		5,98		8,96		7,60	
450	34,08		12,36		6,30		5,03		5,60		8,51		7,19	
500	25,96		9,77		5,21		4,12		4,57		7,16		5,79	
550	10,35		4,20		2,55		1,65		1,97		3,47		2,34	
600	9,72		3,63		2,44		1,42		1,98		3,45		1,97	
650	9,01	Ham	3,32	200	2,41	250	1,36	300	2,16	350	3,67	400	1,85	450
700	8,32	1,00	3,26	4,20	2,23	2,50	1,43	4,90	2,40	3,80	3,97	2,90	1,94	3,40
750	7,93		3,42		2,29		1,58		2,68		4,32		2,19	
800	8,00		3,75		2,43		1,80		2,96		4,69		2,54	
850	8,43		4,18		2,60		2,04		3,22		5,02		2,93	
900	9,19		4,67		2,77		2,30		3,45		5,31		3,33	
950	10,17		5,16		2,93		2,53		3,64		5,57		3,70	
1000	11,32		5,65		3,10		2,75		3,80		5,77		4,06	
1050	12,54		6,11		3,25		2,95		3,94		5,94		4,38	
1100	13,83		6,55		3,41		3,14		4,06		6,10		4,67	

4.2.1.6. CdS filmlerinin dielektrik sabitleri

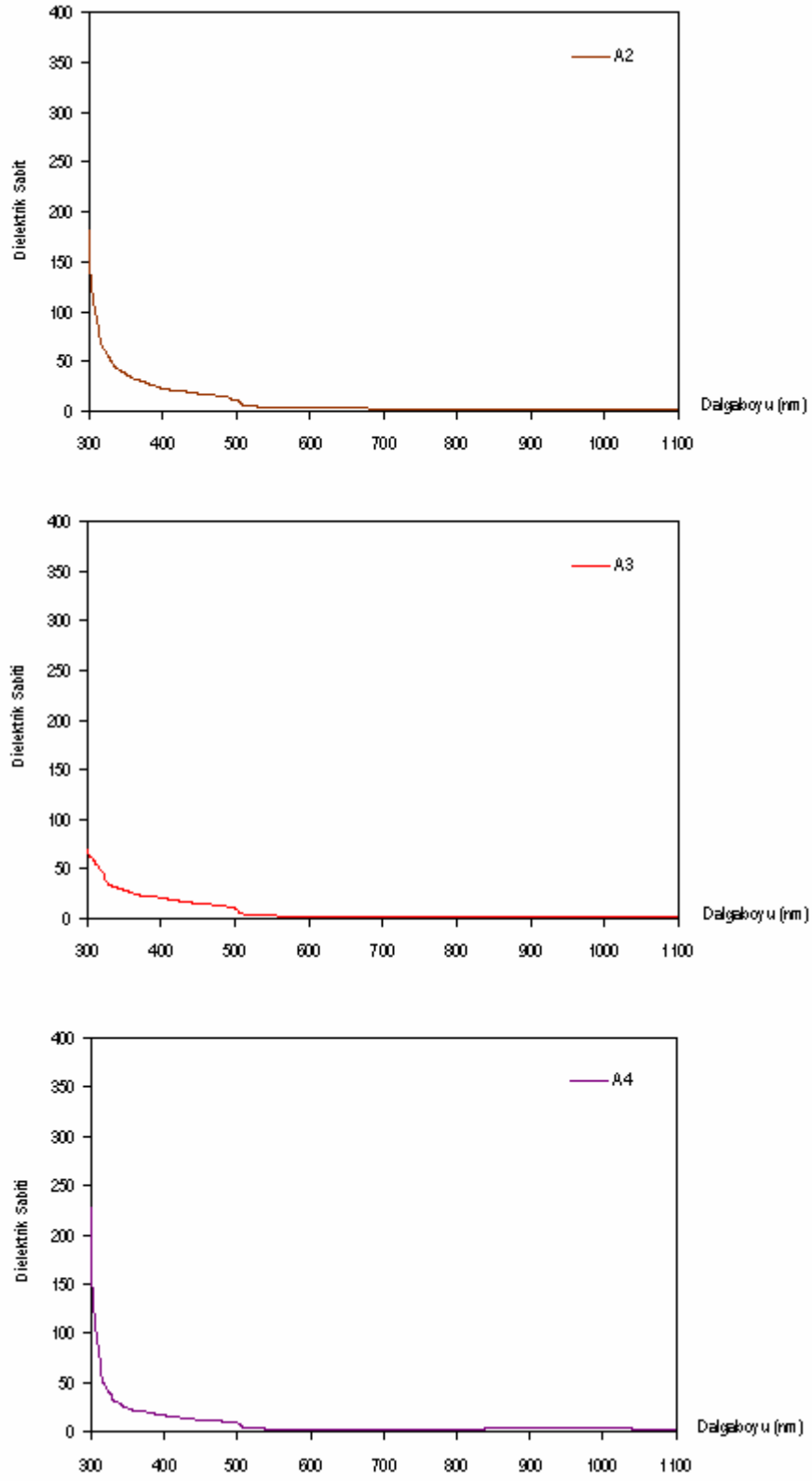
Elde edilen numunelerin dielektrik sabitlerinin dalgaboyuna göre değişim grafikleri Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’de toplu gösterimleri ise Şekil 4.35.’de ve grafiklere ait veriler Çizelge 4.8.’de verilmiştir.

Dielektrik sabiti malzemenin kırılma indisine bağlı bir niceliktir. Bu nedenle numunelerde ilgili dalga boylarında gözlenen n kırılma indisinin değerlerinin arttığı noktalarda dielektrik sabiti değerlerinin aynı şekilde artması beklenen bir sonuçtur. Numunelere ait kırılma indisi ve dielektrik sabitlerinin karşılaştırması Çizelge 4.9.’da verilmiştir.

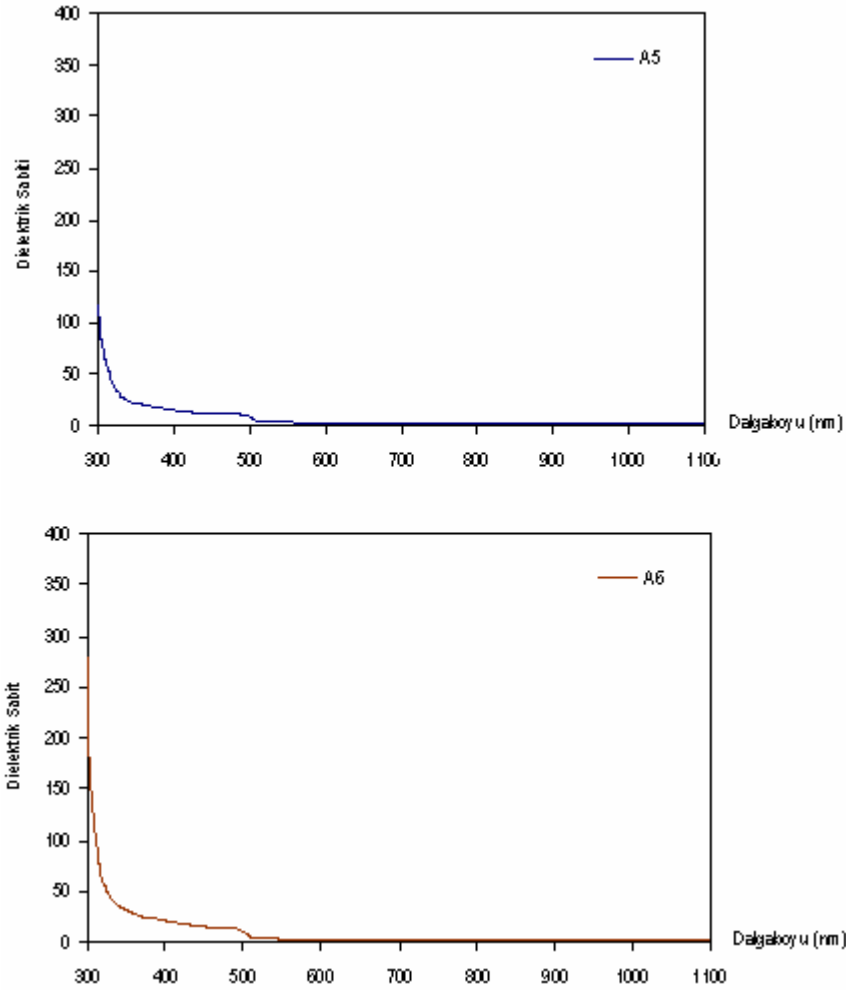


Şekil 4.32. A0 ve A1 numunelerine ait ϵ dielektrik sabiti değerleri

Bütün numunelerin aynı konsantrasyona sahip başlangıç çözeltilerden, aynı püskürtme parametreleri ile aynı taban sıcaklıklarında büyütülmesine rağmen farklı kalınlıklara sahip olmaları ve farklı tavlama sıcaklıkları nedeni ile uniformluk ve pürüzlülük gibi yüzeysel özelliklerinin farklı olması sonucunda farklı kırıcılık, doğal olarak da farklı dielektrik sabitlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Kırılma indislerini 1,75 ile 1,96 arasında değişen numunelerin yansıtma değerleri de buna bağlı olarak %7,42-%10,48 arasında değişmekte olup bu sonuç numunelerin yansıtma özelliğinden çok geçirgen karakterli olduğunu doğrulamaktadır. Kırılma indislerinin düşük olması dielektrik sabitlerinin de düşük olması gerektiğini desteklemektedir.



Şekil 4.33. A2, A3 ve A4 numunelerine ait ϵ dielektrik sabiti değerleri

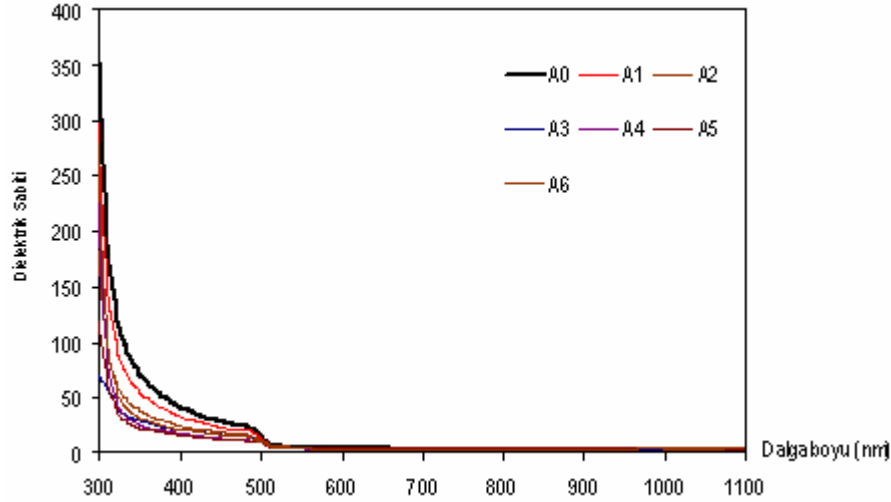


Şekil 4.34. A5 ve A6 numunelerine ait ϵ dielektrik sabiti değerleri

Filmlere ait grafikler incelendiğinde bütün numunelerde, ϵ dielektrik sabitlerinin $\lambda = \sim 500$ nm. aralıklarından daha kısa dalga boylarında yüksek değerlere sahip olduğu ve bu bölgelerdeki dielektrik sabiti değerlerinin sırasıyla $\epsilon_{A0}=14.88$, $\epsilon_{A1}=13.65$, $\epsilon_{A2}=11.77$, $\epsilon_{A3}=10.61$, $\epsilon_{A4}=8.86$, $\epsilon_{A5}=8,76$ ve $\epsilon_{A6}=10,29$ olarak bulunması termal tavlama sonucunda ilk geçiş bölgesi değerinin belirgin bir şekilde değiştiği belirlenmiştir.

Minimum seviyeye ise A0 numunesinde $\lambda=850$ nm.'de, A1 numunesinde $\lambda=750$ nm.'de, A2 numunesinde $\lambda=800$ nm.'de, A3 numunesinde $\lambda=700$ nm.'de, A4 numunesinde $\lambda=600$ nm.'de, A5 numunesinde $\lambda=650$ nm.'de ve A6 numunesinde

$\lambda=700$ nm.'de ulaştığı ve $\epsilon_{A0}=3.15$, $\epsilon_{A1}=3.43$, $\epsilon_{A2}=3.69$, $\epsilon_{A3}=3.16$, $\epsilon_{A4}=3.63$, $\epsilon_{A5}=3.83$ ve $\epsilon_{A6}=3.06$ değerlerini alarak yavaş bir yükselişe geçtiği gözlenmiştir.



Şekil 4.35. Bütün numunelere ait ϵ dielektrik sabiti değerleri

Çizelge 4.8. Numunelerin dalgaboyuna bağlı ϵ dielektrik sabiti değerleri

λ (nm)	A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)	Dielektrik Sabiti (ϵ)	Tavlama Sıcaklığı ± 2 oC Film Kalınlığı x (μ m)
200														
250														
300	400,36		297,44		181,71		68,91		228,27		117,09		278,80	
350	71,70		54,55		37,75		28,90		24,92		22,20		31,19	
400	40,86		32,66		24,24		20,71		17,03		15,67		20,85	
450	27,47		23,12		17,91		16,08		13,05		12,35		15,88	
500	14,88		13,65		11,77		10,61		8,86		8,76		10,29	
550	4,90		4,96		5,05		4,06		3,85		4,15		4,02	
600	4,36		4,15		4,54		3,46		3,63		3,89		3,38	
650	3,89	Ham	3,69	200	4,23	250	3,21	300	3,65	350	3,83	400	3,11	
700	3,51	1,00	3,47	4,20	3,80	2,50	3,16	4,90	3,73	3,80	3,85	2,90	3,06	
750	3,27		3,43		3,69		3,23		3,84		3,89		3,15	
800	3,16		3,48		3,69		3,25		3,93		3,93		3,31	
850	3,15		3,59		3,70		3,50		4,00		3,96		3,48	
900	3,20		3,72		3,71		3,63		4,03		3,95		3,64	
950	3,29		3,84		3,72		3,74		4,03		3,93		3,78	
1000	3,41		3,94		3,73		3,82		4,01		3,89		3,88	
1050	3,53		4,03		3,73		3,88		3,97		3,84		3,96	
1100	3,65		4,10		3,73		3,92		3,92		3,79		4,01	

Çizelge 4.9. Numunelerin dalgaboyuna bağlı ϵ dielektrik sabiti ve n kırılma indisleri değerlerinin karşılaştırılması

λ nm	A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
	n	ϵ	n	ϵ	n	ϵ	n	ϵ	n	ϵ	n	ϵ	n	ϵ
500	3,86	14,88	3,69	13,65	3,43	11,77	3,26	10,61	2,98	8,86	2,96	8,76	3,21	10,29
600									1,91	3,64				
650											1,96	3,83		
700							1,78	3,16					1,75	3,06
750			1,85	3,43										
800					1,92	3,69								
850	1,77	3,15												

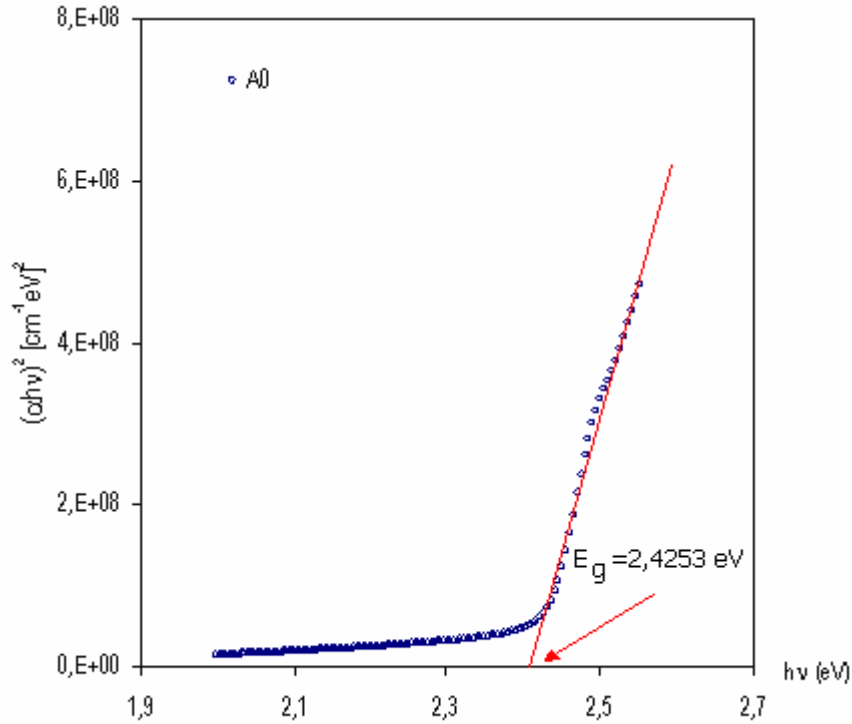
4.2.1.7. CdS filmlerinin yasak enerji aralıkları

Elde edilen numunelerin yasak enerji aralıklarının belirlenebilmesi için optik metot kullanılmış ve Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9.'da verilen geçirgenlik spektrumlarından yararlanılarak çizilen $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafikleri Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 'da, toplu gösterimleri ise Şekil 4.41.'de ve grafiklere ait veriler ise Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Bu grafiklerin lineer kısımlarının doğrultusunun hv eksenini $(\alpha hv)^2=0$ 'da kestiği noktanın enerji değerleri filmlerin yasak enerji aralığı olarak belirlenmiştir.

Elde edilen filmlerin $\alpha hv \sim hv$ 'ye göre değişim grafikleri çizilerek bu grafiklerin eğiminden her bir numune için Eşitlik 4.23 'den yararlanılarak Urbach parametreleri (E_0) hesaplanmıştır (Çizelge 4.10).

Termal tavlama işlemine tabi tutulmayan A0 numunesinde absorpsiyon katsayısındaki hızlı azalma yaklaşık 2,39 eV seviyesine kadar olmaktadır. Diğer numunelerle aynı taban sıcaklığında büyütülmesine ve tavlama yapılmadığı için diğer numunelere göre daha ince olmasına rağmen, üniformluk değerinin %91,90

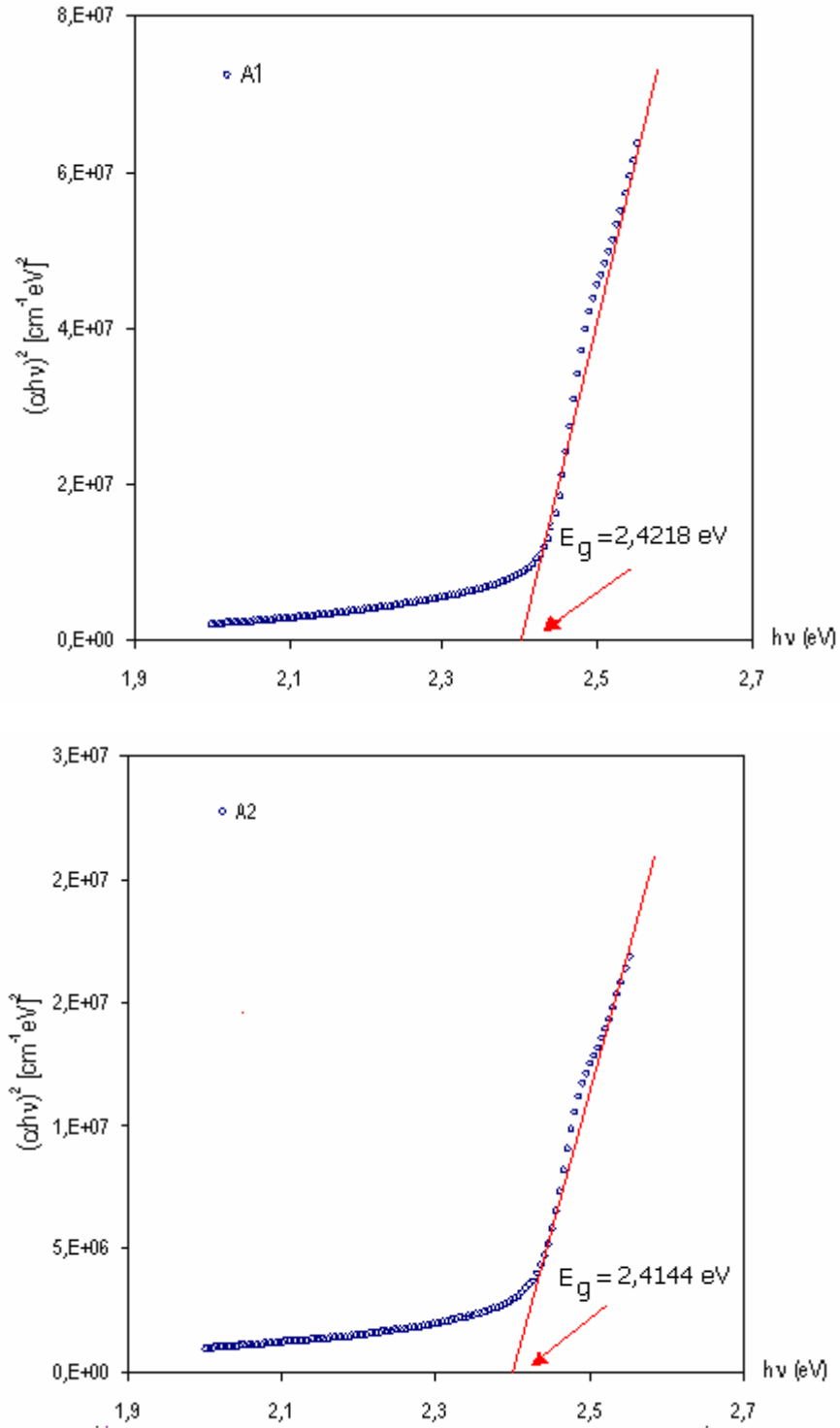
pürüzlülük değerinin ise 19.74 seviyesinde olması nedeniyle kristalleşmeye bağlı olarak tanecik boyutunun büyük olması (163,26 Å) sonucunda optik band aralığının arttığı düşünülmektedir. Temel absorpsiyonun ise biraz daha yüksek enerji seviyesinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu numune için yasak enerji aralığı 2,43 eV ve $E_0=90$ meV olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10).



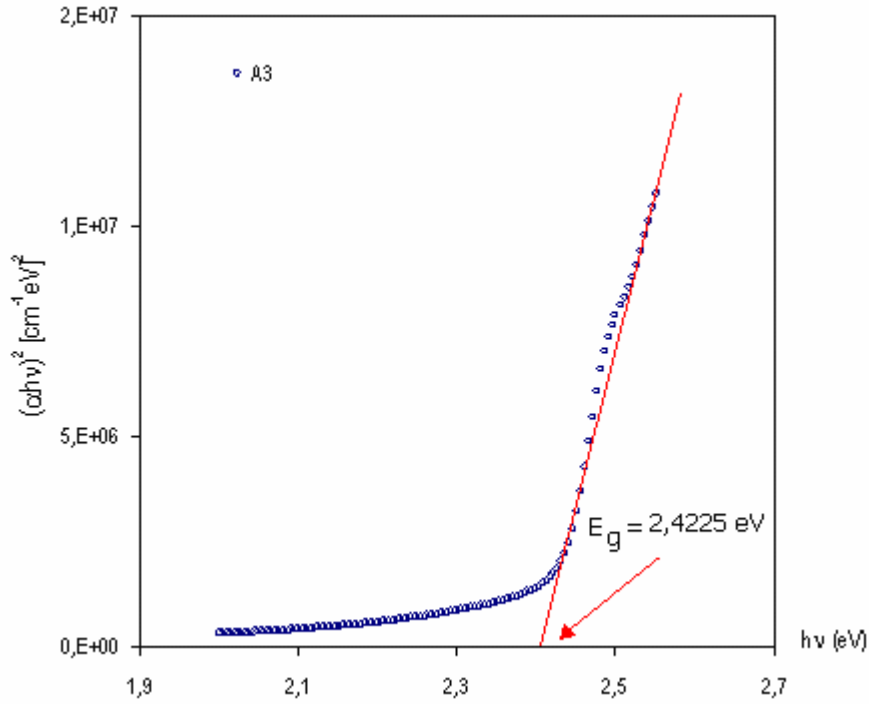
Şekil 4.36. A0 numunesine ait $(\alpha h\nu)^2$ [cm⁻¹eV]² ~hv (eV) grafiği

Termal tavlama işlemine tabi tutulan A1, A2 ve A3 numunelerinde absorpsiyon katsayısındaki hızlı azalma sırasıyla yaklaşık olarak 2.40 eV, 2.39 eV ve 2.40 eV seviyelerine kadar olmaktadır. Kalınlıklarının sırasıyla 4.20 µm, 2.50 µm, 4.90 µm ve üniformaluluklarının da sırasıyla %71.43, %80.00 ve %81.63 olması nedeniyle numunelerde termal tavlama sıcaklığının artış yönüne bağlı olarak tanecik boyutları sırasıyla 125.59 Å, 116.22 Å ve 116.22 Å, pürüzlülük değerleri tavlama sıcaklığının artışına bağlı olarak 25.13, 15.49 ve 10.34 olarak hesaplanmıştır. Temel absorpsiyonun ise biraz daha yüksek enerji seviyesinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu numuneler için

yasak enerji aralıkları sırası ile 2.42 eV, 2.41 eV ve 2.42 eV, Urbach parametreleri de sırasıyla 244 meV, 187 meV ve 91 meV olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

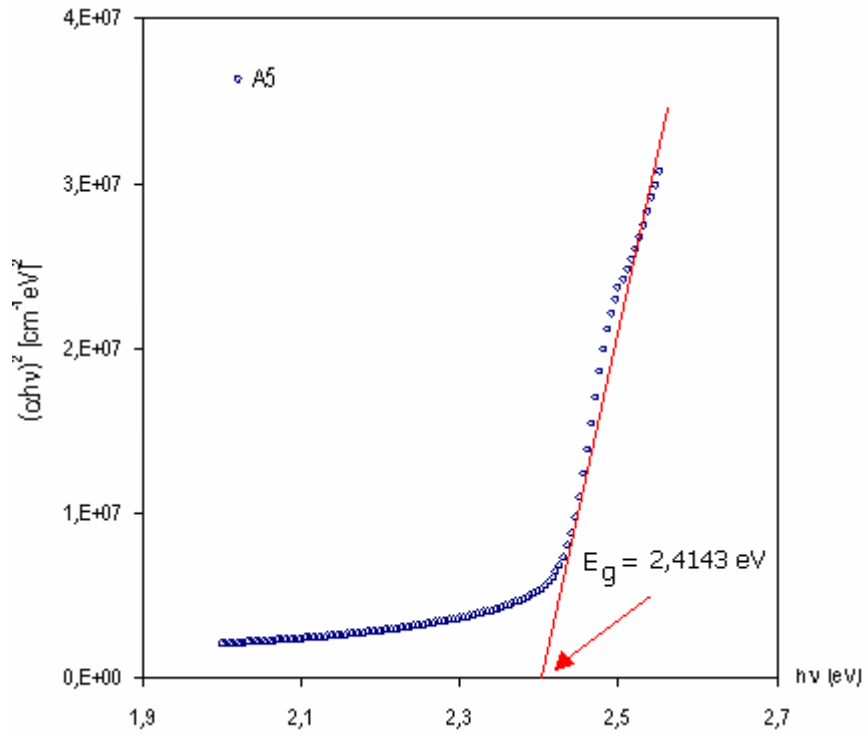
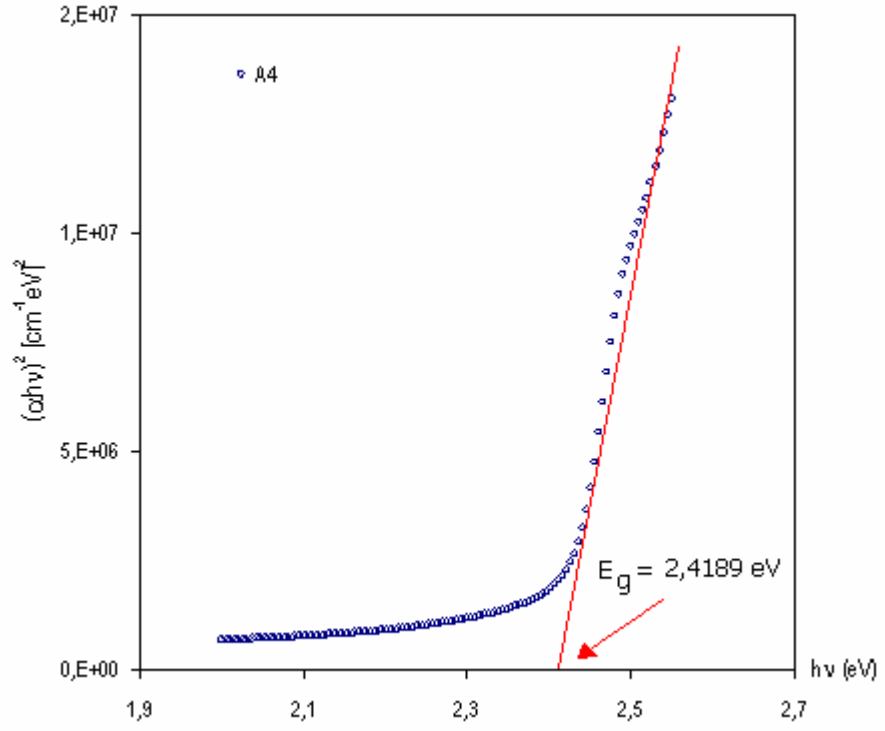


Şekil 4.37. A1 ve A2 numunelerine ait $(\alpha hv)^2$ $[\text{cm}^{-1}\text{eV}]^2 \sim hv$ (eV) grafikleri

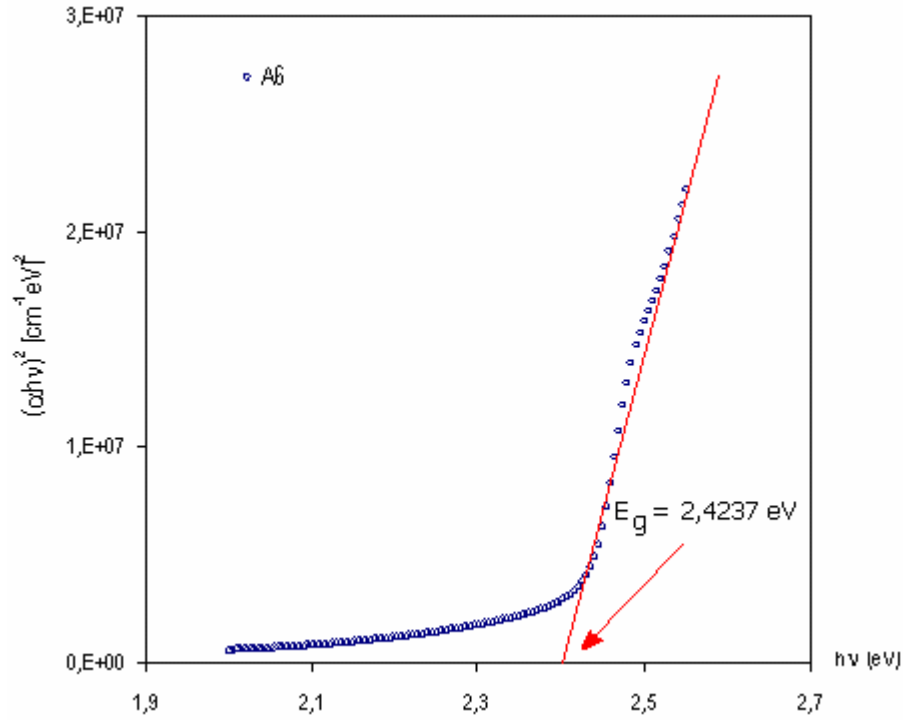


Şekil 4.38. A3 numunesine ait $(\alpha hv)^2$ [$\text{cm}^{-1}\text{eV}^2$] $\sim h\nu$ (eV) grafiği

Yine tavlama işlemine tabi tutulan A4, A5 ve A6 numunelerinde absorpsiyon katsayısındaki hızlı azalma sırasıyla yaklaşık olarak 2.40 eV, 2.39 eV ve 2.40 eV seviyelerine kadar olmaktadır. Diğer numunelerle aynı taban sıcaklığında büyütölmelerine karşın, kalınlıklarının sırasıyla 3.80 μm , 2.40 μm , 3.40 μm ve üniformluluklarının da sırasıyla %78.95, %83.33 ve %62.50 olması nedeniyle kristalleşmeye bağılı olarak tanecik boyutlarının azalarak sırasıyla 135.59 Å, 125.33 Å ve 135.59 Å olması ve pürüzlölük değerlerinin tavlama sıcaklığının artışına bağılı olarak 12.07, 27.43 ve 45.00 olmasından dolayı optik band aralıklarının uygun seviyede olduğu düşünölmektedir. Temel absorpsiyonun ise biraz daha yüksek enerji seviyesinde geręekleştigi görölmüşür. Bu numuneler için yasak enerji aralıkları sırası ile 2.42 eV, 2.41 eV ve 2.42 eV, Urbach parametreleri de sırasıyla 29 meV, 164 meV ve 85 meV olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.39. A4 ve A5 numunelerine ait $(\alpha hv)^2$ [cm⁻¹eV]² ~ $h\nu$ (eV) grafikleri



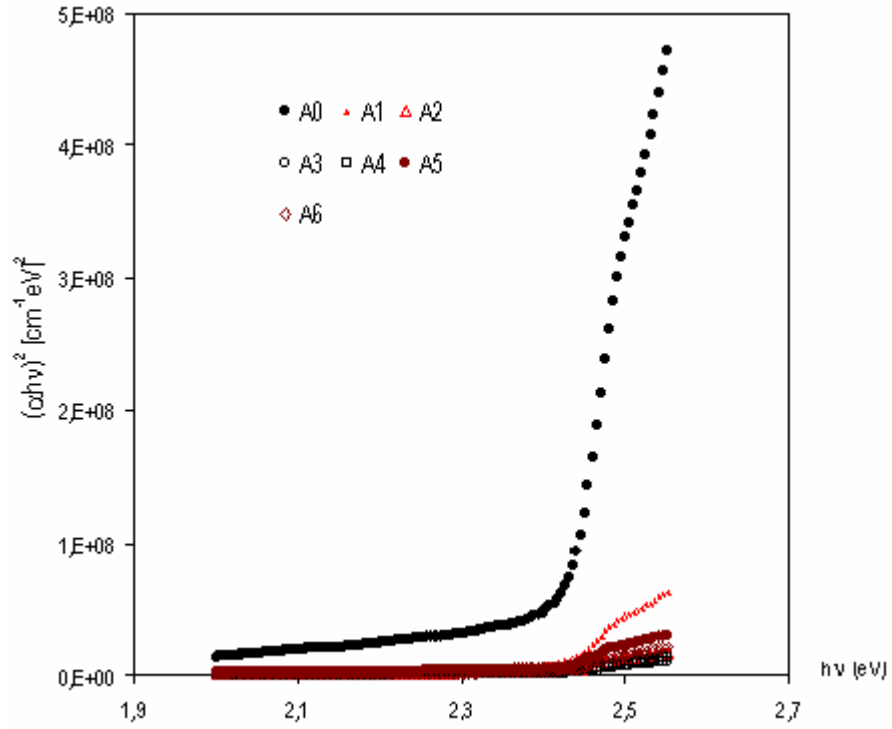
Şekil 4.40. A6 numunesine ait $(\alpha hv)^2$ [$\text{cm}^{-1}\text{eV}^2$] \sim hv (eV) grafiği

Hazırlanan numuneler II-VI bileşiklerinden olan CdS filmleri olup; doğrudan band geçişli, polikristal yapılı ve oda sıcaklığındaki yasak enerji aralıkları 2,42-2,45 eV civarında olan yarıiletkenlerdir. Hazırlanan çözeltilerin molarite değerleri ve üretim konusundaki parametrelerin uygun seçildiği yapı düzensizliğinin yavaşça ortaya çıktığı ilk geçiş bölgelerinde güçlü absorpsiyonun gözlenmesiyle ortaya çıkmıştır.

Filmlerin tavlama sürelerinin yüksek olması optiksel iletimi arttırmıştır. Filmlerin fiziksel özelliklerine etkisi dikkate alındığında taban sıcaklığının uygun olduğu ve bunun sonucunda tanecik boyutunun iyi bir kristalleşmeye olanak sağladığı gözlenmiştir.

Filmlerin kalınlıkları optik enerji aralığını azaltacak yönde belirlenmiştir. Filmlerin pürüzlülük değerleri için taban yüzeyinin durumu çökelmeyi etkiler. Bu filmlerde absorpsiyon sınırında yüksek geçirgenlik 500 nm.'nin üzerinde gözlenir. Yasak enerji aralığının azalması kristalleşmenin doğal bir sonucu olabilir. Düz

absorbsiyon kenarlarındaki büyük kristalleşme yüzeydeki pürüzlülüğe katkıda bulunur. Bu arada kalın filmlerde yüksek dalgaboylu absorpsiyon band aralığının azalmasına neden olmaktadır (Al Kuhaimi, 1998).



Şekil 4.41. Bütün numunelere ait $(\alpha hv)^2 [cm^{-1}eV]^2 \sim hv (eV)$ grafikleri

Çizelge 4.10. Numunelerin ait $(\alpha hv)^2 [cm^{-1}eV]^2 \sim hv (eV)$ grafiklerinden yararlanılarak elde edilen E_g yasak enerji aralıkları ve E_0 değerleri

Numune	E_{g1} (eV)	E_{g2} (eV)	E_0 (meV)
A0	2,43	2,52	90
A1	2,42	2,67	244
A2	2,41	2,6	187
A3	2,42	2,51	91
A4	2,42	2,45	29
A5	2,41	2,58	164
A6	2,42	2,51	85

4.3. Filmlerin Elektriksel Özellikleri

Yarıiletken filmlerin kalitesi ve uygulamada kullanıldıkları cihazların verimliliğinin yüksek olması öz direnç, mobilite gibi elektriksel özelliklerine bağlıdır.

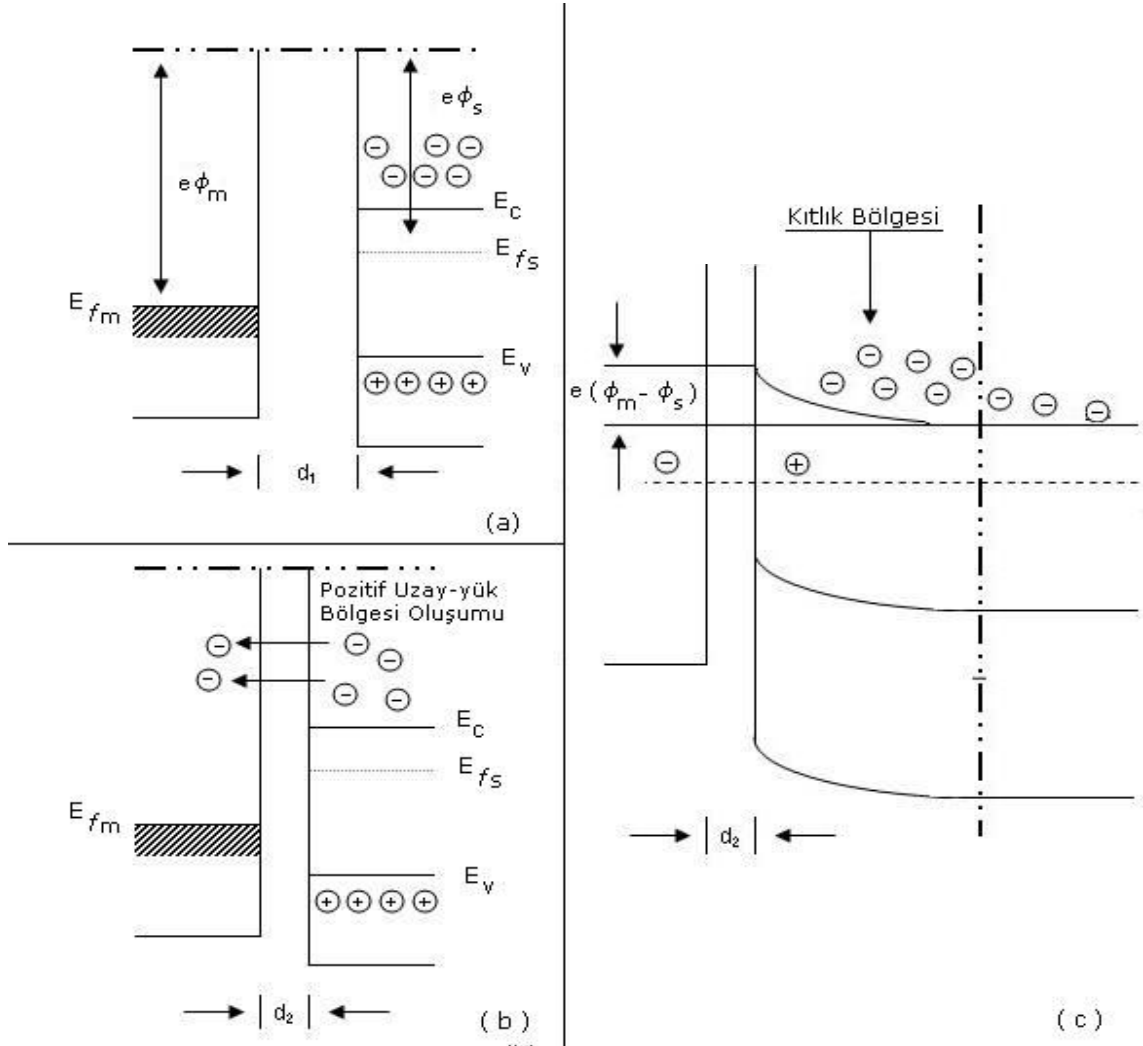
4.3.1. Filmlerin iletkenlik tipi

Yarıiletkenlerin iletkenlik tiplerinin termoelektrik yapısını belirlemede kullanılan birçok sistem bulunmaktadır. *Sıcak uç* yöntemi bunlardan bir tanesi olup, bu yöntemde soğuk metal taban üzerine yerleştirilmiş numune yüzeyi üzerine küçük bir alanda sıcaklık uygulamaktır (*Qasravi, et al., 2000*). Numune üzerinde oluşturulan iki metal kontak birisi üzerine oldukça yakın mesafeden elektrikli havya yardımıyla sıcaklık gönderilir ve iki metal kontak arasına bağlanmış bir voltmetre yardımıyla mV seviyesinde değerler alınır. Alınan değerlerin pozitif çıkması yarıiletkenin n-tipinde, negatif çıkması ise p-tipinde olduğunu gösterir (*Seeger, 1973*).

Yarıiletken bir malzemenin elektriksel özelliklerini öğrenebilmek için hazırlanan metal kontaklar farklı iş fonksiyonuna sahip Au, Ag, Cu ve In gibi materyallerden elde edilmektedir. “ $e\phi$ ” iş fonksiyonu, materyalden bir elektron koparabilmek için harcanan enerji miktarıdır (*Sze, 1981*). Bu kontaklar, yarıiletkenin $e\phi_s$ iş fonksiyonunun metalin $e\phi_m$ iş fonksiyonundan büyük veya küçük olmasına göre oluşur. Şekil 4.42.’de; $e\phi_m > e\phi_s$ durumunda metal-yarıiletken^{n-tipi} kontağının şematik gösterimi verilmiştir.

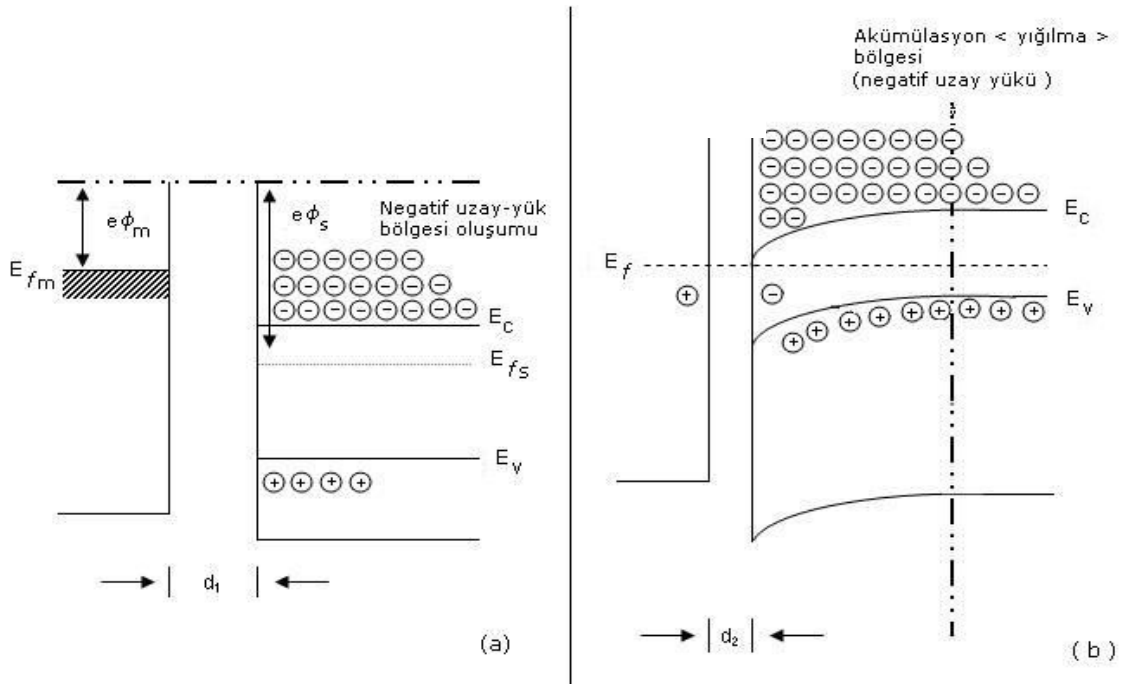
$e\phi_m > e\phi_s$ olduğundan metalin E_{fm} enerji seviyesi yarıiletkenin E_{fs} fermi enerji seviyesinden $e(\phi_m - \phi_s)$ kadar aşağıdadır (Şekil 4.42.a). Bunun nedeni iki materyal arasındaki d_1 uzaklığının elektronların geçmesine izin vermeyecek kadar büyük olmasıdır. Eğer bu uzaklık azaltılacak olursa ($d_2 < d_1$) elektronlar metale geçebileceklerdir (Şekil 4.42.b). Böylelikle yarıiletkenin Fermi enerjisi azalarak metalin Fermi enerjisi ile aynı seviyeye gelecektir. Kontakın potansiyel farkından dolayı yarıiletkende elektrik alanın değeri artacaktır. Bunun sonucunda da yarıiletkenin iç

kısımlarında, iletim bandının alt sınırında durgun olan bir elektronun potansiyel enerjisi yüzeydeki bir elektronun potansiyel enerjisinden $e(\phi_m - \phi_s)$ değeri kadar farklı olacak ve bu nedenle yarıiletkenin yüzeyindeki iletim ve valans bandı sınırları Fermi enerji seviyesine göre kavis çizeceklerdir (Şekil 4.42.c). Bu tip kontaklarda materyallerin Fermi enerji seviyelerinin çakışması durumunda yarıiletkenin arayüzeyi yakınında net taşıyıcı yoğunluğu iç kısımlara göre azalır. Bu azalmanın görüldüğü bölge Uzay-yük bölgesi olarak adlandırılır ve metal-yarıiletken^{n-tipi} arayüzeyleri ise sırasıyla negatif ve pozitif olarak yüklenir (Bube, 1970).



Şekil. 4.42. Metal-Yarıiletken^{n-tipi} kontağının enerji-band diyagramı ($e\phi_m - e\phi_s$) (Irmak, 2006).

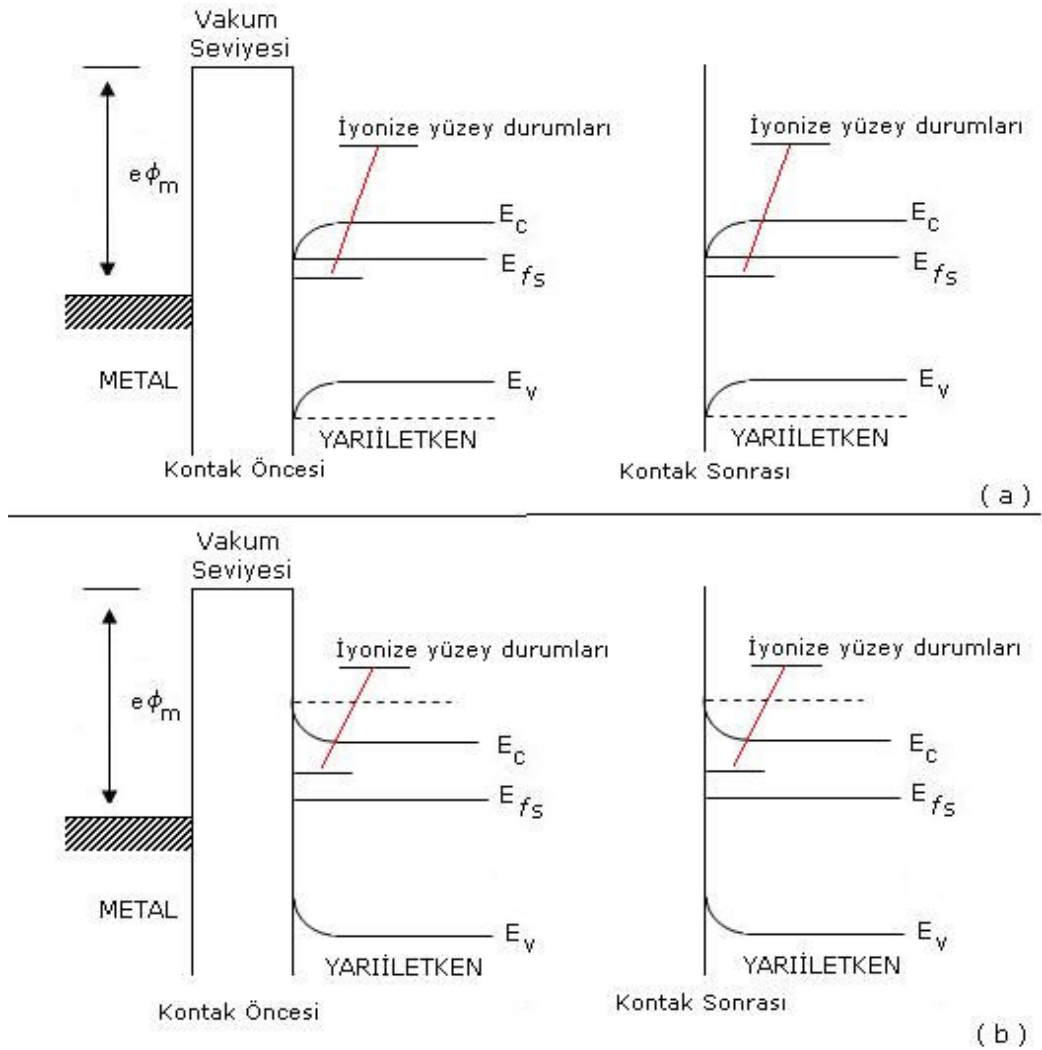
Metal-yarıiletken^{n-tipi} ohmik kontak, yarıiletkenin gövde ya da yayma direncine göre ihmal edilebilir bir kontak direncine sahip bir metal-yarıiletken kontağı olarak tanımlanır (Sze, 1981)



Şekil. 4.43 Metal-Yarıiletken^{n-tipi} ohmik kontağının enerji-band diyagramı ($e\phi_m < e\phi_s$). (Irmak, 2006).

Bu tür kontaklar, yarıiletkenin taşıyıcı tipine göre oluşturulmakta olup metal-yarıiletken^{n-tipi} 'de belirlenmiş ise yarıiletkenin $e\phi_s$ iş fonksiyonu metalin $e\phi_m$ iş fonksiyonundan büyüktür. Eğer metal-yarıiletken^{p-tipi} 'de belirlenmiş ise yarıiletkenin $e\phi_s$ iş fonksiyonu metalin $e\phi_m$ iş fonksiyonundan küçüktür. Şekil 4.43.a 'da görüldüğü gibi metalin $e\phi_m$ iş fonksiyonu yarıiletkenin $e\phi_s$ iş fonksiyonundan küçüktür. Metal ve yarıiletken arasındaki d_1 mesafesi büyük olduğundan elektronlar geçiş yapamazlar ve akım oluşmaz. Ancak metal ve yarıiletken arasındaki mesafe azaltılacak olursa ($d_2 < d_1$) elektron akışı oluşur ve yarıiletken tarafında elektron yoğunluğunun büyük olduğu yığılma "akümülayon" bölgesi oluşur (Şekil 4.43.b). Metalde ise elektronların bıraktığı boşluklar nedeniyle pozitif yüklerin sayısı artar. Yığılma bölgesi bünyesindeki elektronlarla yarıiletkenin ihtiyaç duyduğu yük miktarı yarıiletkene verilir. Ohmik

kontakt, serbest taşıyıcılara engel oluşturmaz ve kontağı geçen taşıyıcılar uygulanan voltajın büyük bölümünde Ohm Kanunu'na uyarlar (Bube, 1970).

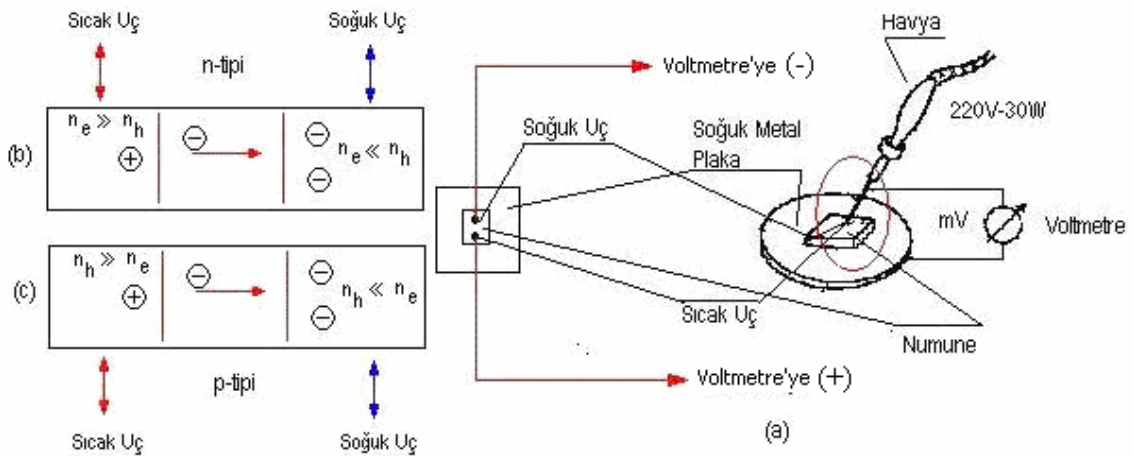


Şekil. 4.44. Yüzey durumlarının metal-yarıiletken^{n-tipi} kontağındaki enerji-band yapısına etkileri (a) Donör tipi yüzey durumları (b) akseptör tipi yüzey durumları (Irmak, 2006).

Metal-yarıiletken-metal kontakları düzlemsel olarak oluşturulurlar ve sahip oldukları lokalize durumlar, yüzeye yakın bölgelerde yarıiletkenin elektriksel iletkenliğini etkilemektedirler. Malzemenin yüzeyindeki yabancı atomlar veya oksit tabakası lokalize durumlarda taşıyıcı artışına neden olur. Yüzey durumları olarak bilinen bu oluşumda, yüzey durumlarının elektron verme ve yakalama kabiliyetleri söz

konusudur. Elektron veren yüzey durumları donör, elektron yakalayan yüzey durumları ise akseptör tipi olarak tanımlanır (*Kao and Hwang, 1979*).

Metal-yarıiletken kontakların enerji-band yapısını etkileyen yüzey durumları, Fermi enerji seviyesine göre uygun yerde bulunuyor ise enerji bandları kontak oluşturulmadan önce kıvrılarak kavislenecektir. Yüzey durumlarının metal-yarıiletken kontağındaki enerji-band yapısına etkisi donör ve akseptör tipi yüzey durumlarına bağlı olarak Şekil 4.44.a ve Şekil 4.44.b'de gösterilmiştir. Metal-yarıiletken kontağı oluşurken ısıl denge sağlandığı ve materyallerin Fermi enerji seviyeleri çakıştığında yarıiletkenin enerji bandları daha fazla kıvrılarak kavislenecektir. Bu kıvrılma ve kavislenmenin nedeni metalden yüzey durumlarına gelen elektronlardır. Böylelikle kontak potansiyelinin neden olduğu elektrik alan, uzay yüklerinden daha çok yüzey durumlarında son bulur. Bu durum, yüzey durum yoğunluğunun yeterince büyük olması koşulu ile metal ve yarıiletken arasındaki uzaklığın belirli bir bölümünde etkin olmaktadır. Bu sonuç yarıiletken yüzeyin, yarıiletkenin dışa yakın yüzeysel alanlarıyla iç kısımlarını perdeleyen bir film gibi davrandığını göstermektedir (*Many, et al., 1971*).



Şekil. 4.45. (a) Sıcak uç yöntemi deney seti (b) n-tipi iletim mekanizması (c) p-tipi iletim mekanizması (*Seeger, 1973*)

Yapılan çalışmada, kurulan deney setinde (Şekil 4.45) metal kontağı ısıtmak amacı ile 220V-30W elektrikli havya ve CEM DT-330B avometre kullanılmıştır.

Numuneler üzerinde elektriksel metal kontaklar gümüş pasta (silver paste) ile ~ 1 mm boyutlarında ve aralarında ~ 2 mm olacak şekilde oluşturulmuştur. Gözlem 10 dak. süre ile yapılmış ve multimetrenin voltmetre (mV) bölümünde okunan değerlerin sürekli pozitif çıkması nedeni ile hazırlanan CdS filmlerinin literatüre uygun olarak n-tipinde olduğu belirlenmiştir.

Bunun nedeni ısıtılan uç tarafındaki elektron sayısının artması sonucunda artan elektron yoğunluğunun soğuk uca doğru akmasıdır. Böylece voltmetrenin polaritesi değişmeyecek ve voltmetreden sürekli pozitif değerler okunacaktır.

4.3.2. CdS filmlerin özdirenç ve iletkenlikleri

Yarıiletken malzemelerin elektriksel özdirenç ve iletkenliklerinin ölçülmesi malzemelerin uygulama alanındaki elektriksel özelliklerinin bilinmesi için gereklidir. Bu nedenle bu özelliklerin ölçülmesi genel olarak; *İki Uç Tekniği*, *Van Der Pauw Tekniği*, *Dört Nokta Uç Tekniği* ile gerçekleştirilmektedir. Yüksek özdirence sahip malzemeler için en uygun teknik *İki Uç Tekniği* olup iki metal kontağa sahip yarıiletken malzemenin ampermetre ve güç kaynağından oluşan basit bir elektrik devresi ile kontaklar arasına uygulanan voltaja karşılık akım değerlerinin belirlenmesine dayanır. Elde edilen I~V değişim grafiğinin $\Delta V/\Delta I$ eğimi değerinin yardımıyla,

$$\rho = \frac{\Delta V}{\Delta I} \cdot \frac{x \cdot l}{L} \quad (4.24)$$

denklemini kullanılarak yarıiletken malzemenin ρ özdirenci hesaplanabilmektedir. Burada ΔV voltaj, ΔI akım değişimlerini, x malzemenin kalınlığını, l her bir kontakın uzunluğunu, $x \cdot l$ malzemenin kesit alanını ve L kontaklar arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Bu tekniğin kullanımı sırasında öncelikle “metal-yarıiletken-metal” yapısının ve I~V karakteristiklerinin oluşturulması gereklidir. Elde edilen karakteristiklerden yararlanarak yarıiletkenin iletim tipinin; *ohmik*, *SCL (space charge limited)*, *Poole-Frenkel* ve *Schottky* özelliklerinden hangisine sahip olduğu hakkında bilgi edinilebilir.

Yarıiletkenin direncinin yanında, kullanılan ohmik kontağın direnci ihmal edilebilecek kadar küçüktür (*Kao and Hwang, 1979*).

Bir yarıiletken üzerine yeterli enerjiye sahip bir fotonun gönderilmesi sonucunda valans bandından iletim bandına, yasak enerji aralığında bulunan boş yerelleşmiş durumlardan iletim bandına veya valans bandından boş yerelleşmiş durumlara elektron geçişleri meydana gelir (*Kao and Hwang, 1979*). Serbest yük taşıyıcılarının bu şekilde uyarılarak iletkenliğe katkıda bulunmasına fotoiletkenlik denmektedir. İletkenlikteki bu artış, gelen ışımının şiddeti ile doğru orantılı olup yasak enerji aralığına, serbest yük taşıyıcılarının ömürlerine ve tuzak yoğunluğuna bağlıdır (*McKelvey, 1966; Seeger, 1973*). Bir malzemenin fotoiletken özelliğine sahip olup olmadığını belirlemek için karanlık ve aydınlık şartlar altında elde edilen I~V karakteristiklerinden yararlanılarak her iki durum için iletkenlikleri belirlenir.

$$\sigma_a = \frac{1}{\rho_a} \quad (4.25)$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\rho_k} \quad (4.26)$$

Burada; ρ_a ve ρ_k sırasıyla malzemelerin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki öz dirençlerini, σ_a ve σ_k ise iletkenliklerini belirtmektedir. Bu değerlerin yardımı ile,

$$\Delta\sigma = \sigma_a - \sigma_k \quad (4.27)$$

yazılabilir. Bu ifade malzemelerin fotoiletkenlik değerini tanımlar. Bu ifadeden yararlanarak yazılan $\Delta\sigma/\sigma_k$ bağıntısı malzemelere ait fotohassasiyet değerlerini belirtir. Malzemeye ait fotohassasiyet değerinin $\Delta\sigma/\sigma_k = 0$ olması ışığa karşı duyarsız olduğunu, $\Delta\sigma/\sigma_k > 0$ olması ışığa karşı duyarlı olduğunu, $\Delta\sigma/\sigma_k < 0$ olması ise ışıktan olumsuz etkilendiğini göstermektedir (*Mathew and Enriquez, 2003; Atay, et al., 2003*).

Taban sıcaklığı ile elektriksel direnç arasında doğrudan ilişki olup taban sıcaklığının yükseltilmesi malzemenin elektriksel özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Materyalin porozitesi, iyi seçilmiş taban sıcaklıklarında ($\sim 300^\circ\text{C}$) düşmekte bu da iyi bir iletim sağlamaktadır (*Lifshitz, et al., 1992; Bilgin, et al. 2005*)

Çözeltilerin püskürtme hızının artırılması filmlerin kalınlığının artmasına neden olur. Bu artış filmlerin fiziksel ve yapısal özelliklerini etkilemektedir. Filmlerin kalınlığının artması elektriksel direnci olumsuz yönde etkiler (*Ashour, 2003; Hankare, et al., 1993*).

CdS filmlerinin elektriksel dirençleri; düşük banyo sıcaklığının (*Zelaya-Angel, et al., 1999*) yanı sıra çöktürme yöntemine (*Lokhande and Mane, 1997; Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001*), üretimlerinde kullanılan çözeltilerdeki Cd konsantrasyonuna bağlıdır. Konsantrasyon artışı, taşıyıcıların yoğunluğunu ve mobilitelerini de artırır (*Omura, et al., 1999; Wenyi, et al., 2005; Mathew and Enriquez, 2003; Metin and Esen, 2003*). Bu tür filmler için ölçülen en iyi direnç değerinin *Toma ve arkadaşları* tarafından 10^6 (Ωcm), *Lokhande ve arkadaşları* tarafından ise 10^5 (Ωcm) mertebesinde olduğu ve oda sıcaklığında karanlık şartlardaki değerinin 400°C 'deki değerinden büyük olduğu bildirilmiştir. Elektriksel direnç, konsantrasyonun yanı sıra tavlama ile de doğrudan ilişkili (*Herrera, et al., 2006; Sasikala, et al., 2000*) olup, tavlama ile elektriksel direnç azalır (*Lokhande, et al., 2000*). Tavlama sonucunda filmlerde yapısal kusurların azalması ile birlikte kristalleşmenin iyi yönde olması XRD desenlerinde çizgilerin birbirlerine yaklaşmasını sağlar (*Hepp, et al., 2002*). Hava ortamında yapılan tavlamalar

sonucunda filmlerde H_2+Cd değişimi gözlenmemiştir (*Zelaya-Angel and Zinoviev, 2001*).

Her ne kadar kimyasal çöktürme yöntemi CdS filmlerinin üretiminde oldukça fazla kullanım alanı olmasına karşın bu yöntemde kaliteli film elde etmek için bazı önemli noktalar vardır. Bunlardan biri; CdS filmlerinin elde edilmesinde kullanılan tiöüre kaynağından gelen amonyak (NH_3) varlığıdır. Amonyak kontrolü oldukça zor uçucu bir maddedir. Bir diğer önemli nokta da filmdeki bütün CdS katmanlarının geçirgen iletici arayüzeylerin porozitesinin veya mevcut kusurların azaltılmasıdır. Bunların gerçekleştirilebilmesi için, çöktürmede ultrasonik püskürtmenin kullanılması veya çöktürme işleminden hemen sonra filmler yaş iken üzerlerine geçirgen ve iletken oksit yüzeylerin temiz olarak serilmesidir ya da her iki yöntemin bir arada kullanılmasıdır. Bu şekilde elde edilen filmlerin sahip olduğu fiziksel özellikler daha yüksek değerli olacaktır (*Archbold, et al., 2007*).

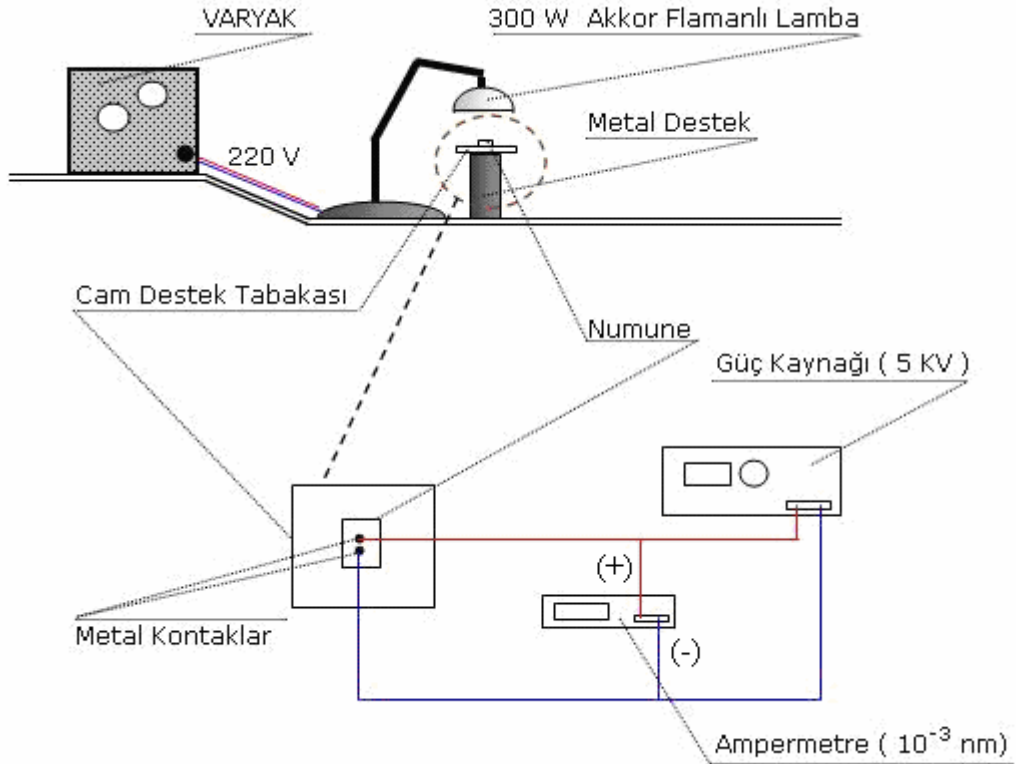
Filmlerin kalınlığa bağlı olarak kazandıkları üniformalık değerlerinin yüksek olması iyi bir iletimi gösterir. İyi bir üniformalık çöktürme yöntemi ile birlikte elde edilen tanecik büyüklüğüne bağlı olarak yüzeysel akımların da iyi olmasını sağlar (*Oliva, et al., 2003; Webb, et al., 1998*).

Elektriksel iletimin gözlenmesinde I~V karakteristikleri önemli bir rol oynar. Özellikle yük taşıyıcılarının oluşumu ve yer değiştirmesi hakkında bilgi edinilebilmektedir (*Çağlar, et al., 2005*).

4.3.2.1. Filmlerin özdirenç ve iletkenlikleri

Kimyasal püskürtme tekniği ile üretilen CdS filmlerinin karanlık ve aydınlık şartlar altında *iki uç metodu* kullanılarak I~V karakteristikleri elde edilmiş, iletkenlik ve özdirençleri incelenerek ışığa karşı duyarlılıkları belirlenmiştir. Kurulan deney seti Şekil 4.46'da verilmiştir. Aydınlık şartlar altındaki çalışmalarda ışığın şiddeti varyak

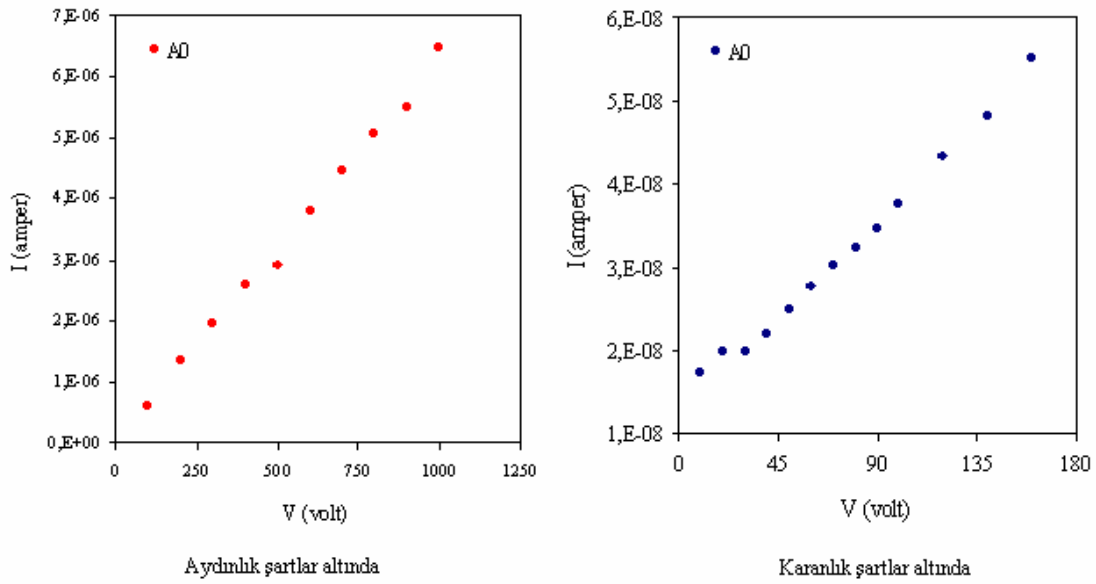
yardımı ile sabitlenmiş ve Solarmeter Mod.776B yardımı ile 25 mW/cm^2 için ölçümler alınmıştır. Karanlık şartlarda yapılan ölçümler 0-160 V aralığında; küçük voltaj değerlerinden büyük voltaj değerlerine doğru, aydınlık şartlar içinse 100-1000 V aralığında; büyük voltajdan küçük voltaja doğru yapılmıştır. Bunun nedeni, Joule etkisini azaltarak ölçüm yapabilmektir. Grafiklerde karakteristiklerin lineer değişim gösterdiği aralıklar dikkate alınarak (ρ) özdirençleri ve (σ) iletkenlikleri ile ($\sigma_a - \sigma_k$) fotoiletkenlikleri ve ($\Delta\sigma/\sigma_k$) fatahassasiyet değeri hesaplanmıştır.



Şekil. 4.46. CdS filmlerinin I~V karakteristiklerini elde etmek için kurulan deney seti (a) Karanlık şartlar için lamba kapalı durumdadır (b) Aydınlık şartlar içinse lamba açık durumdadır.

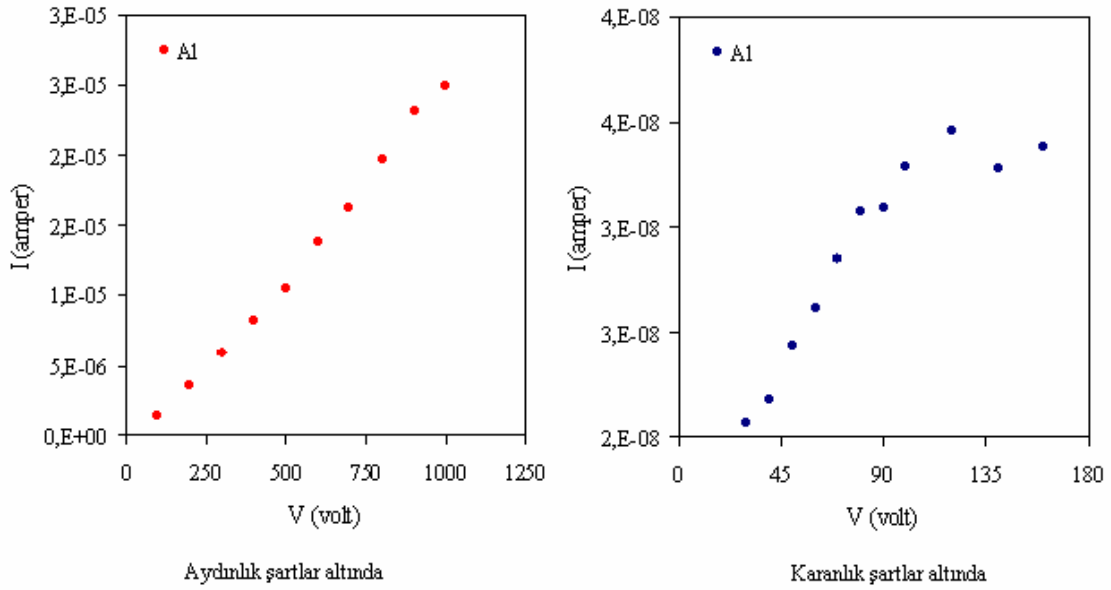
A0 numunesinin karanlık ve aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafikleri Şekil 4.47 'de verilmektedir. Karanlık şartlar altındaki düşük voltajda gözlenen pikin filmin kalınlığına ($x=1,0 \mu\text{m}$) bağlı olarak yüzeysel kusurlardan kaynaklandığını düşünmekteyiz. Tavlanmayan bu numunenin aydınlık ve karanlık şartlar için sırasıyla ρ özdirenç değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12.'de verilmiş

olup, $7,87.10^3 \Omega\text{cm}$ ve $1,84.10^5 \Omega\text{cm}$, σ iletkenlik değerleri ise $1,27.10^{-4} (\Omega\text{cm})^{-1}$ ve $5,44.10^{-6} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'den görüleceği üzere bu numunenin fotoiletkenliği $1,22.10^{-4} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olup ışığa karşı az duyarlı olduğu ($\Delta\sigma / \sigma_k = 22,35$) belirlenmiştir.



Şekil. 4.47. A0 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlardaki I~V karakteristikleri

A1 numunesinin karanlık ve aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafikleri Şekil 4.48'de verilmektedir. Aydınlık şartlar altındaki grafikte karakteristiklerin lineer bir değişim gösterdiği fakat karanlık şartlar altında bir lineerliğin olmadığı gözlenmiştir. $200 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de tavlanan bu numunenin ρ öz direnç değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12.'de verilmiş olup, aydınlık ve karanlık şartlar için sırasıyla $9,23.10^3 \Omega\text{cm}$ ve $1,13.10^6 \Omega\text{cm}$, σ iletkenlik değerleri ise $1,08.10^{-4} (\Omega\text{cm})^{-1}$ ve $8,84.10^{-7} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'den görüleceği üzere bu numunenin fotoiletkenliği $1,07.10^{-4} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olup ışığa karşı duyarlı olduğu ($\Delta\sigma / \sigma_k = 121,17$) belirlenmiştir.

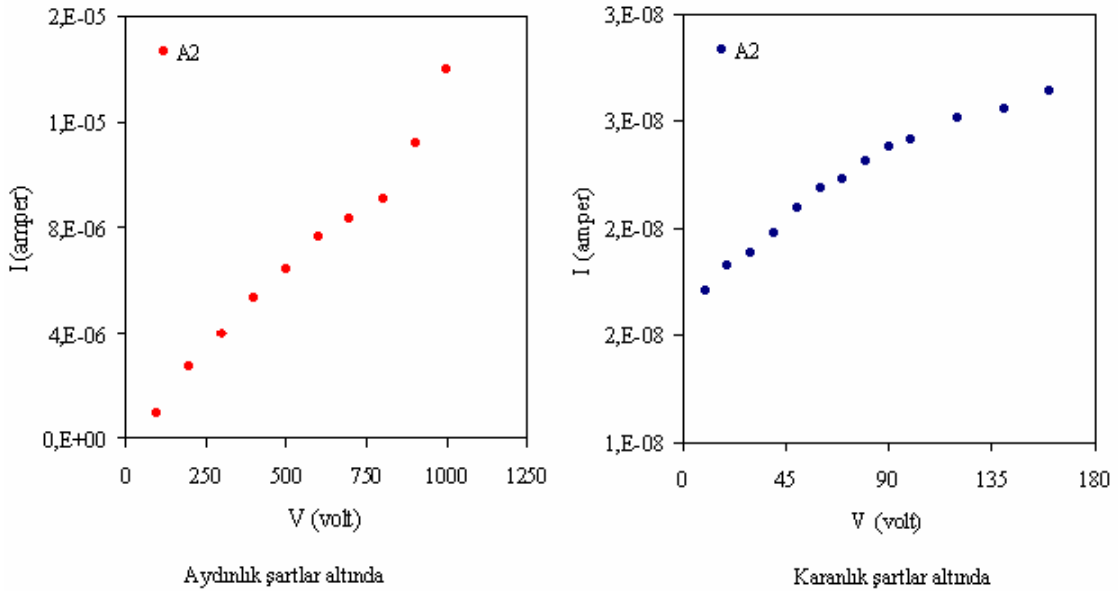


Şekil. 4.48. A1 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri

A2 numunesinin karanlık ve aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafikleri Şekil 4.49.'da verilmektedir. Aydınlık ve karanlık şartlar altında bir lineerliğin olduğu gözlenmiştir. 250 ± 2 °C 'de tavlanan bu numunenin ρ öz direnç değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12.'de verilmiş olup, aydınlık ve karanlık şartlar için sırasıyla $9,17 \cdot 10^3 \Omega \text{cm}$ ve $1,29 \cdot 10^6 \Omega \text{cm}$, σ iletkenlik değerleri ise $1,09 \cdot 10^{-4} (\Omega \text{cm})^{-1}$ ve $7,67 \cdot 10^{-7} (\Omega \text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'den görüleceği üzere bu numunenin fotoiletkenliği $1,08 \cdot 10^{-4} (\Omega \text{cm})^{-1}$ olup ışığa karşı duyarlı olduğu ($\Delta\sigma / \sigma_k = 139,46$) belirlenmiştir.

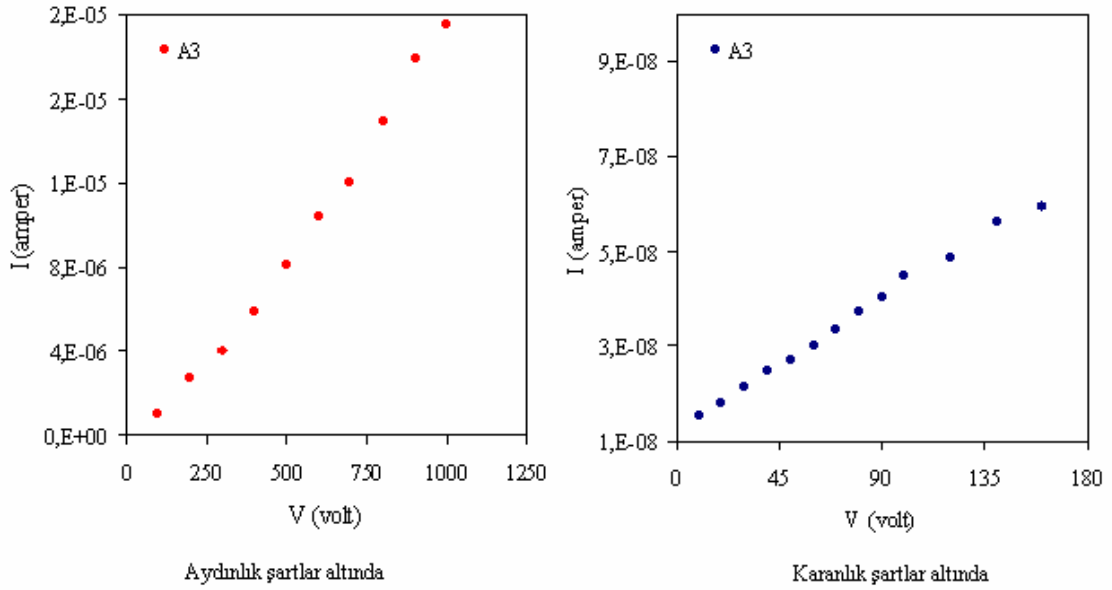
A3 numunesinin karanlık ve aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafikleri Şekil 4.50.'da verilmektedir. Aydınlık şartlar altından lineer olan bu numunenin karanlık şartlar altında ise lineerlikten bir miktar sapmanın olduğu gözlenmiştir. 300 ± 2 °C 'de tavlanan bu numunenin ρ öz direnç değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12.'de verilmiş olup, aydınlık ve karanlık şartlar için sırasıyla $1,50 \cdot 10^4 \Omega \text{cm}$ ve $7,53 \cdot 10^5 \Omega \text{cm}$, σ iletkenlik değerleri ise $6,67 \cdot 10^{-5} (\Omega \text{cm})^{-1}$ ve $1,33 \cdot 10^{-6} (\Omega \text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'den görüleceği üzere

bu numunenin fotoiletkenliği $6,54 \cdot 10^{-5} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olup, ışığa karşı duyarlılığının A1 ve A2 numunlerine göre az olduğu ($\Delta\sigma / \sigma_k = 49,15$) belirlenmiştir.

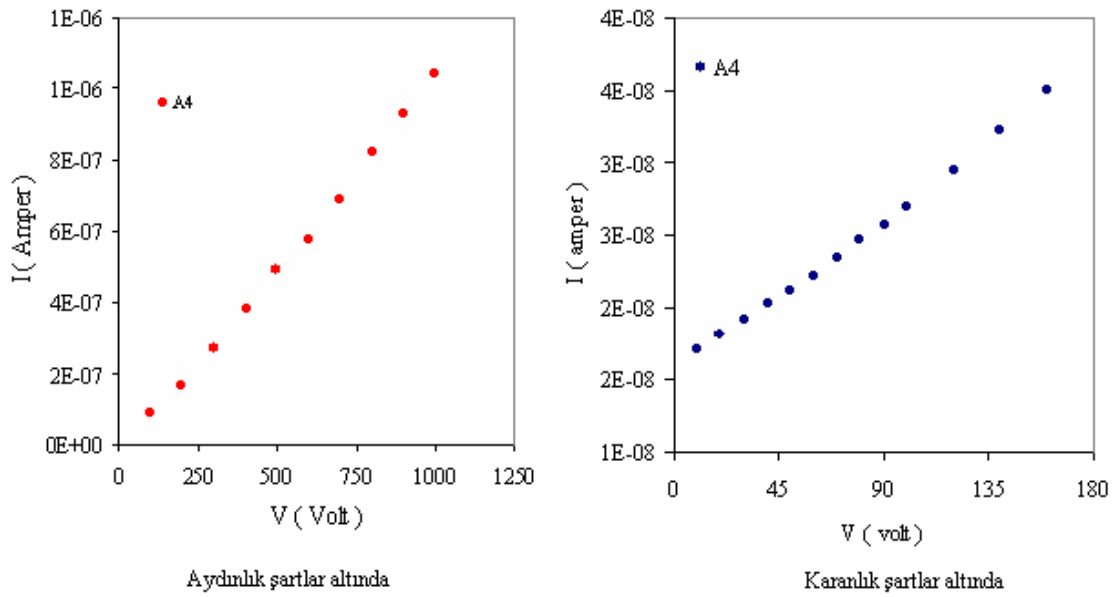


Şekil. 4.49. A2 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri

A4 numunesinin karanlık ve aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafikleri Şekil 4.51’de verilmektedir. Her iki şartlar altında lineerliğin zayıf bir şekilde bozulduğu gözlenmiştir. 350 ± 2 °C ‘de tavlanan bu numunenin, ρ öz direnç değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12.’de verilmiş olup, aydınlık ve karanlık şartlar için sırasıyla $1,90 \cdot 10^5 \Omega\text{cm}$ ve $1,74 \cdot 10^6 \Omega\text{cm}$, σ iletkenlik değerleri ise $5,26 \cdot 10^{-6} (\Omega\text{cm})^{-1}$ ve $5,73 \cdot 10^{-7} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’den görüleceği üzere bu numunenin fotoiletkenliği $4,69 \cdot 10^{-6} (\Omega\text{cm})^{-1}$ olup ışığa karşı diğer numunelere göre çok daha az duyarlı olduğu ($\Delta\sigma / \sigma_k = 8,18$) belirlenmiştir.



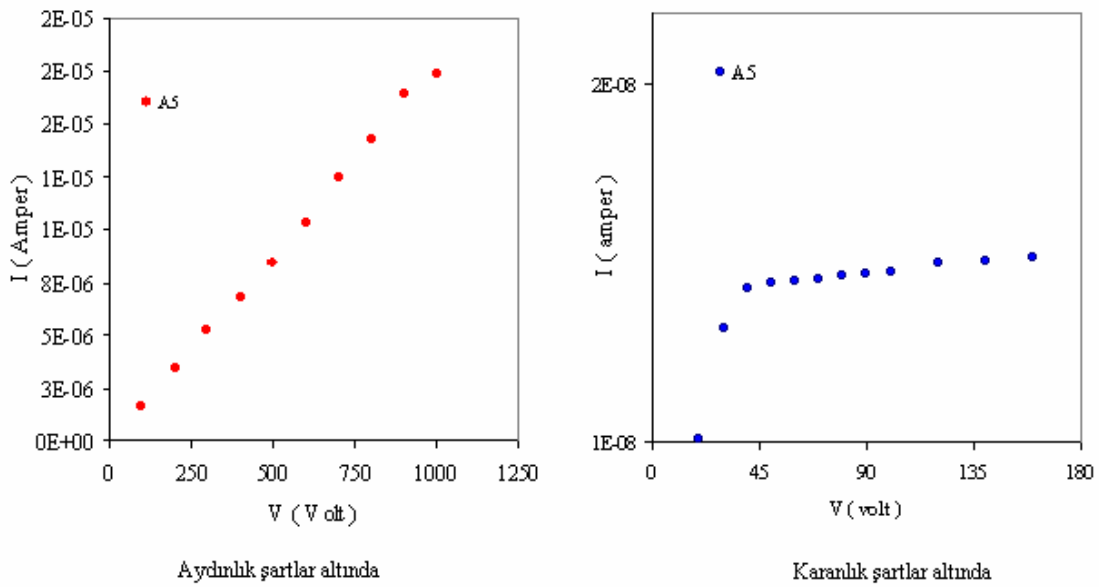
Şekil. 4.50. A3 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri



Şekil. 4.51. A4 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri

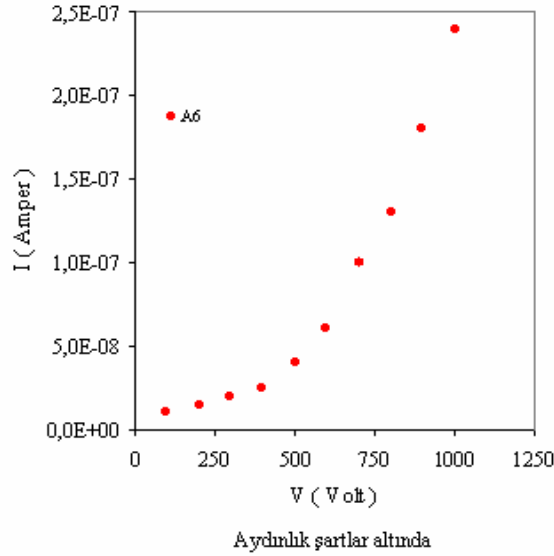
A5 numunesinin karanlık ve aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafikleri Şekil 4.52'de verilmektedir. Aydınlık şartlar altında lineer olan bu karakteristiklerin karanlık şartlar altında bozulduğu ve sapmaların olduğu gözlenmiştir.

400±2 °C 'de tavlanan bu numunenin, ρ öz direnç değerleri Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12.'de verilmiş olup, aydınlık ve karanlık şartlar için sırasıyla $6,92 \cdot 10^3 \Omega \text{cm}$ ve $1,10 \cdot 10^6 \Omega \text{cm}$, σ iletkenlik değerleri ise $1,44 \cdot 10^{-4} (\Omega \text{cm})^{-1}$ ve $9,06 \cdot 10^{-7} (\Omega \text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'den görüleceği üzere bu numunenin fotoiletkenliği $1,43 \cdot 10^{-4} (\Omega \text{cm})^{-1}$ olup ışığa karşı diğer numunelere göre çok daha fazla duyarlı olduğu ($\Delta\sigma / \sigma_k = 157,94$) belirlenmiştir.



Şekil. 4.52. A5 numunesinin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri

A6 numunesine karanlık ve aydınlık şartlar altında voltaj uygulanmış ancak karanlık şartlar altında veri elde edilememiştir. Aydınlık şartlar altında uygulanan voltaja göre değişim grafiği Şekil 4.53 'de verilmiştir. Karanlık şartlar altında veri alınamayan bu numunede aydınlık şartlar altında da karakteristiklerinin lineer olmadığı ve sapmaların olduğu gözlenmiştir. 450±2 °C 'de tavlanan bu numunenin, ρ öz direnç değeri Çizelge 4.11'de verilmiş olup, aydınlık şartlar için $6,65 \cdot 10^5 \Omega \text{cm}$, σ iletkenlik değeri ise $1,50 \cdot 10^{-6} (\Omega \text{cm})^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu numunenin fotoiletkenlik ve fotohassasiyet değerleri hesaplanamamıştır.



Şekil. 4.53. A6 numunesinin aydınlık şartlar altındaki I~V karakteristiği

Numuneler bir bütün olarak incelendiğinde özdirenç değerlerinin literatürde belirtilen sınırlar içerisinde yer aldığı gözlenmiştir. İyi bir kristalleşmeye sahip oldukları XRD desenlerinde belli olan numunelerin özdirenç ve iletkenlik değerleri Çizelge 4.11’de, fotoiletkenlikleri Çizelge 4.12’de, fotohassasiyetleri Çizelge 4.13.’de ve fotoiletkenlikleri ile fotohassasiyetlerine bağlı bazı yapısal parametreleri Çizelge 4.14’de verilmiştir. İyi bir kristalleşmenin belirteci olarak tanecik boyutları dikkate alındığında deney parametrelerinin uygun seçildiği söylenebilir. Ohmik yöntemle yapılan testlerde yüzey akımları dikkate alındığından, yüzey akımlarını etkileyen çöktürmeye bağlı pürüzlülük ve homojenlik için yeter şartların sağlandığı da gözlenmiştir.

Uygun taban sıcaklığının seçilmiş olması, uygulanan deney parametrelerinin filmlerin büyütülmesinde olumsuz yönde etkin olmadığını göstermektedir. Uygun taban sıcaklığı, homojen ortam ısısı, çözelti sıcaklığı ve konsantrasyonu homojen ve pürüzlülüğü az filmlerin büyütülmesini sağlamıştır. Bu koşullarda elde edilen filmlerin elektriksel özelliklerinin ölçülebilir nitelikte olmasını sağlamıştır.

Çizelge 4.11. CdS film numunelerinin karanlık şartlar altında elde edilen ρ öz direnç ve σ iletkenlik değerleri

Açıklamalar		NUMUNE KODLARI													
		A0		A1		A2		A3		A4		A5		A6	
		Aydınlık	Karanlık	Aydınlık	Karanlık	Aydınlık	Karanlık	Aydınlık	Karanlık	Aydınlık	Karanlık	Aydınlık	Karanlık	Aydınlık	Karanlık
Kalınlık	x (cm)	$1,0 \cdot 10^{-4}$		$4,2 \cdot 10^{-4}$		$2,5 \cdot 10^{-4}$		$4,9 \cdot 10^{-4}$		$3,8 \cdot 10^{-4}$		$2,4 \cdot 10^{-4}$		$3,4 \cdot 10^{-4}$	
Kontaklar Arası Uzaklık	L (cm)	$2,0 \cdot 10^{-1}$													
Kontakların Boyu	l (cm)	$1,0 \cdot 10^{-2}$													
Özdirenç	ρ (Ωcm)	$7,87 \cdot 10^{+3}$	$1,84 \cdot 10^{+5}$	$9,23 \cdot 10^{+3}$	$1,13 \cdot 10^{+6}$	$9,17 \cdot 10^{+3}$	$1,29 \cdot 10^{+6}$	$1,50 \cdot 10^{+4}$	$7,53 \cdot 10^{+5}$	$1,90 \cdot 10^{+5}$	$1,74 \cdot 10^{+6}$	$6,92 \cdot 10^{+3}$	$1,10 \cdot 10^{+6}$	$6,65 \cdot 10^{+5}$	
İletkenlik	σ (Ωcm) ⁻¹	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$5,44 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$8,84 \cdot 10^{-7}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$7,67 \cdot 10^{-7}$	$6,67 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$5,26 \cdot 10^{-6}$	$5,73 \cdot 10^{-7}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$	$9,06 \cdot 10^{-7}$	$1,50 \cdot 10^{-6}$	

Çizelge. 4.12. CdS film numunelerinin $\sigma_a - \sigma_k$ (Ωcm)⁻¹ fotoiletkenlikleri

Açıklamalar		NUMUNE KODLARI																				
		A0			A1			A2			A3			A4			A5			A6		
		σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$	σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$	σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$	σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$	σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$	σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$	σ_a	σ_k	$\Delta\sigma$
Kalınlık	x (cm)	$1,0 \cdot 10^{-4}$			$4,2 \cdot 10^{-4}$			$2,5 \cdot 10^{-4}$			$4,9 \cdot 10^{-4}$			$3,8 \cdot 10^{-4}$			$2,4 \cdot 10^{-4}$			$3,4 \cdot 10^{-4}$		
Kontaklar Arası Uzaklık	L (cm)	$2,0 \cdot 10^{-1}$																				
Kontakların Boyu	l (cm)	$1,0 \cdot 10^{-2}$																				
Fotoiletkenlik	$\sigma_a - \sigma_k$ (Ωcm) ⁻¹	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$5,44 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$8,84 \cdot 10^{-7}$	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$	$7,76 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$6,67 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	$6,54 \cdot 10^{-5}$	$5,26 \cdot 10^{-6}$	$5,73 \cdot 10^{-7}$	$4,69 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$	$9,06 \cdot 10^{-7}$	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$1,50 \cdot 10^{-6}$		

Çizelge. 4.13. CdS film numunelerinin $\Delta\sigma$ fotohassasiyetleri

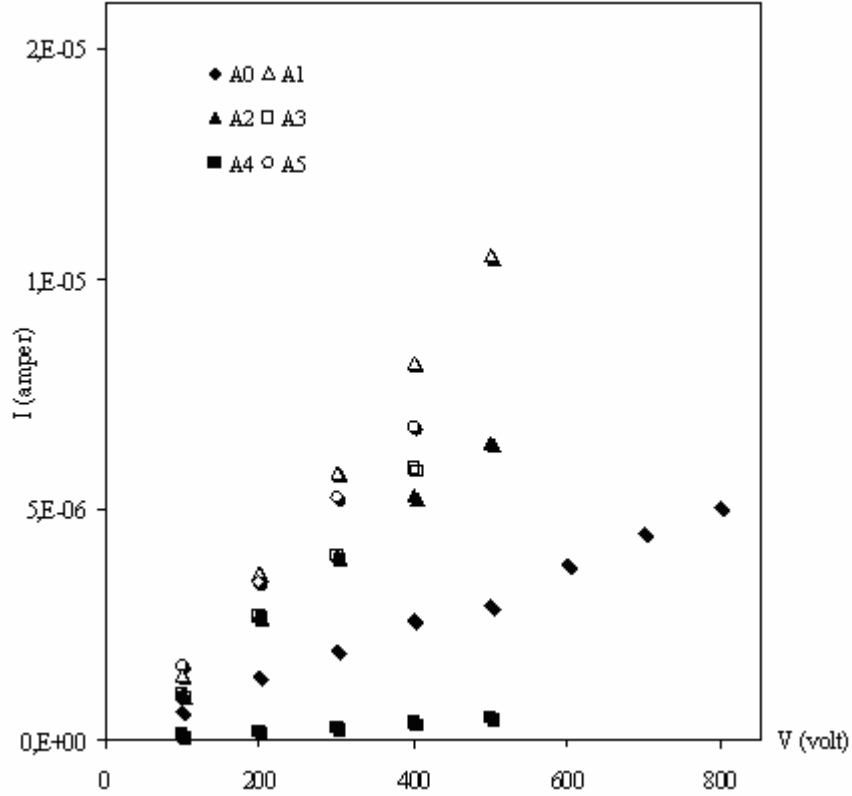
Açıklamalar		NUMUNE KODLARI																				
		A0			A1			A2			A3			A4			A5			A6		
		$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$\Delta\sigma$	σ_k	$\Delta\sigma/\sigma_k$
Kalınlık	x (cm)	$1,0 \cdot 10^{-4}$			$4,2 \cdot 10^{-4}$			$2,5 \cdot 10^{-4}$			$4,9 \cdot 10^{-4}$			$3,8 \cdot 10^{-4}$			$2,4 \cdot 10^{-4}$			$3,4 \cdot 10^{-4}$		
Kontaklar Arası Uzaklık	z (cm)	$2,0 \cdot 10^{-1}$																				
Kontakların Boyu	l (cm)	$1,0 \cdot 10^{-2}$																				
Fotohassasiyet	$\Delta\sigma/\sigma_k$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$5,05 \cdot 10^{-6}$	22,35	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$5,11 \cdot 10^{-7}$	121,17	$1,16 \cdot 10^{-4}$	$4,99 \cdot 10^{-7}$	139,46	$8,22 \cdot 10^{-5}$	$1,67 \cdot 10^{-6}$	49,15	$4,93 \cdot 10^{-6}$	$6,26 \cdot 10^{-7}$	8,18	$1,64 \cdot 10^{-4}$	$7,50 \cdot 10^{-8}$	157,94			

Çizelge. 4.14. CdS film numunelerinin $\Delta\sigma$ fotohassasiyetleri ile bazı fiziksel parametreleri

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı (± 5 oC)	Tavlama Sıcaklığı (± 2 oC)	Film Kalınlığı x_f μm	Pürüzlülük Katsayısı R_{RMS}	D Tanecik Boyutu (\AA)	Üniformluk Değeri $\% x_d$	Fotoiletkenlik $\sigma_a - \sigma_k$ (Ωcm) ⁻¹	Fotohassasiyet $\Delta\sigma/\sigma_k$
A0	300	Ham	1,0	19,74	163,26	90,91	$1,26 \cdot 10^{-4}$	22,35
A1		200	4,2	25,13	125,59	71,43	$1,23 \cdot 10^{-4}$	121,17
A2		250	2,5	15,49	116,22	80,00	$1,16 \cdot 10^{-4}$	139,46
A3		300	4,9	10,34	116,22	81,63	$8,22 \cdot 10^{-5}$	49,15
A4		350	3,8	12,07	135,59	78,95	$4,93 \cdot 10^{-6}$	8,18
A5		400	2,4	27,43	125,33	83,33	$1,64 \cdot 10^{-4}$	157,94
A6		450	3,4	45,00	135,59	62,50		

Numunelerin aydınlık ve karanlık şartlar altındaki I~V grafiklerinin lineer olan kısımlarından elde edilen özdirenç ve iletkenlik değerleri Şekil 4.54 ve Şekil 4.55 'de verilmiştir. Filmlerinin özdirençlerinin aydınlık şartlarda A0, A1, A2 ve A5 numunelerinde $10^3 \Omega\text{cm}$, A3 numunesinde $10^4 \Omega\text{cm}$, A4 ve A6 numunelerinde $10^5 \Omega\text{cm}$, seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu farklılığın sebebi filmlerin homojen olmalarına karşın kalınlıklarının değişken olmasıdır. Karanlık şartlarda ise A0 ve A3

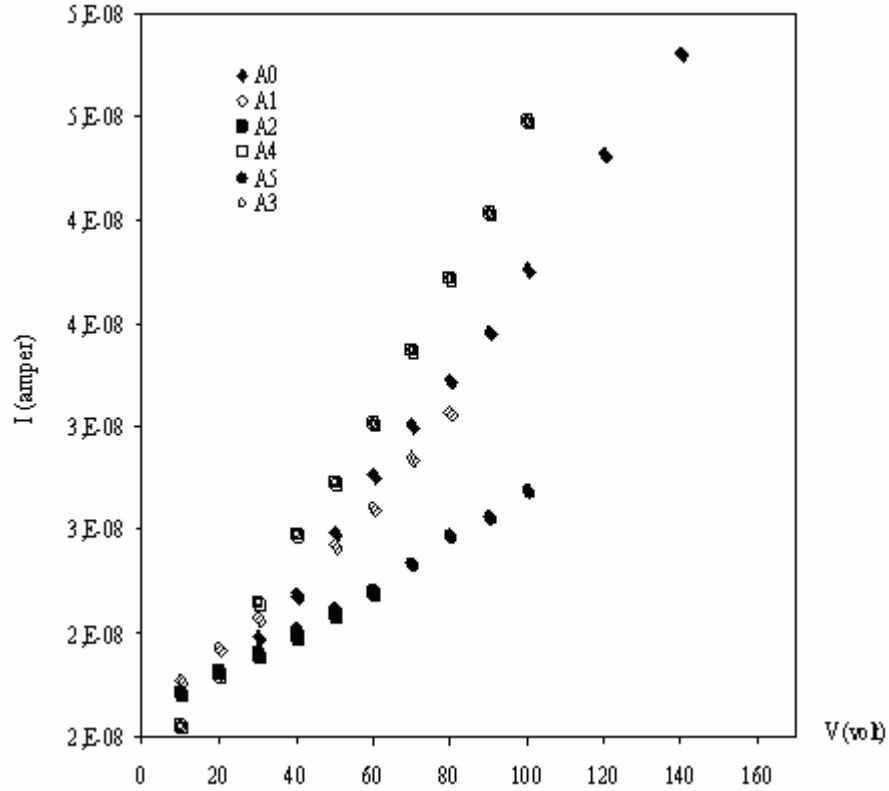
numunelerinde $10^5 \Omega\text{cm}$, diğer numunelerde ise $10^6 \Omega\text{cm}$ seviyesinde olduğu gözlenmiştir.



Şekil. 4.54. CdS film numunelerinin aydınlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri ile bu şartlara bağlı ρ öz direnç ve σ iletkenlik değerleri

A6 numunesinde ise karanlık şartlar altında değer alınamamıştır. Bunun nedeni hazırlanan çözeltiden kaynaklanmaktadır. Çözeltiyi oluşturan Cd ve S elementlerinin kristalleşmeleri ile ilgili olarak erime ve kaynama noktası değerleridir (Çizelge 5.2). Bu numunenin tavlama sıcaklığının (450°C) yapıdaki S elementinin kaynama noktasından yüksek ($444,72^\circ\text{C}$) olması sonucunda numunede kompozit yapı özelliğinin çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Yine aynı şekilde çözeltideki Cd elementinin erime noktasından ($321,07^\circ\text{C}$) sonraki tavlama sıcaklıklarında kristalleşme ve tanecik boyutları gibi istenmeyen sonuçlara sebep olabildiği düşünülmektedir.



Şekil. 4.55. CdS film numunelerinin karanlık şartlar altındaki I~V karakteristikleri ile bu şartlara bağlı ρ öz direnç ve σ iletkenlik değerleri

Elde edilen CdS filmlerinin I~V karakteristiklerine göre tam bir ohmikliğin olmadığı görülmektedir. A6 numunesi haricinde bütün numunelerin aydınlık şartlar (25 mW/cm^2) altında A0, A3 ve A4 haricinde ışığa karşı duyarlı oldukları belirlenmiştir. Ancak A6 numunesinin I~V karakteristiğinin Schottky etkisi gösterdiği gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak $450 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de termal tavlama tabii tutulan CdS filmlerinin yüzey durumlarının diğer termal tavlama sıcaklıklarına göre biraz daha fazla değişime uğradığı söylenebilir. Tam doğru olmamakla birlikte, gümüş pasta yüzeyden içeriye doğru daha fazla derinlere nüfuz etmiş olabilir ve bu da CdS filminin yüzey akımlarının değişmesine sebep olmuş olabilir.

BÖLÜM V

CdS FİMLERİNİN YÜZEY MORFOLOJİLERİ

5.1. Giriş

Elektron mikroskopları incelenecek materyallerin minimize edilmiş ölçeklerde karakterizasyonu için yüksek enerjili elektronlar kullanan cihazlar olup;

- i. *Topoğrafi* _____ : Materyal numunesinin yüzey özellikleri veya görünüşü ile bu yapısal özelliklerinin sertlik, yansıtıcılık v.b. gibi özellikleri arasındaki bağlantılar,
- ii. *Morfoloji* _____ : Materyal numunesini oluşturan parçacıkların şekilleri, boyutları ve oluşma biçimleri ile bu parçacıkların materyal içerisindeki yayılımları, dayanım ve reaktiflik v.b. gibi özellikleri arasındaki bağlantılar,
- iii. *Bileşim* _____ : Materyal numunesinin içerdiği elementler ve bileşikler ile bunların bağıl miktarları ile bileşim ve erime noktası, reaktiflik, sertlik v.b. gibi malzeme özellikleri arasındaki bağlantılar,
- iv. *Kristallografik Bilgi* _____ : Materyal numunesinde atomik yapı içerisinde atomların dizilişi ve bu dizilişin dayanım, iletkenlik, elektriksel özellikler v.b. gibi malzeme özellikleri arasındaki bağlantılar,

hakkında bilgilerin elde edilmesini sağlamaktadırlar (<http://mse.iastate.edu/microscopy>; <http://physics.unl.edu>).

Günümüz sanayisi ve bilimsel çalışmalarında ihtiyaç duyulan yeni materyallerin elde edilmesinin yanı sıra bilinen materyallerin belirli oranlarda bir arada kullanımı ile elde edilen yeni tür materyallerin temel özelliklerinin belirlenmesi SEM, EDS ve AFM kullanılarak yapılabilmektedir.

5.2. CdS filmlerinin Yüzey Görüntüleri

SEM, belirli bir zaman diliminde örneklerde odaklandığı belirli alanların derinliklerini yüksek çözünürlüklü görüntüler şeklinde belirlenen alanı büyüterek verir. Hazırlanan numunelerin iletken hale getirilmesi SEM 'de istenen sonuçları kolaylıkla vermektedir (<http://www.unl.edu>). SEM 'de numune üzerine düşürülen elektron demetinin numune yüzeyinden yansması ile ortaya çıkan ikincil elektronlar ile saçılan elektron sinyallerinin yüzeyden yansıma açılarının incelenmesi ile materyal hakkında bilgi edinilmektedir.

SEM polikristal yarıiletken ince filmlerin analizi için geçerli bir tekniktir ve SEM görüntüleri diğer morfolojik değişimlerle parçacık büyüklüğüne ait kesit görünümünü ve planlarını göstermektedir (*Kestner, 2004*).

Numune üzerine odaklanmış x-ışınlarının; dağılım yoğunluğu ve dalgaboyu veya enerjisinin ölçülmesi ile SEM 'de kimyasal (mikro) analiz yapılabilmektedir. EDS bazen de EDX (Energy Dispersive X-ray Spektroskopisi) olarak bilinen “Enerji Dağılım Spektrometresi” eklenerek materyalin elemental bileşimi yüksek uzaysal (üç boyutlu) çözünürlükte gözlemlenebilmektedir (<http://www2.arnes.si>; <http://www.siliconfareast.co>).

İnce filmler, elektron demetlerinin yüzeyden saçınımı, niteliği ve büyütme gibi bazı teknikleri kullanarak şekillendirilebilmektedir.

AFM yüzey yapılaşmasının yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edildiği bir diğer yöntemdir. Bu yöntemde yüzeylerin çapraz taranması ile elde edilen keskin görünümlü üç boyutlu piklerin-yükseltelerin görüntülerinin sayısal analizi söz konusudur. Bu analizde, Pürüzlülük değeri için RMS (kaynak aritmetik ortalamasının karesi -Root Mean Square-)

$$R_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z_{Ort})^2}{N}} \quad (5.1)$$

denklemleri kullanılmaktadır. Bu denklemde Z_i doğruluğu kabul edilen ya da verilen piksel değeri, Z_{ort} tüm piksellerin ortalamasıdır. N ise görüntüdeki tüm piksellerin sayısal toplamıdır (Kestner, 2004). R_{RMS} değeri film yüzeyinin tavlama öncesi ve sonrası değişimlerini verir. Pürüzlülük kavramı yüzeysel durumların azalması ya da çoğalması eğilimi olup filmlerin kalınlığı yüzeylerdeki durum değişikliklerini etkilemez. Asıl önemli olan tavlama sonucunda temiz bir büyütmenin sonucunda film yüzeyindeki taneciklerin büyüklüğüdür. Difüzyon tanecik sınırları boyunca gerçekleşmiş ise bu tanecikler arasındaki büyük boşluklardan dolayı büyük difüzyon hızı küçük taneciklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Yüzeyde küçük tanecikler yerine büyük taneciklerin varlığı istenen sonuçtur (Oliva, et al., 2006). Tanecik büyüklükleri taban sıcaklığı ve filmin kalınlığı ile kontrol edilebilir (Albin, et al., 1997). Cam tabanlarla elde edilen filmlerin yüzeylerinin daha yassı ve düz olduğu gözlenmiştir (Yea, et al., 1999). Kullanılan tabanların temizliği ve kirlilik oranının azlığı elde edilen filmlerin homojenliğini ve yüzey morfolojilerini olumlu yönde etkiler (Webb, et al., 1998).

Daha iyi ve üniform bir film elde edebilmek çözelti sıcaklığının yükseltilmesi ile hem R_{RMS} değeri hem de partikül büyüklüğünün istenilen ölçüde olması ile mümkündür (Wenyi, et al., 2005; Herrero, et al. 2000). Tavlama sıcaklığının yükseltilmesi yüzeyi oldukça kaliteli olan filmler üretilmesini sağlamaktadır (Oliva, et al., 2003), R_{RMS} değerinin düşük olması filmin yüzeyinin kalitesini belirler (Narayandass, et al., 2002).

Ultrasonik Kimyasal Püskürtme yöntemi ile üniform filmlerin elde edilmesi oldukça zordur (Atay, et al., 2003) Cam tabanlar üzerinde yapılan işlemlerde CdS filmleri için oldukça iyi sonuçlar alınmaktadır (Yea, et al., 1999). Hem optik çekimlerde hem de AFM görüntülerinde rastlanan içi boş krater görünümlü adacıklar, çökme sırasında cam tabanlar üzerinde meydana gelen kimyasal reaksiyondan kaynaklanmaktadır (Sasikala, et al., 2000; Salazar, et al., 2006; Abdulla, et al., 1995; Han, et al., 2007). Tavlama ile filmlerin yüzeysel durumlarında değişikliklerin olduğu alınan görüntülerden anlaşılmaktadır (Rami, et al., 2000; Bhushan and Khare, 2006; Berrigan, et al., 1998). Yüzeyde küçük hacimli taneciklerin oluşması çöktürme işlemi sırasında difüzyon hızını arttırmaktadır. Filmlerin kalınlığının artması pürüzlülük

değerini arttırmasına rağmen tavlama işlemi yüzeydeki tanecikler için iyi bir oluşum sağlamaktadır (Oliva, et al., 2006; Al Kuhaimi, et al., 1998; Baykul and Balcioglu, 2000). Hava ortamında yapılan tavlamalarda dahi iyi bir kristalleşmenin varlığı gözlenmiştir (O'Brien, et al., 1999 Oliva, et al., 2006). 500 ve 600 °C 'in üzerindeki tavlamalarda S 'nin bağımlılığı azalmaktadır (Jayaraj and Yoosuf, 2005; Zenobi, et al., 2006).

Sonuç olarak SEM, EDS ve AFM, materyallerin yüzeylerinin belirgin bölgelerinin incelenmesi ve heterojen materyallerin karakterizasyonuna izin veren güçlü cihazlardır (Baykul and Balcioglu, 2000).

5.3. Filmlerin Optik Mikroskop Görünümleri

Elde edilen numunelerin optik görüntüleri ise metalurjik optik mikroskop ile belirli büyütme oranlarında alınmıştır (Çizelge 5.1). ½ inç kamera ile kullanılan objektif çarpanı büyütme oranı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Numunelerin optik mikroskop görüntülerine ait ½ inç kamera ile kullanılan objektif çarpanı (büyütme oranı) değerleri

Numune Kodu	Taban Sıcaklığı ±5°C	Tavlama Süresi (Saat)	Tavlama Sıcaklığı ±2°C	Büyütme Oranı		
				1. Konum	2. Konum	3. Konum
A0	300	3	Ham	60X	10X	40X
A1			200	60X	60X	60X
A2			250	60X	60X	10X
A3			300	60X	60X	60X
A4			350	60X	60X	40X
A5			400	60X	60X	40X
A6			450	40X	60X	60X

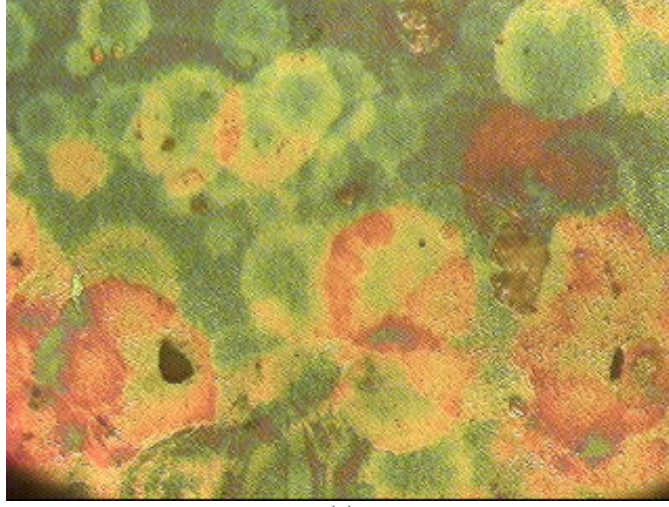
Malzemelerin fiziksel özellikleri iç ve yüzeysel yapılarına bağlı olup yapısal analizler makroskopik ve mikroskopik düzeyde gerçekleştirilmektedir. Makroskopik

incelemeler büyütme oranı küçük olan optik mikroskoplarla yapılmaktadır. Bu incelemeler genel anlamda malzemenin yüzey görünümü hakkında bilgiler içermektedir. Optik çekim görüntülerinde rastlanan siyah renkli ve şekilsiz görünümlü adacıklar ile vadiler şeklinde görülen bölümler çözeltinin püskürtme öncesi karıştırma hızından, çözeltideki tiöüre miktarından ve partiküler Cd konsantrasyonundan kaynaklanmaktadır (*Sasikala, et al., 2000; Salazar, et al., 2006; Abdulla, et al., 1995; Han, et al., 2007*). Tavlama ile filmlerin yüzeysel durumlarında değişikliklerin olduğu görüntülerden anlaşılmaktadır (*Rami, et al., 2000; Bhushan and Khare, 2006; Berrigan, et al., 1998*).

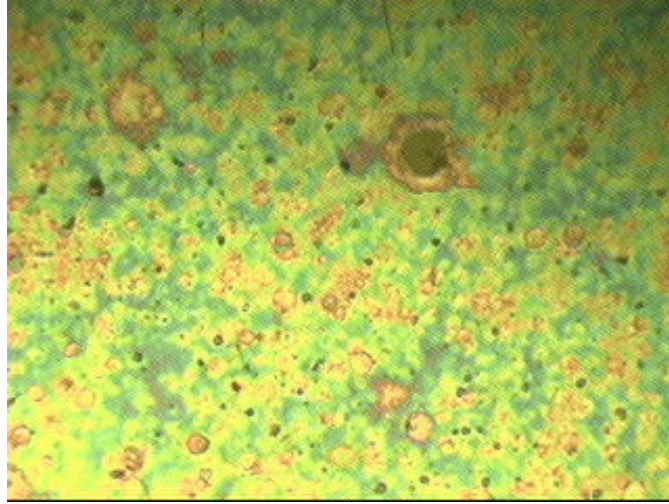
Filmlerin Optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 'de verilmiştir.

Bütün numunelerde gözlenen siyah renkli adacıkların ve vadilerin; yine aynı şekilde çözeltinin püskürtme öncesi karıştırma hızı, püskürtme hızı ve çöktürme şeklinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun sonucunda filmlerde standart renk oluşumu gözlenmemektedir.

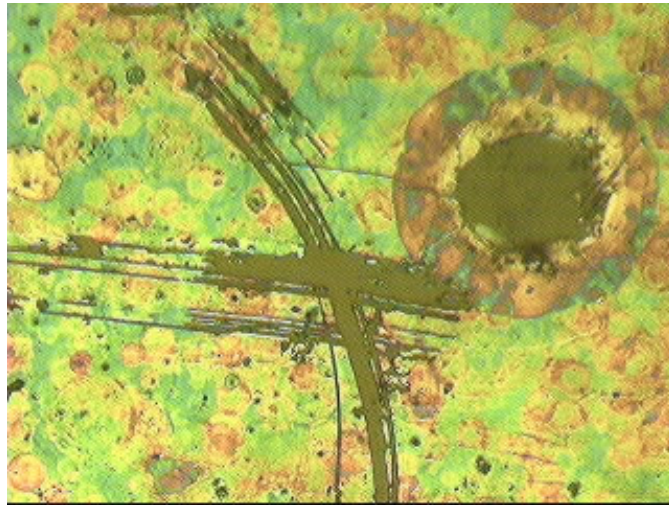
1,0 μm kalınlığında olan ve tavlansız A0 numunesinin optik görüntülerinin bunu doğruladığı, 200°C'de tavlansız 4,2 μm kalınlığındaki A1 numunesinde ve 250 °C 'de tavlansız 2,5 μm kalınlığındaki A2 numunesinde, çözeltideki S elementinin erime noktasının (115,21 °C) olması nedeni ile hakim rengin Cd elementinin rengi olduğu, 300°C'de tavlansız 4,9 μm kalınlığındaki A3 numunesinde ise çözeltideki S elementinin bu numunede tamamen diffüze olduğu bu arada Cd elementinin daha baskın olduğu gözlenmektedir. 350°C'de tavlansız ve 3,8 μm kalınlığındaki A4 numunesinde çözeltideki S elementinin erime noktasının (115,21 °C) olması nedeni ile tamamen diffüze olan bu arada Cd elementinin daha baskın olduğu gözlenen A3 numunesinin tavlama sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta termal tavlama tabii tutulan A4 numunesinde ise Cd elementinin de erime noktasının (321,07 °C) aşılması nedeni ile yayılmalarının olduğu gözlenmiştir.



(a)

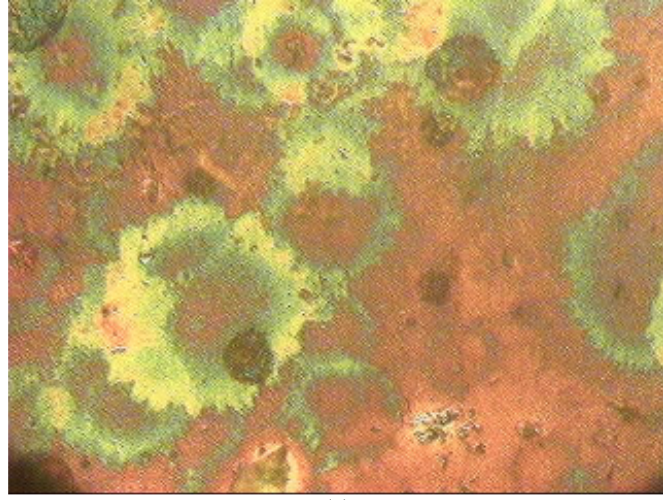


(b)

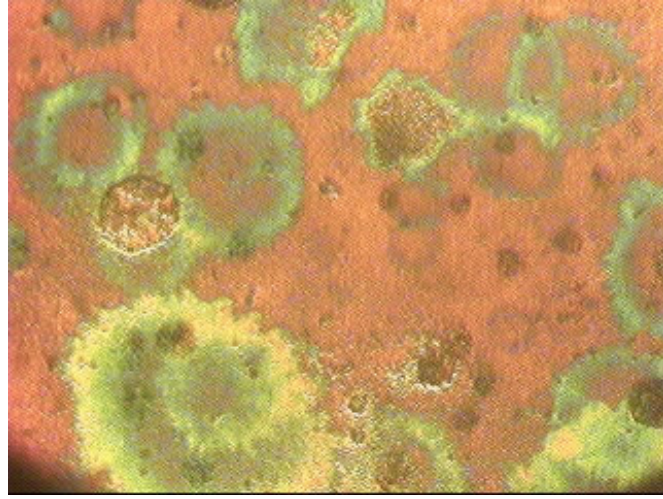


(c)

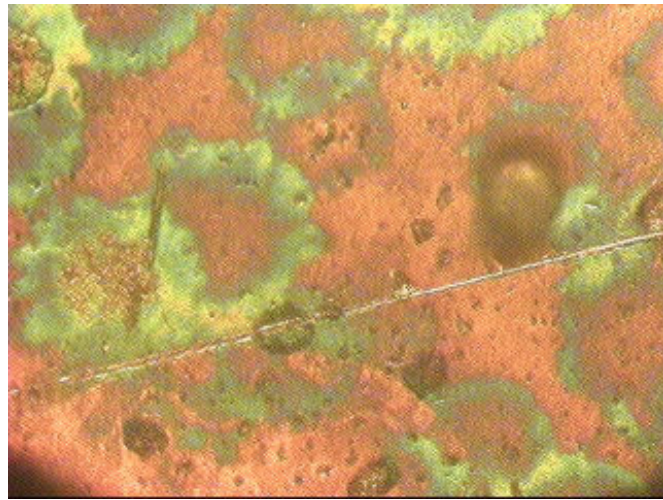
Şekil 5.1. A0 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 [X60] (b) Konum-2 [X10] (c) Konum-3 [X40]



(a)

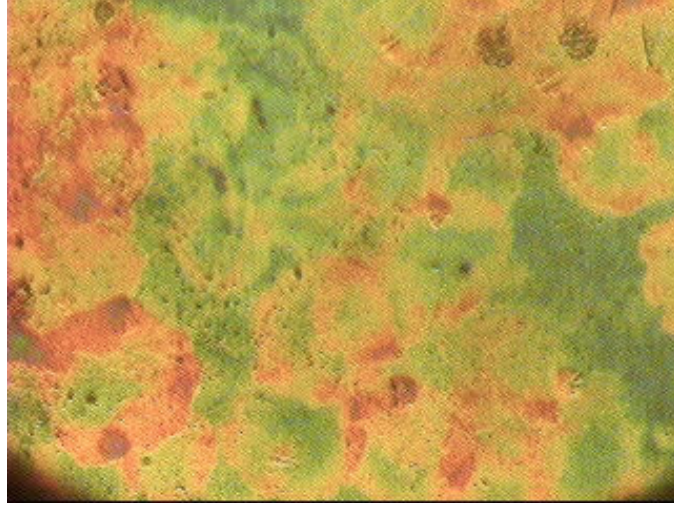


(b)

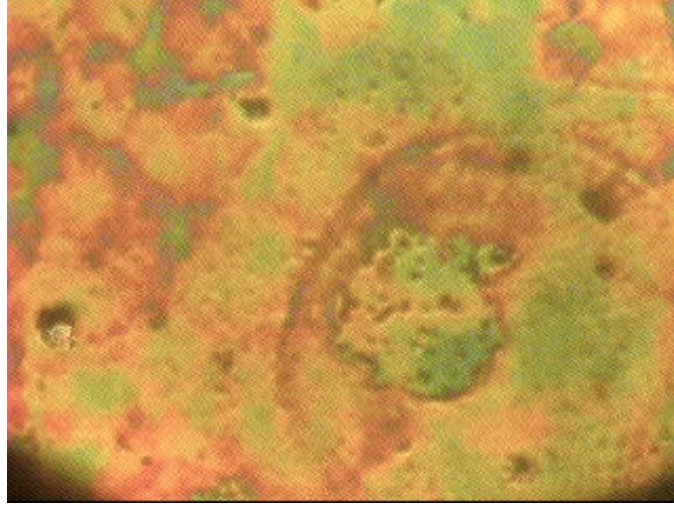


(c)

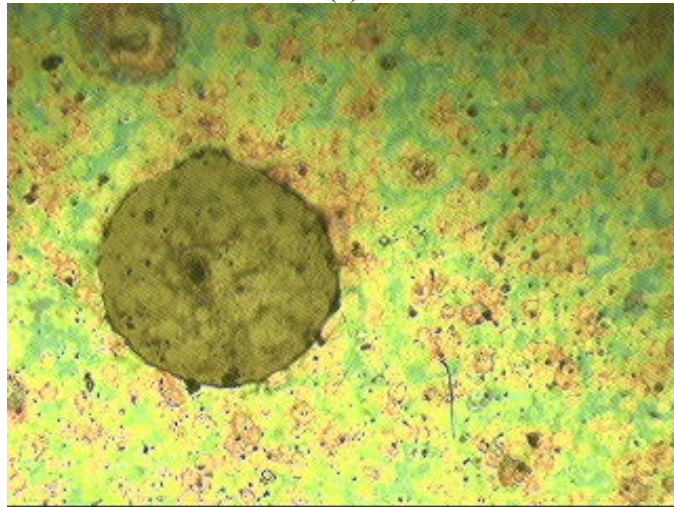
Şekil 5.2. Al numunesinin ½ inç kamera ve 60X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 (b) Konum-2 (c) Konum-3



(a)

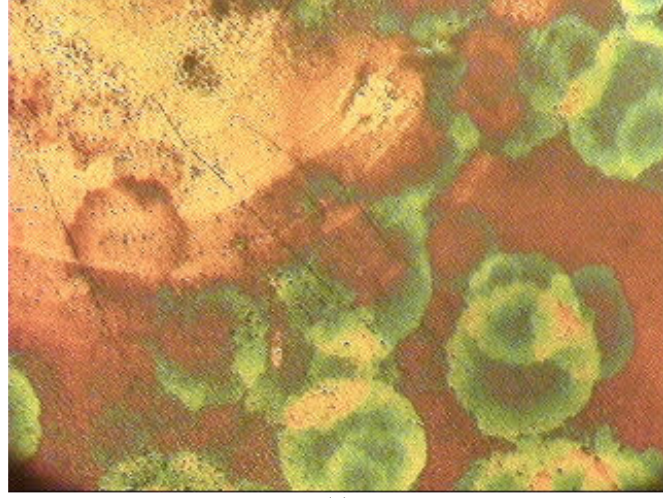


(b)

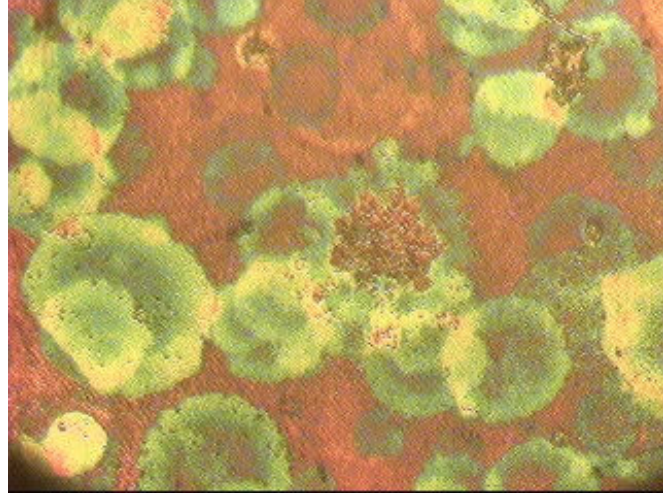


(c)

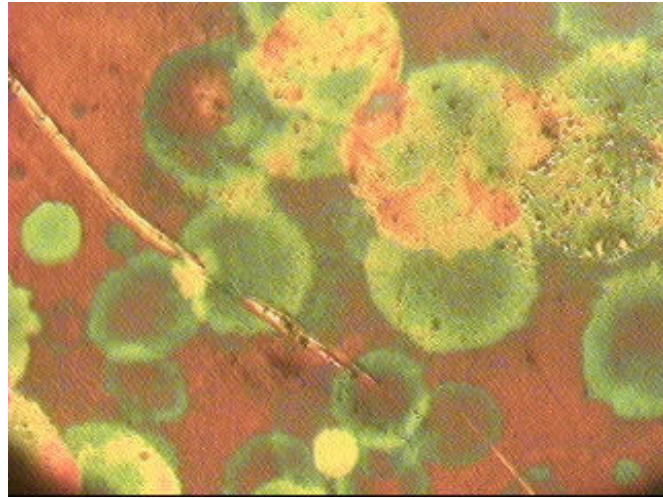
Şekil 5.3. A2 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 [X60] (b) Konum-2 [X60] (c) Konum-3 [X10]



(a)

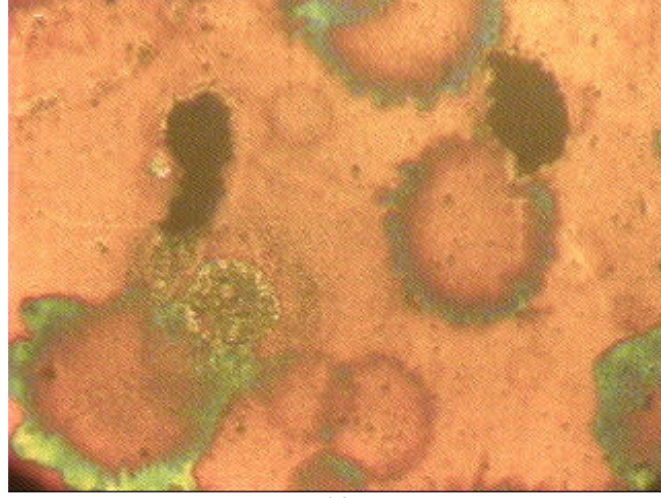


(b)

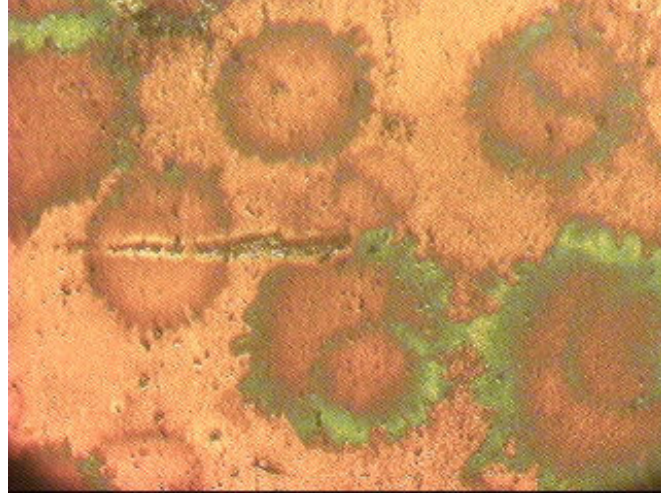


(c)

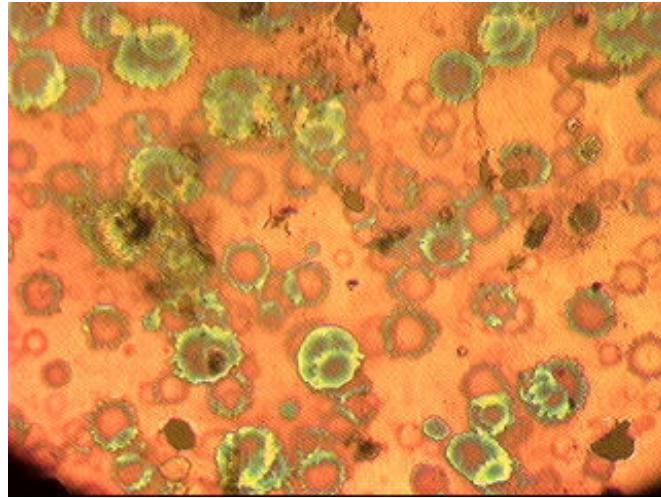
Şekil 5.4. A3 numunesinin ½ inç kamera ve 60X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 (b) Konum-2 (c) Konum-3



(a)

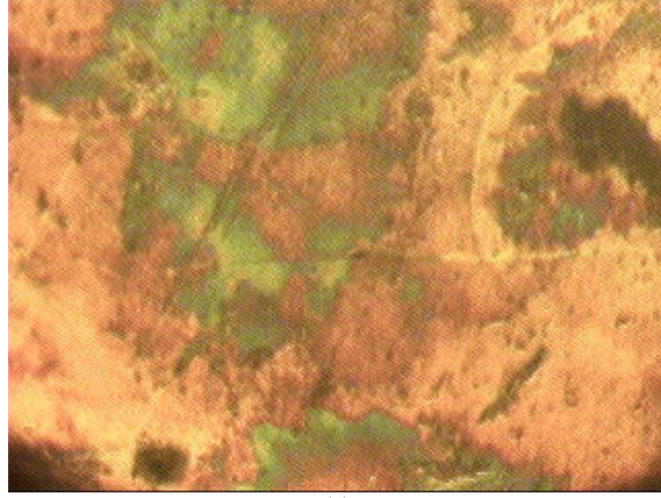


(b)

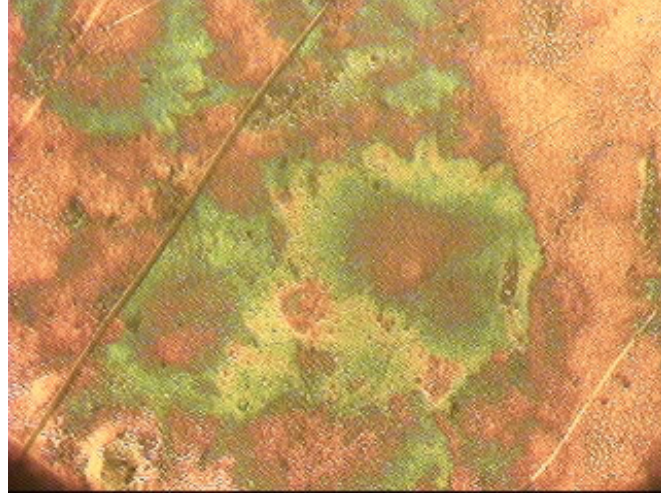


(c)

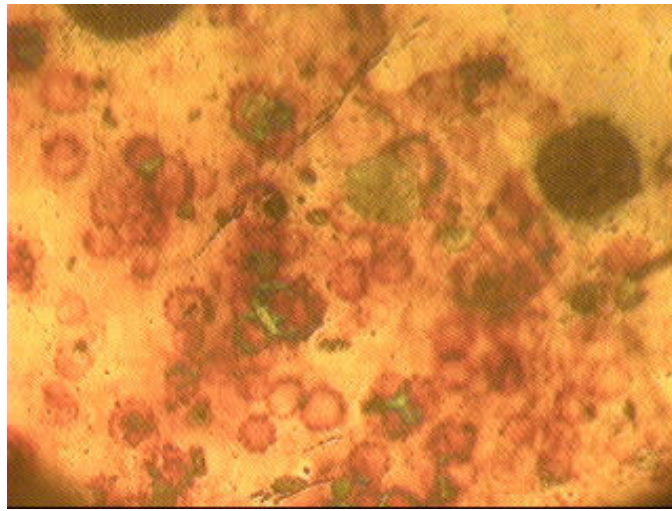
Şekil 5.5. A4 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 [X60] (b) Konum-2 [X60] (c) Konum-3 (40X)



(a)

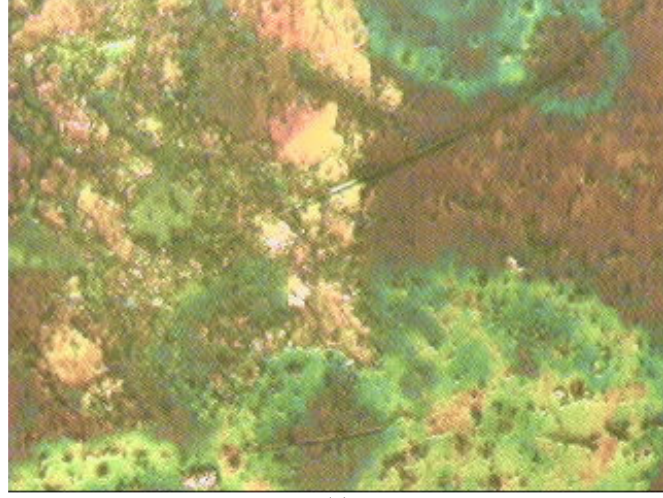


(b)

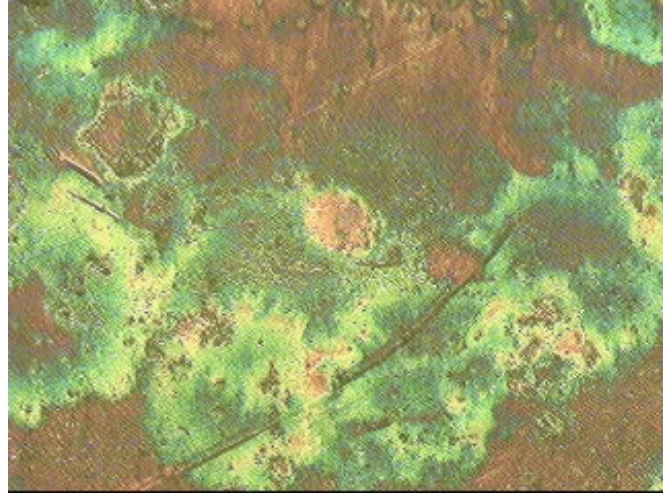


(c)

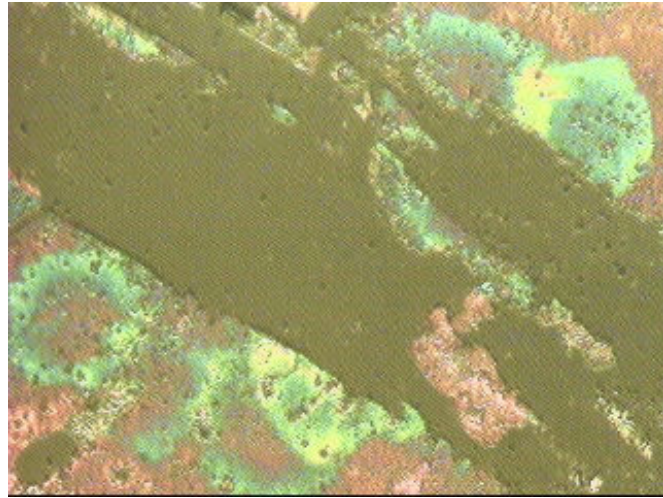
Şekil 5.6. A5 numunesinin ½ inç kamera ve 60X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 (b) Konum-2 (c) Konum-3 (40X)



(a)



(b)



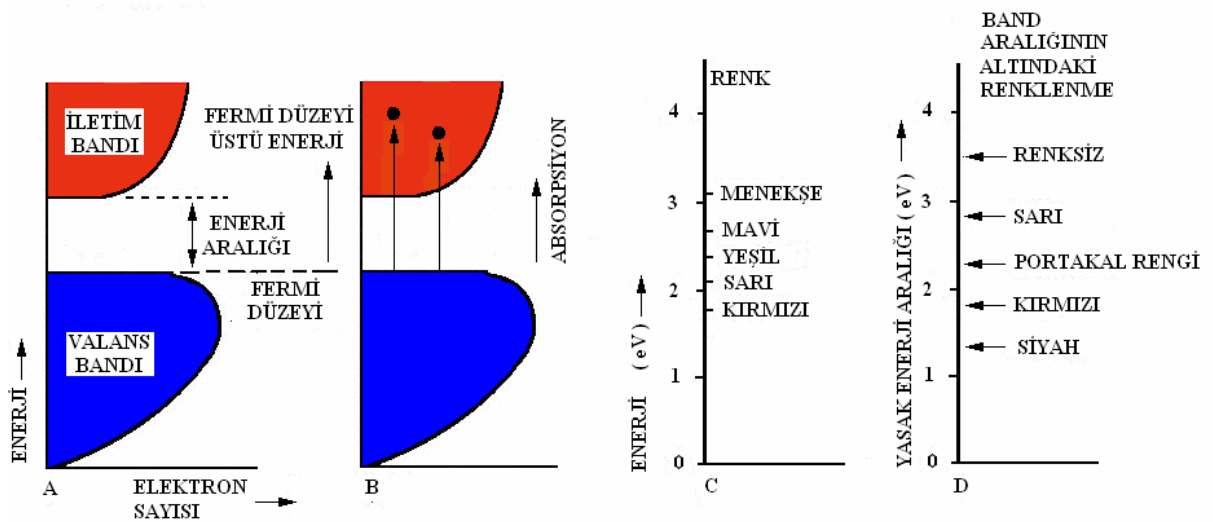
(c)

Şekil 5.7. A6 numunesinin ½ inç kamera ve X objektif ile alınmış optik görüntüleri (a) Konum-1 [40X] (b) Konum-2 [60X] (c) Konum-3 [60X]

400°C'de tavlanan 2,4 µm kalınlığındaki A5 numunesinde ise çözeltideki Cd⁺² ve S⁻² elementlerinin erime noktalarının (115,21-321,07°C) aşılması nedeni ile tamamen diffüze oldukları, 450 °C 'de tavlanan ve 3,4 µm kalınlığındaki A6 numunesinde ise bu sıcaklıkta çözeltideki Cd ve S elementlerinin erime noktalarının (115,21-321,07 °C) aşılması nedeni ile tamamen diffüze olmalarının yanı sıra S elementinin kaynama noktasının da (444,72 °C) aşılması nedeni ile tamamen renk değişiminin gerçekleştiği ve kompozit yayılmaların daha geniş yüzeyli olduğu gözlenmektedir.

5.3.1. Renk merkezleri ve optik mikroskop görüntülerinde renk

Düşük absorpsiyonun olduğu durumlarda gözlenmeyen ve yerleşik durumda olan geçiş elementlerinin iyonları ile geçişsiz elementlerdeki yerleşik katkı iyonlarının bulunduğu durumlarda veya kristal yapılaşma hatalarından dolayı ya da her iki nedenle renk merkezi oluşabilir. Çiftlenmeyen elektron boşta kalmışsa elektron renk merkezi oluşturur. Eğer boşta kalan bir hol ise yine hol renk merkezi oluşur. II-IV bileşiklerinden olan CdS greenockite yapılıdır. Band teorisi uygulamalarının yapıldığı bir çok materyal iki farklı band yapılıdır ve valans bandı kesinlikle elektron dolu olup iletim bandı kesinlikle boştur.



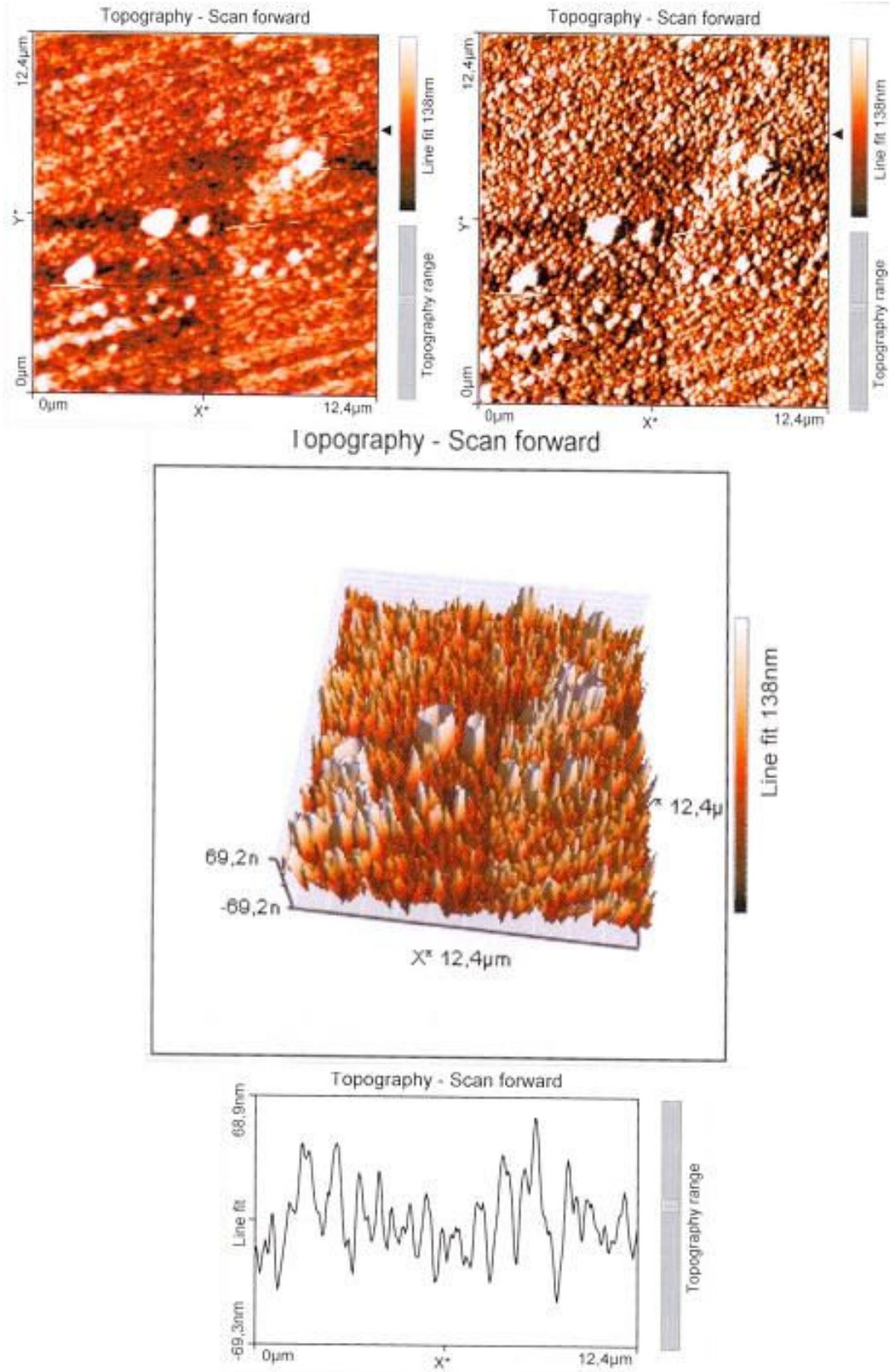
Şekil 5.8. a) Tipik bir yarıiletkenin band diyagramı b) Düşük absorpsiyon iletimi gösterimi c) Düşük enerjili renklerin bağımlılığı d) Yasak enerji aralığına bağlı renk geçişleri (Nassau, K., 1978).

2 eV civarında yasak enerji aralığına sahip kristaller örneğin proustite sadece kırmızı rengi geçirirken diğer renkler absorbe edilir. Yasak enerji aralığı daha yüksek olan kristallerde örneğin greenockite'de sadece mavi ve menekşe rengi hakimken absorsiyon sonucu sarı renk hakimdir. Böylelikle yasak enerji aralığına bağlı renklenme için; $E_g=1.6\text{eV}$ (CdSe) ile $E_g=2.5\text{eV}$ (CdS) aralığında (Şekil 5.8.) siyah renk, kırmızı renk, portakal rengi, sarı renk ve renksizlik olarak oluşurken arada ciddi olarak portakalımsı ve kırmızımsı renkler elde edilir (Nassau, K., 1978)..

5.4. Filmlerin AFM Görüntüleri

AFM görüntüleri NANOSURF-easyScan2 Scan Head : 70mikron (μm) cihazı ile numunelerin Dynamic Mod ile NCLR Cantilever kullanılarak taranması ile alınmıştır.

Tavlama işlemi yapılmayan A0 numunesinin AFM görüntüleri (Şekil 5.9.); x ve y koordinatlarında $12,4 \times 12,4 \mu\text{m}^2$ 'lık birim alanda ve z koordinatında 138 nm 'lik derinlikte alınmıştır. Yatay x ve y koordinatlarındaki taramalarda optik çekimleri doğrulayan ve püskürtme parametrelerinden kaynaklanan şekilsiz adacıkların varlığı gözlenmiştir. Bu adacıklar tamamen cam taban üzerine diffüze olmamış çözelti tortuları olup hiçbir fiziksel özellikleri olmadığı gibi filmlerin fiziksel özelliklerini de olumsuz yönde etkileyen oluşumlardır. z koordinatındaki taramalarda bu adacıklar (tortular) içi boş kratercikler gibidirler. Filmin yüzeysel özelliklerini olumsuz yönde etkilediklerinden istenmeyen oluşumdurlar. Özellikle elektriksel ölçümlerde yüzey akımları esas alındığından bu tür oluşumlar sonuçları olumsuz yönde etkilemektedirler. Çözelti sıcaklığı $30-40^\circ\text{C}$ olarak kullanıldığından Çizelge 5.2. 'de verilen Cd ve S elementlerinin fiziksel parametreleri etkilenmemektedir. $1,00 \mu\text{m}$ kalınlığındaki bu numunenin tanecik boyutu beklendiği gibi $D=163,26 \text{ \AA}$, pürüzlülük değeri ise $R_{\text{RMS}}=19,74$ olarak bulunmuştur (Çizelge 5.3., Çizelge 5.4, Şekil 5.15.).



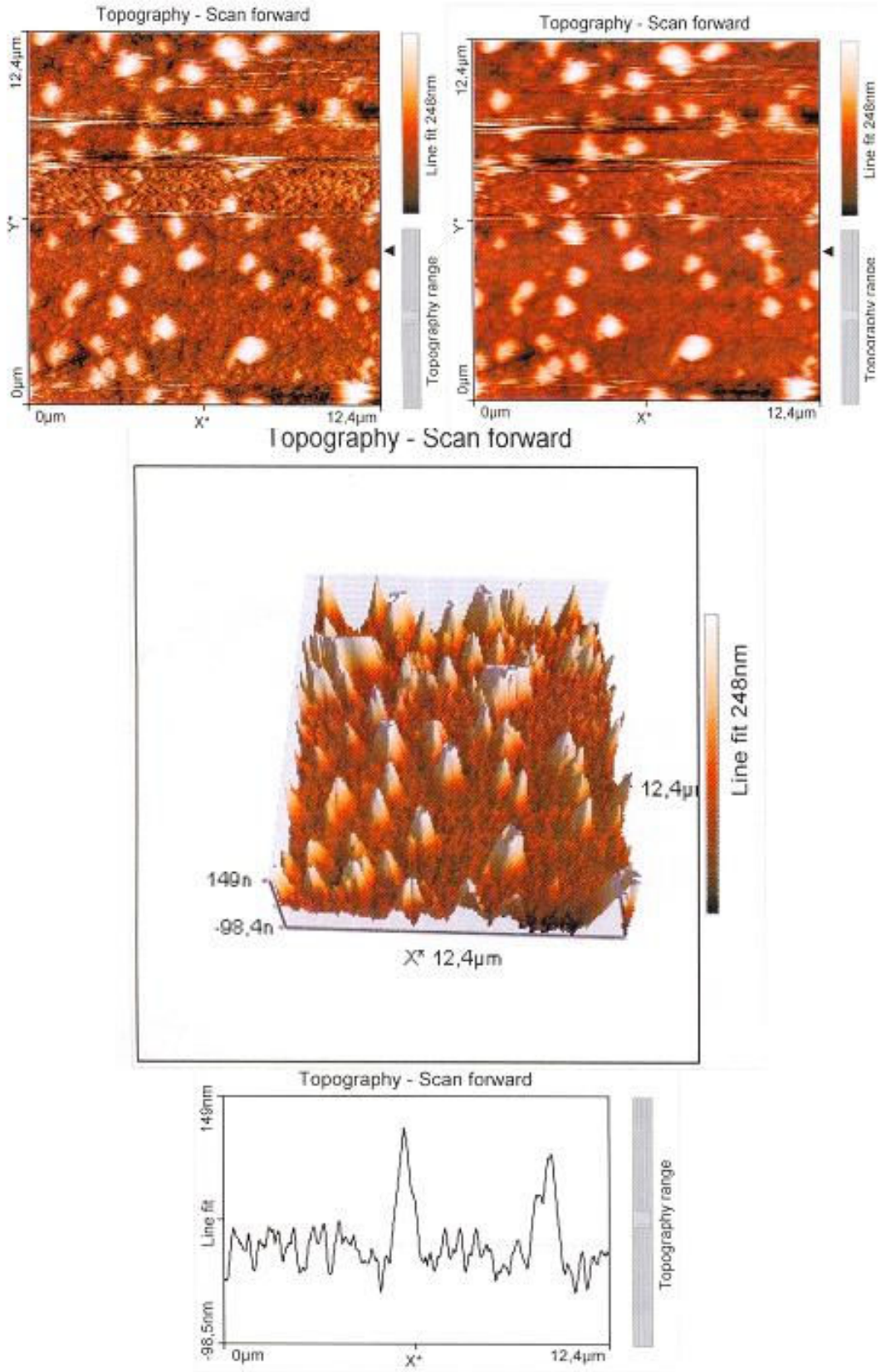
Şekil 5.9. A0 numunesine ait AFM görüntüleri

Aynı sıcaklıkta ve konsantrasyonda eşit parametreler altında büyütülen ve AFM görüntüleri (Şekil 5.10., Şekil 5.11. ve Şekil 5.12); A1 numunesi için, x ve y koordinatlarında sırasıyla $12,4 \times 12,4 \mu\text{m}^2$ 'lik birim alanda ve z koordinatında 248 nm, A2 numunesi için, x ve y koordinatlarında sırasıyla $6,19 \times 6,19 \mu\text{m}^2$ 'lik birim alanda ve z koordinatında 120 nm, A3 numunesi için, x ve y koordinatlarında sırasıyla $24,8 \times 24,8 \mu\text{m}^2$ 'lik birim alanda ve z koordinatında 98,2 nm,'lik derinlikte alınmıştır.

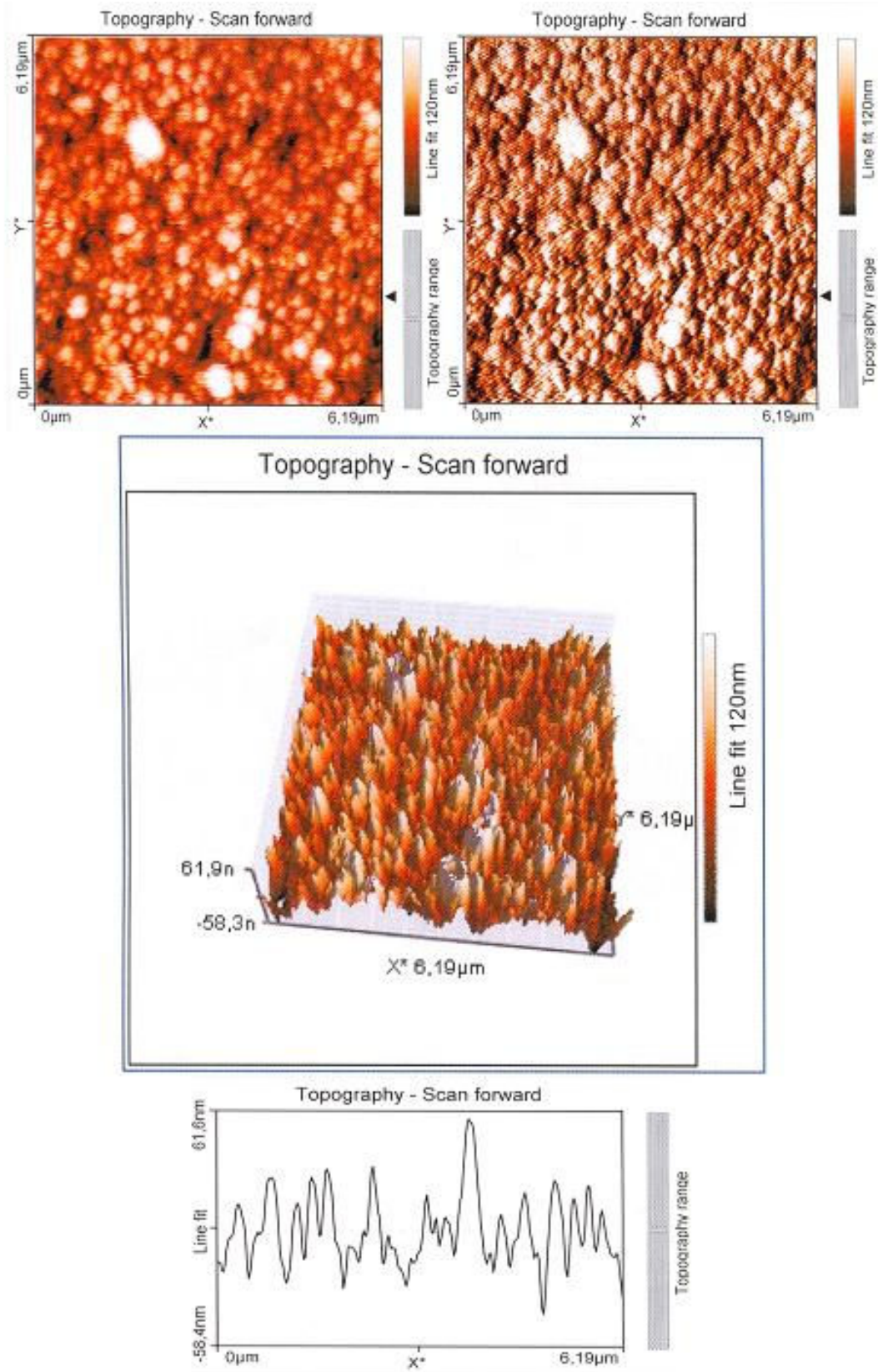
Yatay x ve y koordinatlarındaki taramalarda optik çekimleri doğrulayan ve püskürtme parametrelerinden kaynaklanan şekilsiz adacıkların varlığı gözlenmiştir. Tavlama işleminin sırasıyla 200, 250 ve 300 °C 'lerde yapıldığı 4.20 μm kalınlığındaki A1, 2.50 μm kalınlığındaki A2 ve 4,90 μm kalınlığındaki A3 numunelerinde ise tavlama işlemi sonucunda numunelerin tanecik boyutu beklendiği gibi 125.59 Å, 116.22 Å ve 116.22 Å olarak bulunması öncelikle film kalınlıklarına daha sonra ise tavlama sıcaklığına bağlıdır. Numunelerin yüzeylerinin pürüzlülük değerlerinin tavlama sıcaklığına bağlı olarak sırasıyla 25.13, 15.49 ve 10.34 (Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Şekil 5.15.) şeklinde gerçekleşmesi beklenen sonuçtur. Bu sıcaklıklar arasında Çizelge 5.2. 'de verilen Cd ve S elementlerinin fiziksel parametreleri etkilenmektedir. S elementi tamamen diffüze olurken Cd elementi tavlama ile istenen ve beklenen özellikleri göstermektedir. A3 numunesinin pürüzlülük değeri, elektriksel ve optik özellikleri açısından en iyi numune olarak belirlenmiştir. A3 numunesinde uygun pürüzlülük tavlama ile sağlanırken yüzeyde Cd ve S elementlerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak sıcaklık altında yüzeysel akımlar net bir şekilde görülmektedir. Bu akmanın filmin fiziksel özelliklerini etkilediği düşünülmektedir.

Çizelge 5.2. Cd ve S elementlerinin fiziksel özellikleri (<http://www.kimyaevi.org>)

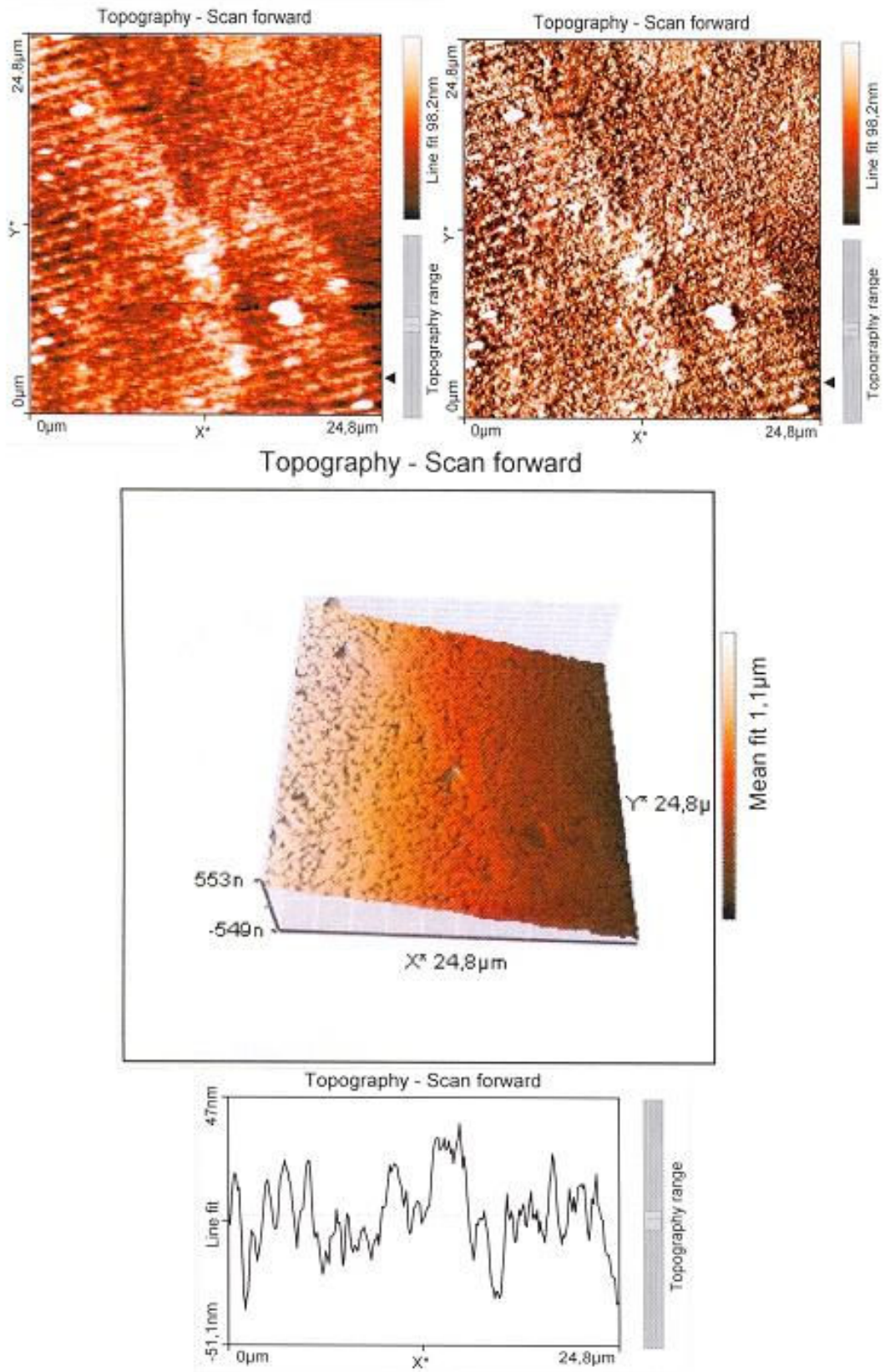
Element	Erime Noktası		Kaynama Noktası	
Cd	321,07 °C	594.22K	767,00°C	1040,00K
S	115.21 °C	388.36K	444.72°C	717.87K



Şekil 5.10. A1 numunesine ait AFM görüntüleri



Şekil 5.11. A2 numunesine ait AFM görüntüleri



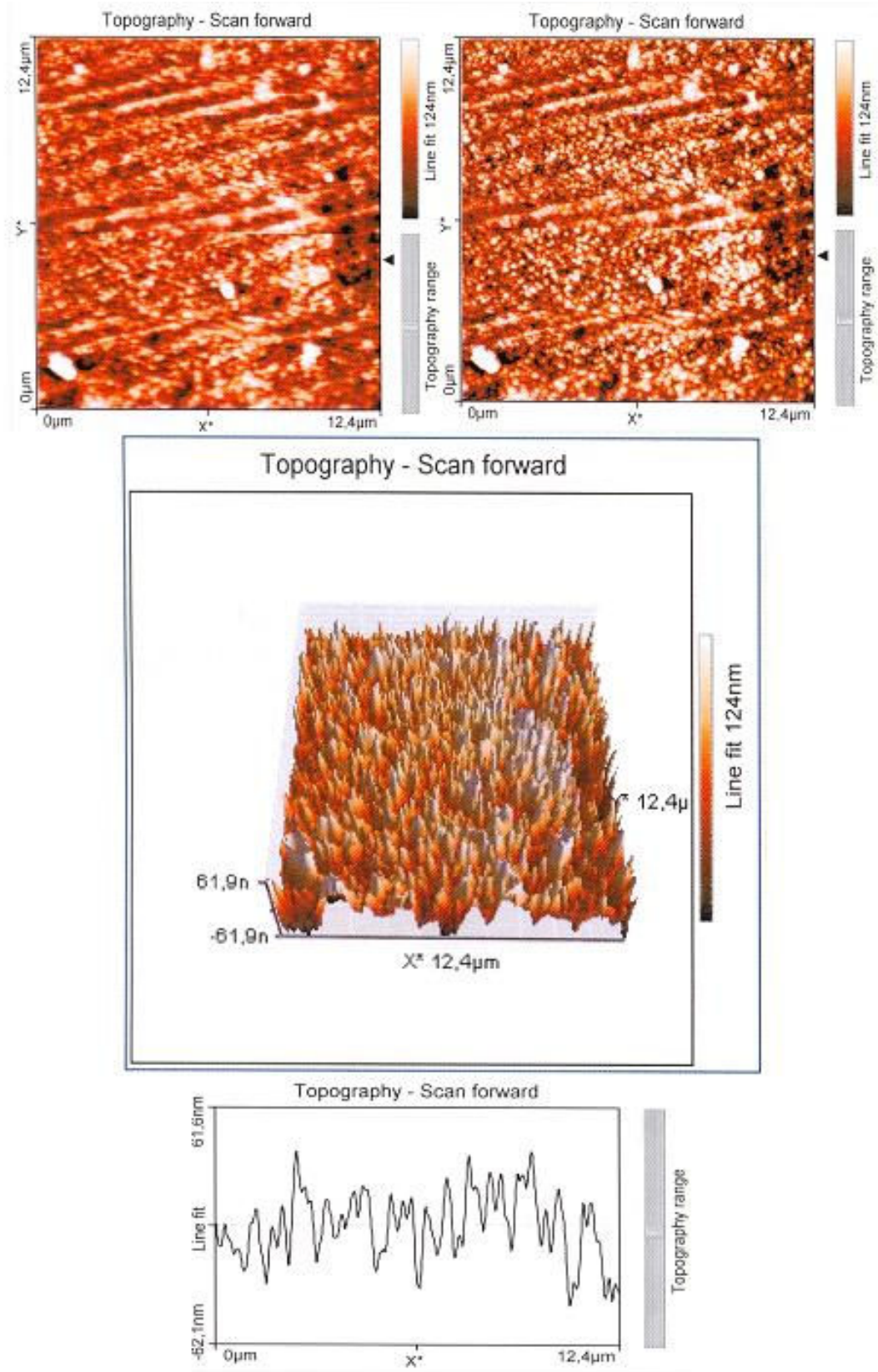
Şekil 5.12. A3 numunesine ait AFM görüntüleri

Yine aynı sıcaklıkta ve konsantrasyonda eşit parametreler altında büyütülen ve AFM görüntüleri (Şekil 5.13., Şekil 5.14. ve Şekil 5.15.); A4 numunesi için, x ve y koordinatlarında sırasıyla $12,4 \times 12,4 \mu\text{m}^2$ 'lik birim alanda ve z koordinatında 124 nm, A5 numunesi için, x ve y koordinatlarında sırasıyla $12,4 \times 12,4 \mu\text{m}^2$ 'lik birim alanda ve z koordinatında 204 nm, A6 numunesi için, x ve y koordinatlarında sırasıyla $12,4 \times 12,4 \mu\text{m}^2$ 'lik birim alanda ve z koordinatında 669 nm,'lik derinlikte alınmıştır. Yatay x ve y koordinatlarındaki taramalarda optik görüntüleri doğrulayan ve püskürtme parametrelerinden kaynaklanan şekilsiz adacıkların varlığı gözlenmiştir.

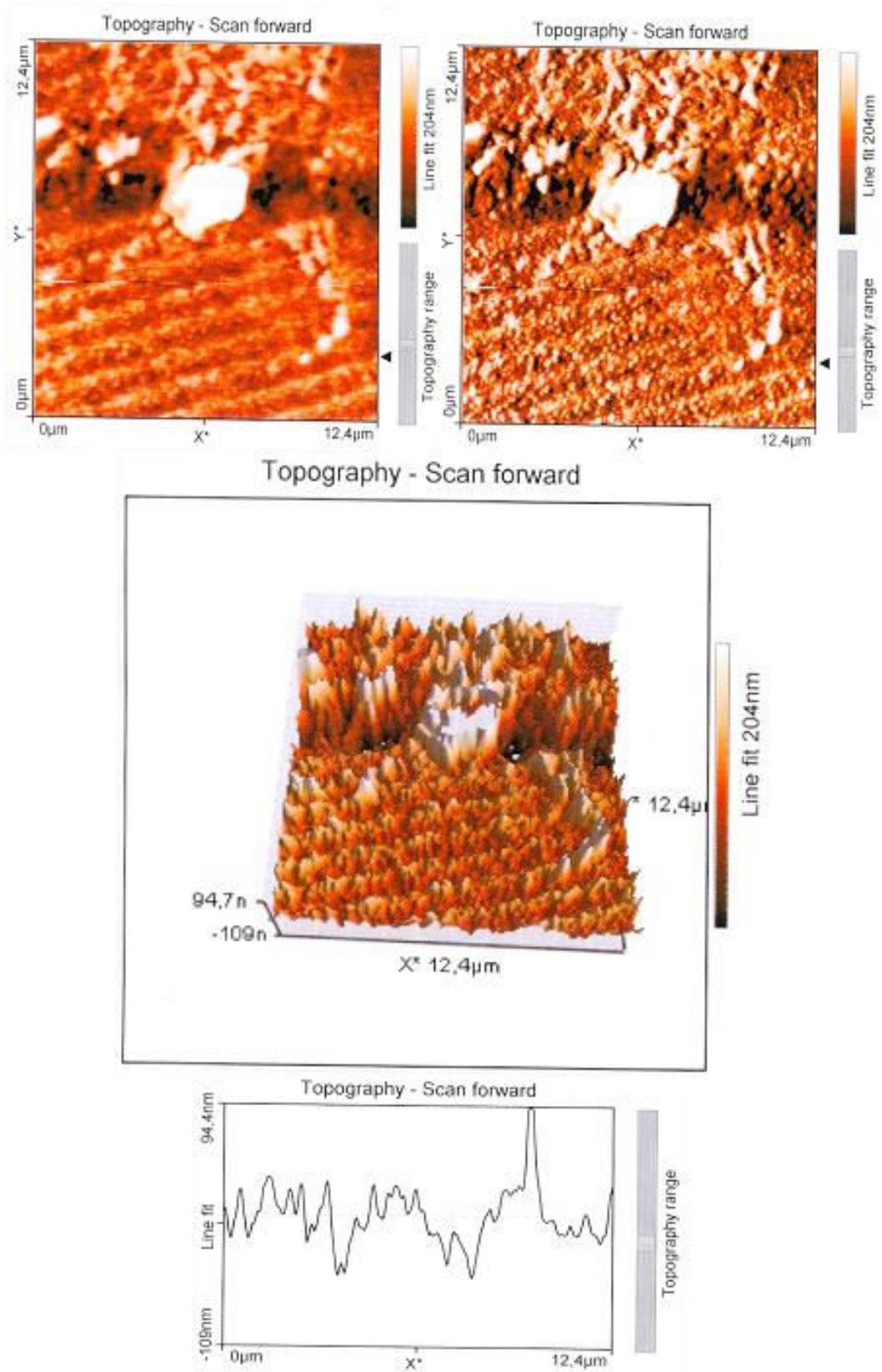
Tavlama işleminin sırasıyla 350, 400 ve 450 °C 'lerde yapıldığı 3,80 μm kalınlığındaki A4, 2,40 μm kalınlığındaki A5 ve 3,40 μm kalınlığındaki A6 numunelerinde ise tavlama işlemi sonucunda numunelerin tanecik boyutu 135,59 Å, 125,33 Å ve 135,59 Å olarak bulunması; yine, öncelikle film kalınlıklarına daha sonra ise tavlama sıcaklığına bağlıdır.

Numunelerin yüzeylerinin pürüzlülük değerlerinin tavlama sıcaklığına bağlı olarak sırasıyla 12.07, 27.43 ve 45.00 (Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Şekil 5.16.) şeklinde gerçekleşmesi de beklenen sonuçtur.

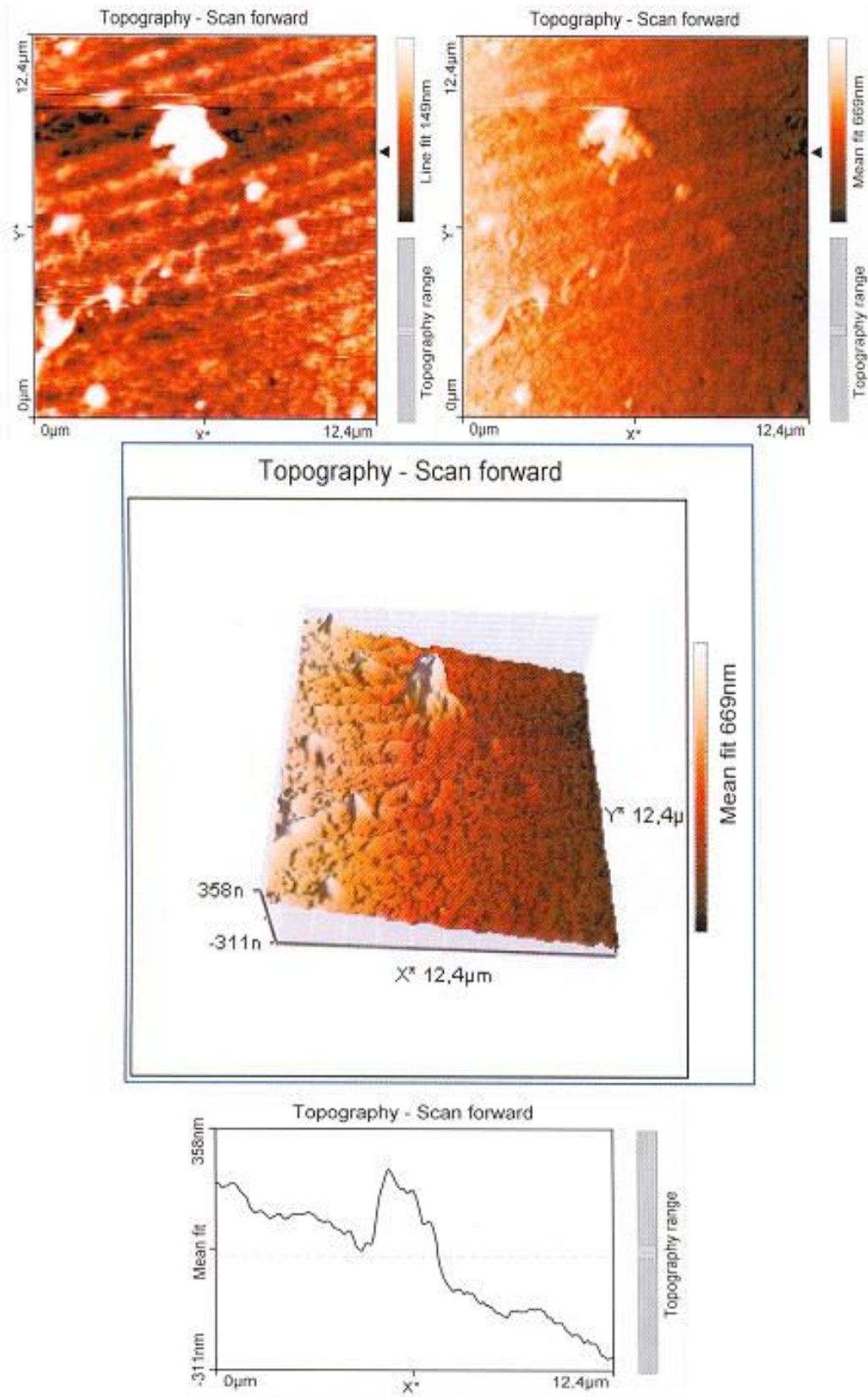
Bu sıcaklıklar arasında Çizelge 5.2.'de verilen Cd ve S elementlerinin fiziksel parametreleri etkilenmektedir. S elementi tamamen, Cd elementi ise tavlama ile bu tavlama sıcaklığı sınırında beklenen özellikleri göstermektedir. A5 ve A6 numuneleri bu sıcaklıkta kompozit bir yapı sergilemekte olup numuneler için elde edilen bu sonuçlar elektriksel ve optik özellikleri olumsuz etkiyecek yüzeysel durumlar taşımaktadırlar.



Şekil 5.13. A4 numunesine ait AFM görüntüleri



Şekil 5.14. A5 numunesine ait AFM görüntüleri



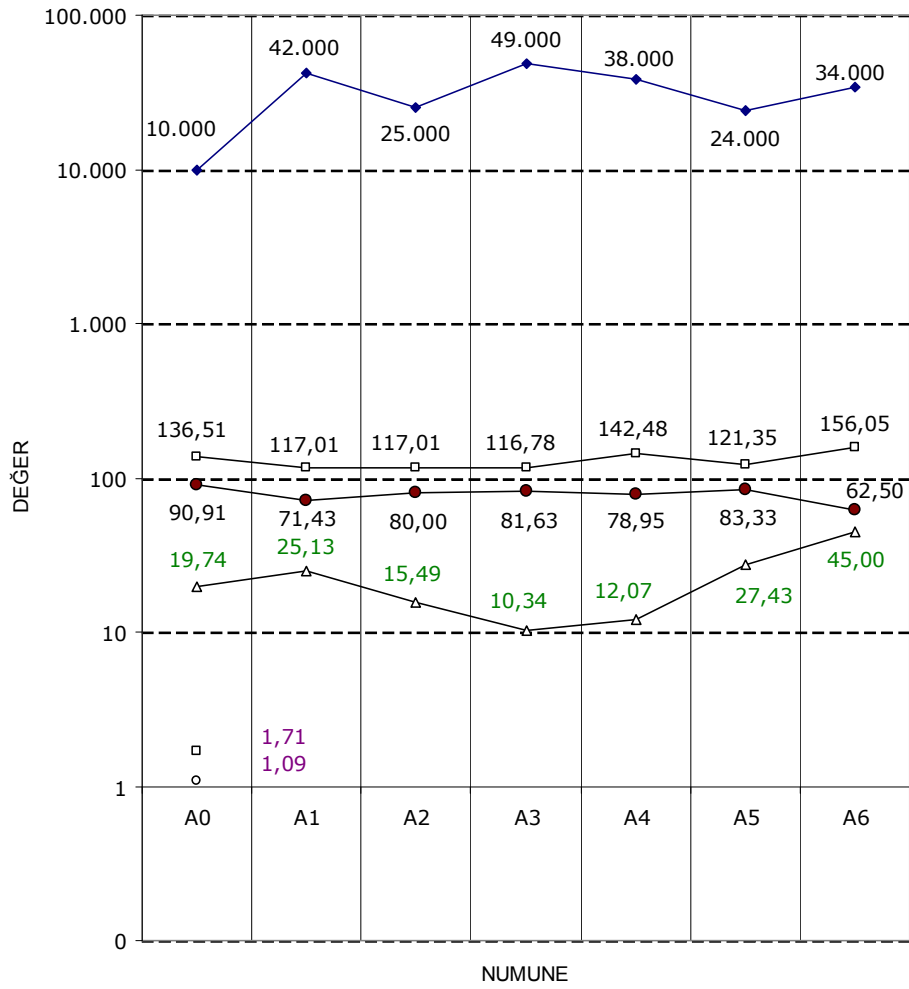
Şekil 5.15. A6 numunesine ait AFM görüntüleri

Numune Kodu	d (Å)	$h k l$	Kristal Sistem i	Taban Sıcaklığı (± 5 oC)	Tavlama Sıcaklığı (± 2 oC)	Tercihli Yönelim		β yan pik genişliği (10^{-3} rad)	D Tanecik Boyutu (Å)	örgü sabiti		Film Kalınlığı x_f μ m	Pürüzlülük Katsayısı R_{RMS}	Üniformluk Değeri $\% X_g$
						2θ (°)	θ_B (°)			a=b (Å)	c (Å)			
A0	3,3565	0 0 2	hex.		Ham	26,60	13,30	8,73	136,51	4,1360	6,7130	1,0	19,74	90,91
A1	3,3565	0 0 2	hex.		200	26,60	13,30	11,34	117,01	4,1360	6,7130	4,2	25,13	71,43
A2	3,5689	1 0 0	hex.		250	25,00	12,50	12,22	117,01	4,1360	6,6820	2,5	15,49	80,00
A3	3,5828	1 0 0	hex.	300	300	24,90	12,45	12,22	116,78	4,1360	6,7140	4,9	10,34	81,63
A4	3,5689	1 0 0	hex.		350	25,00	12,50	10,47	142,48	4,1210	6,6820	3,8	12,07	78,95
A5	3,357	0 0 2	hex.		400	25,60	12,80	11,34	121,35	4,1370	6,7140	2,4	27,43	83,33
A6	3,5819	1 0 0	hex.		450	24,90	12,45	10,47	156,05	4,1360	6,7130	3,4	45,00	62,50

Çizelge 5.3. Numunelerin sabit taban sıcaklığında değişken tavlama sıcaklıkları ile elde edilen film kalınlıkları, pürüzlülükleri ve tanecik boyutları ile bazı yapısal parametreleri

Çizelge 5.4. Numunelerin film kalınlıkları, pürüzlülükleri ve tanecik boyutları

Numune Kodu	Film Kalınlığı W_f (Å)	Tanecik Boyutu D (Å)	Atom Çapı Cd^{+2} (Å)	Atom Çapı S^{-2} (Å)	R_{RMS}	Üniformluk Değeri $\%x_u$
A0	10.000	136,51	1,71	1,09	19,74	90,91
A1	42.000	117,01			25,13	71,43
A2	25.000	117,01			15,49	80,00
A3	49.000	116,78			10,34	81,63
A4	38.000	142,48			12,07	78,95
A5	24.000	121,35			27,43	83,33
A6	34.000	156,05			45,00	62,50



Şekil 5.16. Numunelerin film kalınlıkları, pürüzlülükleri ve tanecik boyutu değerlerinin grafik gösterimi

A6 numunesinde tavlama ile yüzeyde Cd ve S elementlerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak sıcaklık altında yüzeysel akımlar net bir şekilde görülmektedir. Bu akmanın filmin fiziksel özelliklerini etkilediği düşünülmektedir.

5.5. SEM Görüntüleri ve Elemental Analizler

Malzemelerin fiziksel özellikleri kristal yapılarına ve yüzeysel durumlarına bağlı olup yapısal analizler makroskopik ve mikroskopik düzeyde gerçekleştirilmektedir. Makroskopik incelemeler büyütme oranı küçük olan optik mikroskoplarla yapılmaktadır. Bu incelemeler genel anlamda malzemenin yüzey görünümü hakkında bilgiler içermektedir. Mikroskopik incelemeler ise kristal yapıları ve kusurları dahil olmak üzere malzemelerin yapısal ayrıntılarını ortaya koyan elektron mikroskopları ile yapılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) bu konuda en yaygın kullanılan cihazlardan biridir (*Savaşkan, 1999; Atay, et al., 2003*).

SEM, filmin kalınlığının önemi olmaksızın, temel olarak malzemenin yüzeyinde küçük bir noktaya gönderilen elektron demetleri yardımıyla yüzeyden saçılan ikincil elektron sinyallerini algılayarak numunenin bileşimi, kristallografik özellikleri, morfolojik ve topografik yapısı hakkında bilgi verir. Çoğunun ayırma gücü $\sim 3-5$ nm. civarında olan bu cihazlar $15-10^5$ aralığındaki büyütmeyle görüntü verebilmektedirler. Alınan görüntülerin parlaklığı numuneden saçılan elektronların sayısal fazlalığına bağlıdır. AFM görüntülerinde de varlığı gözlenen çukur bölgelerden saçılan elektron sinyalleri alınmadığından bu noktalara ait görüntüler karanlık bölge olarak ortaya çıkarlar. Numune yüzeyindeki tepcikler elektron saçılmalarının en iyi olduğu yüzey durumlarıdır. SEM, sağlıklı görüntü alınabilmesi için taramanın düzgün yapılması amacıyla numune yüzeyinin kirli ve tozlu olmamasının yanı sıra vakumda buharlaşmayan iletken yüzeyli numunelerin kullanılmasının zorunlu olduğu cihazlardır. Bu nedenle, yüzeyinde iletken olmayan bölgelerin olduğu numunelerin atom numarası yüksek kaplama elemanları ile kaplanması gerekmektedir. Kaplama işleminde kullanılacak elemanların yüksek atom numarasına sahip metallere olması istenir.

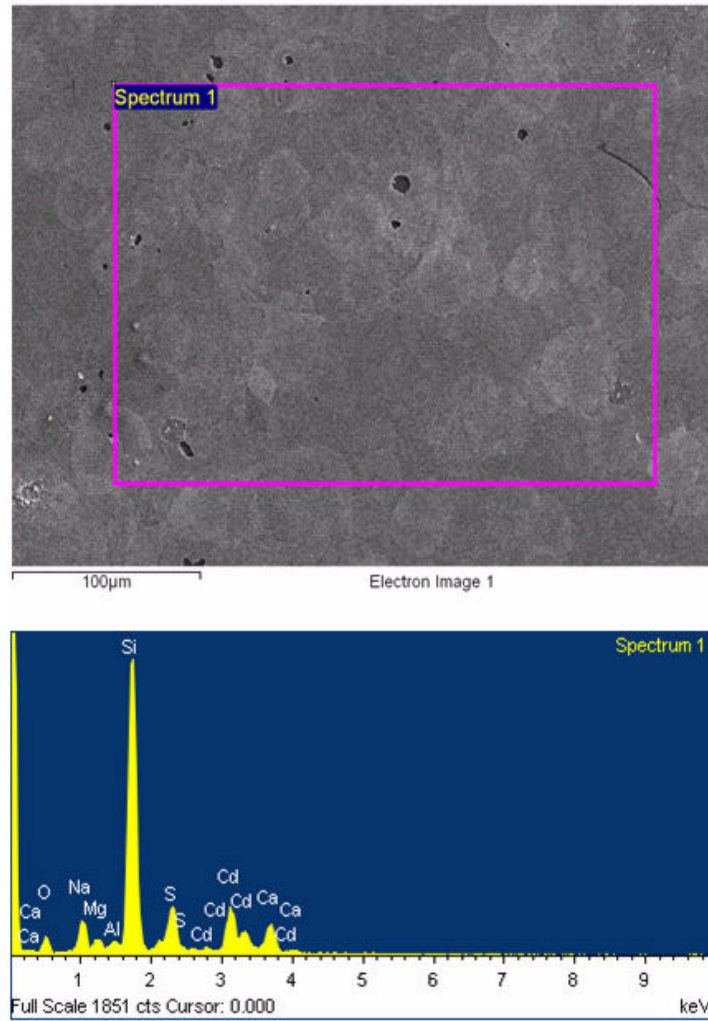
Bunun nedeni daha küçük etkileşim hacmi ve daha kuvvetli sinyal alınmasına müsaade etmeleridir (*Goldstein, et al., 1992*).

SEM 'de kimyasal analizler enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi (EDS) ile yapılmaktadır. Bu teknik, numune üzerine yüksek şiddette elektron demeti göndererek numune yüzeyinden kopartılan elektronların numunenin karakteristik x-ışınımını temsil etmesi nedeniyle bu desenlerin incelenmesi üzerine kuruludur. EDS yardımıyla yapılan nitel analizlerde numunenin içerdiği elementlerin cinsi, nicel analizle ise bu elementlerin miktarları belirlenebilmektedir (*Atay, et al., 2003*).

5.5.1. Filmlerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri

Elde edilen filmlerin yüzeysel görüntüleri ZEISS SUPRA 50VP SEM cihazı kullanılarak alınmıştır. ZEISS SUPRA 50VP SEM cihazına bağlanmış enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi (EDS) kullanılarak tüm filmlerin mikroanalizleri yapılmıştır. Filmlerin SEM görüntülerinin daha net alınabilmesi için filmlerin yüzeylerine Au kaplama yapılmıştır.

A0 numunesinin Şekil 5.17'de verilen 1.000X büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin iyi oluşmamasının yanı sıra film kalınlığının azalması ve tanecik dizilişlerinin düzensizleşmesi olduğu, yine yüzey üzerinde görülen farklı büyüklükte ve şekilsiz beyaz bölgelerin iyi atomize olmamış parçacıkların yüzey üzerinde tortular şeklinde yığılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir. 1.000X büyütme SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.5), Cd elementinin (%16,08) S elementine (%11,64) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.



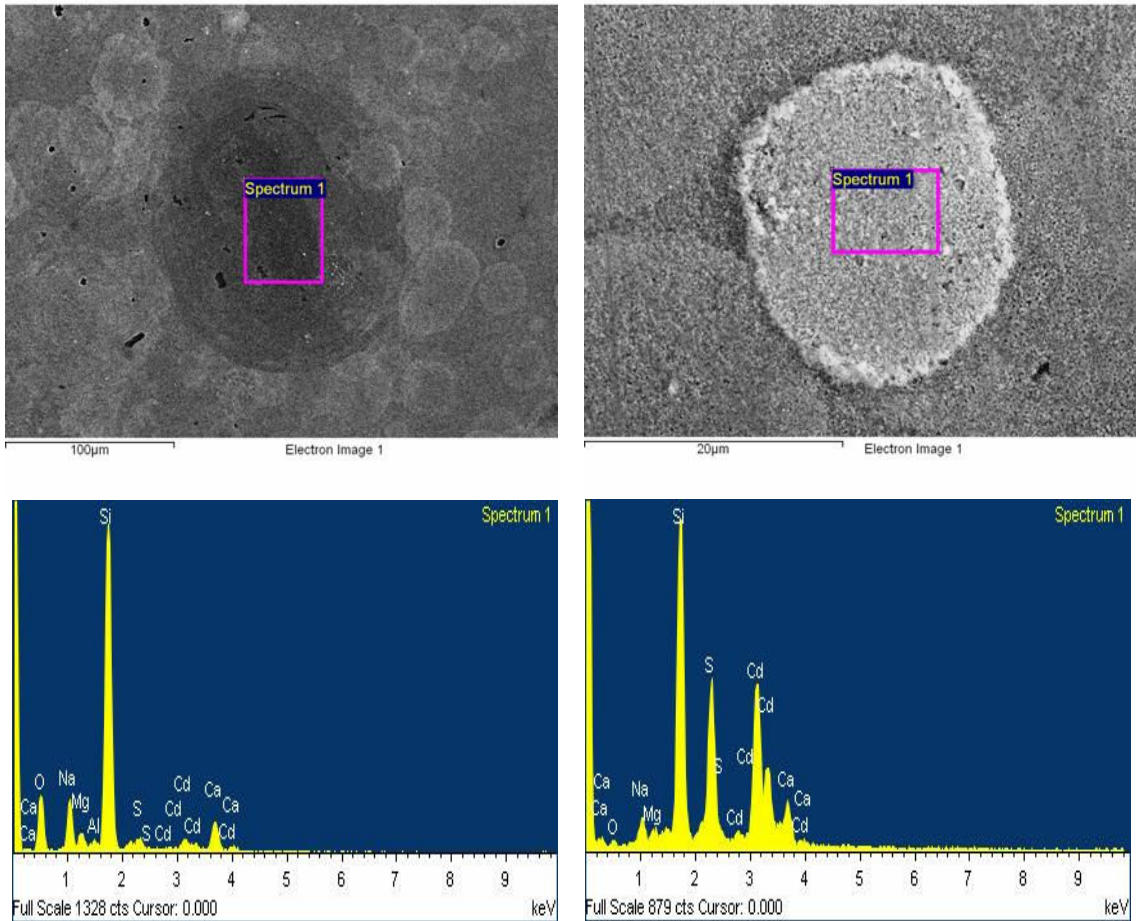
Şekil 5.17. A0 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

Çizelge 5.5. A0 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	4,86	4,85	6,55	Na ₂ O
Mg - K	1,33	1,26	2,21	MgO
Al - K	0,63	0,53	1,18	Al ₂ O ₃
Si - K	26,63	21,78	56,97	SiO ₂
S - K	4,66	3,34	11,64	SO ₃
Ca - K	3,84	2,20	5,37	CaO
Cd - L	14,08	2,88	16,08	CdO
O	43,98	63,15		

Beyaz bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu, Cd elementinin (%33,12) S elementine (%22,03) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.6). Cd ve S elementlerinin elemental değerinin yüksek çıkması tortulaşmanın varlığını doğrulamaktadır.

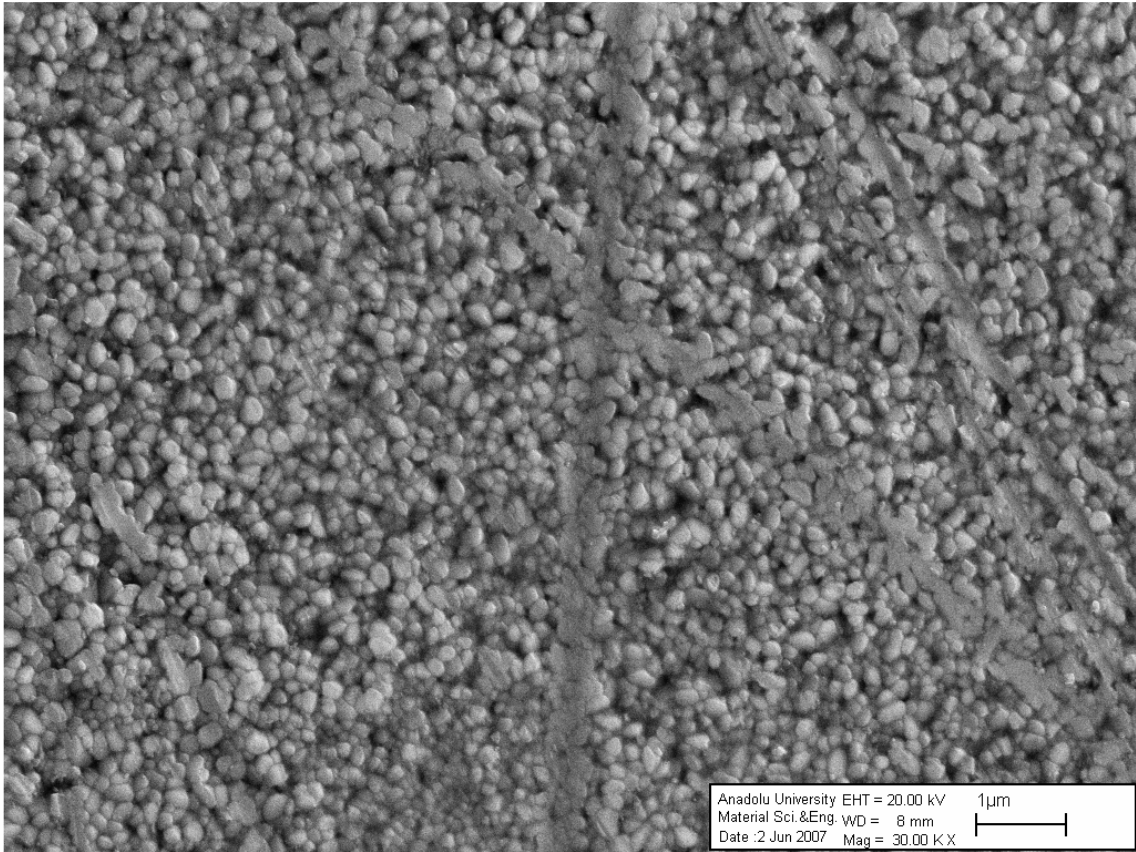
Şekil 5.18'de verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu, Cd elementinin (%4,34) S elementine (%2,32) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.6).



Şekil 5.18. A0 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

Çizelge 5.6. A0 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül	Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	7,77	7,14	10,47	Na ₂ O	Na - K	2,13	2,44	2,87	Na ₂ O
Mg - K	2,15	1,87	3,57	MgO	Mg - K	0,77	0,83	1,27	MgO
Al - K	0,74	0,58	1,4	Al ₂ O ₃	Al - K				Al ₂ O ₃
Si - K	33,06	24,88	70,73	SiO ₂	Si - K	17,14	16,09	36,68	SiO ₂
S - K	1,13	0,74	2,82	SO ₃	S - K	8,82	7,25	22,03	SO ₃
Ca - K	4,77	2,51	6,67	CaO	Ca - K	2,88	1,89	4,03	CaO
Cd - L	3,80	0,71	4,34	CdO	Cd - L	29,00	6,80	33,12	CdO
O	46,58	61,55			O	39,26	64,69		

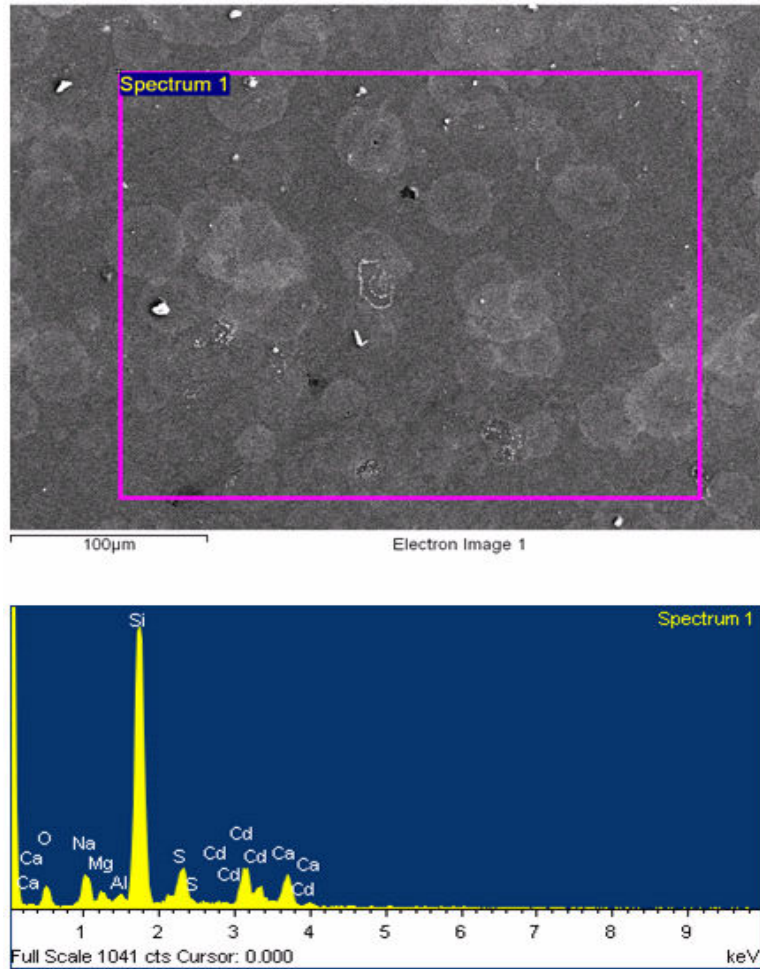


Şekil 5.19. A0 numunesinin 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü

Bu numunenin Şekil 5.19’da verilen 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde ise filmin yüzeyinin oldukça homojen olduğu, taneciklerin periyodik bir

dizilime sahip olduğu görülmüş ancak taneciklerin yassı olarak ezilmiş gibi belirgin bir dizide birbirini takip ederek oluşturduğu vadimsi çizgilerin nedeni anlaşılamamıştır. Ancak bunun sebebinin deney parametrelerine bağlı olabileceği gibi kullanılan cam tabanların üretimden kaynaklanan bu bölgelerdeki kalınlıklarının diğer bölgelere göre daha az olduğundan, aynı taban sıcaklığı olmasına karşın daha ince olan bu bölgelerde taneciklerin bu sıcaklıktan daha fazla etkilenerek bu şekilde yapılabileceği gibi çöktürmeye de bağlı olabileceği düşünülmektedir.

A1 numunesinin Şekil 5.20’de verilen 1.000X büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.20. A1 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

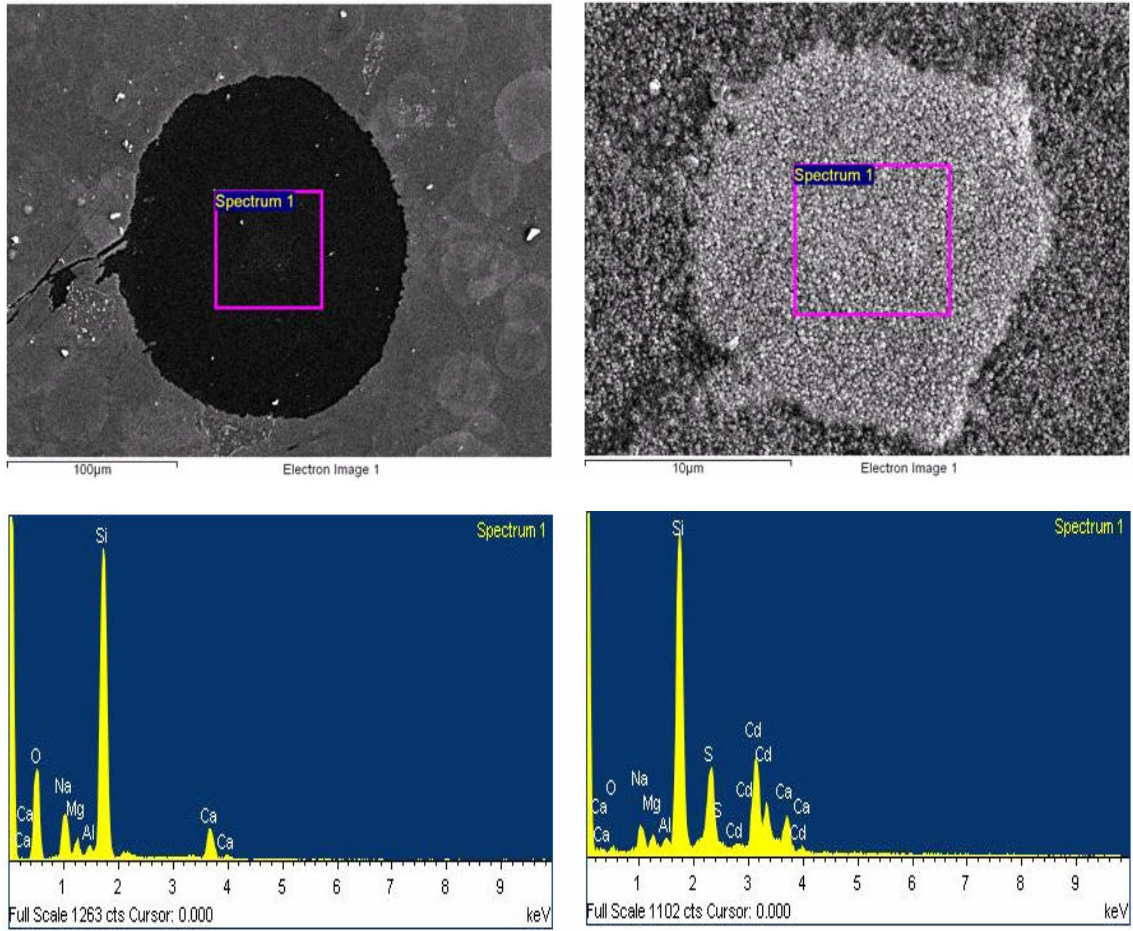
Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin oluşmadığı, yine yüzey üzerinde görülen farklı büyüklükte ve şekilsiz beyaz bölgelerin iyi atomize olmamış parçacıkların yüzey üzerinde tortular şeklinde yığılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir. 1.000X büyütme SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.7), Cd elementinin (%14,98) S elementine (%9,92) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.7. Al numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	5,15	5,11	6,94	Na ₂ O
Mg - K	1,38	1,3	2,29	MgO
Al - K	0,69	0,58	1,3	Al ₂ O ₃
Si - K	27,41	22,28	58,64	SiO ₂
S - K	3,97	2,83	9,92	SO ₃
Ca - K	4,24	2,42	5,94	CaO
Cd - L	13,11	2,66	14,98	CdO
O	44,05	62,83		

Şekil 5.21’de verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si ve Ca elementlerinin bulunduğu, Cd ve S elementlerinin olmaması nedeniyle bu bölgelerde film oluşumu olmadığı doğrulanmaktadır (Çizelge 5.8).

Beyaz bölgelerin elemental analizinde ise Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu, Cd elementinin (%25,32) S elementine (%16,16) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.8). Cd ve S elementlerinin elemental değerinin yüksek çıkması tortulaşmanın varlığını doğrulamaktadır. Bu numunenin Şekil 5.22’de verilen 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde ise filmin yüzeyinin A0 numunesine göre daha az homojen olduğu, taneciklerin periyodik bir dizilime sahip olduğu görülmüştür.

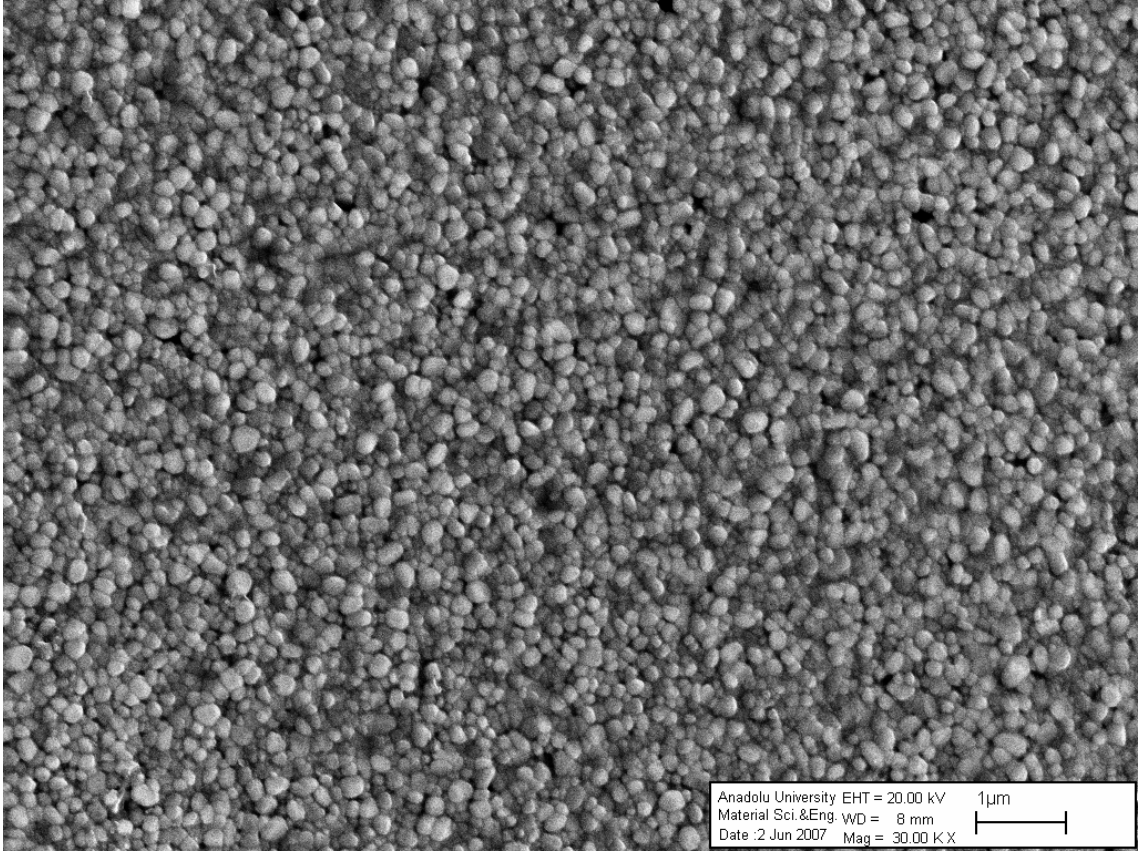


Şekil 5.21. Al numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

Çizelge 5.8. Al numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıların ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	8,06	7,20	10,86	Na ₂ O
Mg - K	2,25	1,90	3,73	MgO
Al - K	1,03	0,79	1,05	Al ₂ O ₃
Si - K	35,64	26,06	76,25	SiO ₂
S - K				SO ₃
Ca - K	5,15	2,64	7,20	CaO
Cd - L				CdO
O	47,87	61,43		

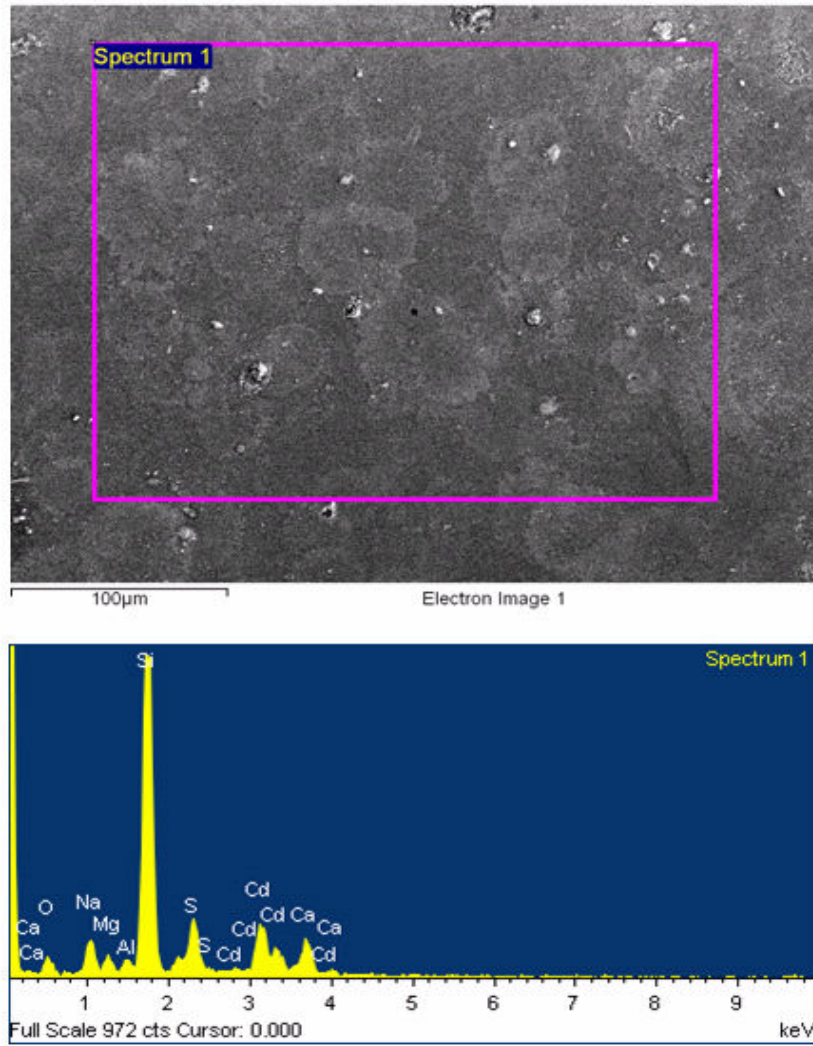
Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	3,06	3,29	4,12	Na ₂ O
Mg - K	1,13	1,15	1,87	MgO
Al - K	0,61	0,56	1,15	Al ₂ O ₃
Si - K	21,75	19,14	46,54	SiO ₂
S - K	6,47	4,99	16,16	SO ₃
Ca - K	3,46	2,13	4,84	CaO
Cd - L	22,16	4,87	25,32	CdO
O	41,36	63,87		



Şekil 5.22. A1 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

A2 numunesinin Şekil 5.23’de verilen 1.000X büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin oluşmadığı, yine yüzey üzerinde görülen farklı büyüklükte ve şekilsiz beyaz bölgelerin iyi atomize olmamış parçacıkların yüzey üzerinde tortular şeklinde yığılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir.

1.000X büyütme SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.9), Cd elementinin (%16,30) S elementine (%10,85) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.



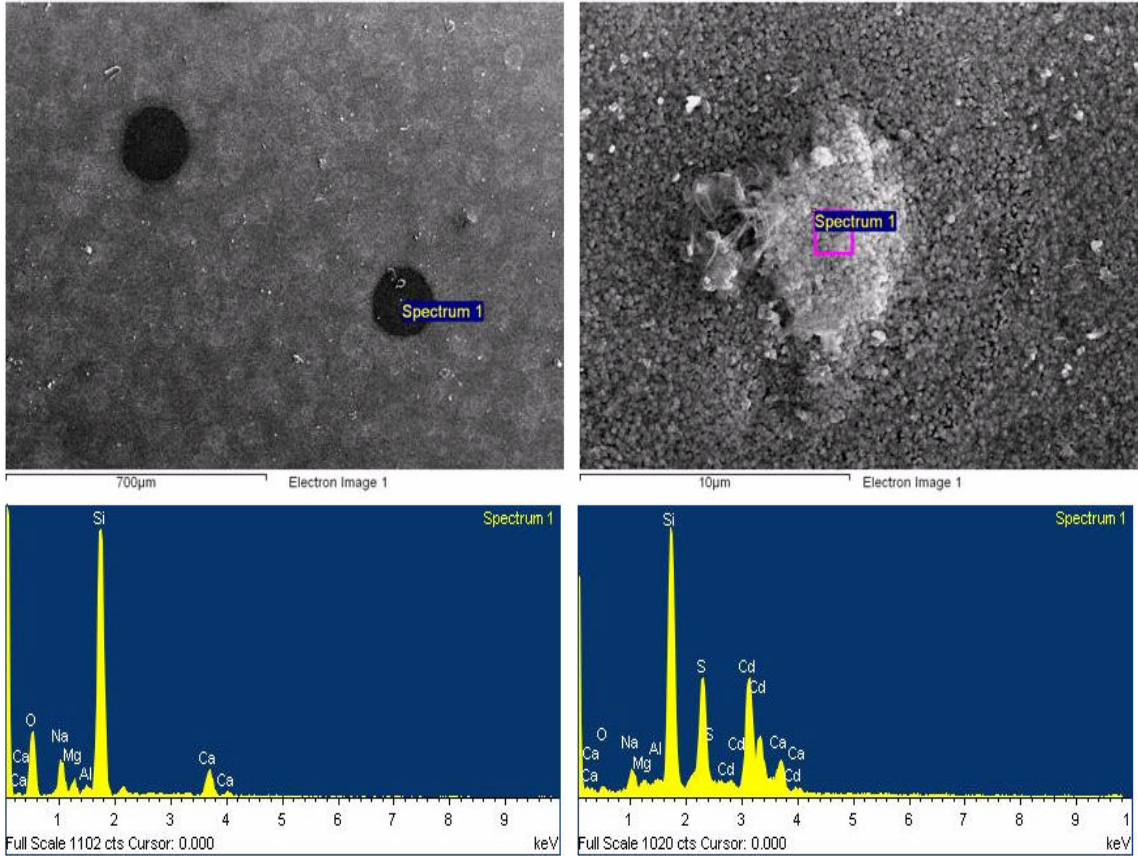
Şekil 5.23. A2 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

Çizelge 5.9. A2 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	4,59	4,6	6,19	Na ₂ O
Mg - K	1,66	1,58	2,76	MgO
Al - K	1,04	0,89	1,96	Al ₂ O ₃
Si - K	26,42	21,66	56,53	SiO ₂
S - K	4,35	3,12	10,85	SO ₃
Ca - K	3,87	2,22	5,41	CaO
Cd - L	14,27	2,92	16,30	CdO
O	43,8	63,02		

Şekil 5.24’de verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si ve Ca elementlerinin bulunduğu, Cd ve S elementlerinin olmaması nedeniyle bu bölgelerde film oluşumu olmadığı doğrulanmaktadır (Çizelge 5.10).

Beyaz bölgelerin elemental analizinde ise Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu, Cd elementinin (%31,44) S elementine (%20,55) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.10). Cd ve S elementlerinin elemental değerinin yüksek çıkması tortulaşmanın varlığını doğrulamaktadır.

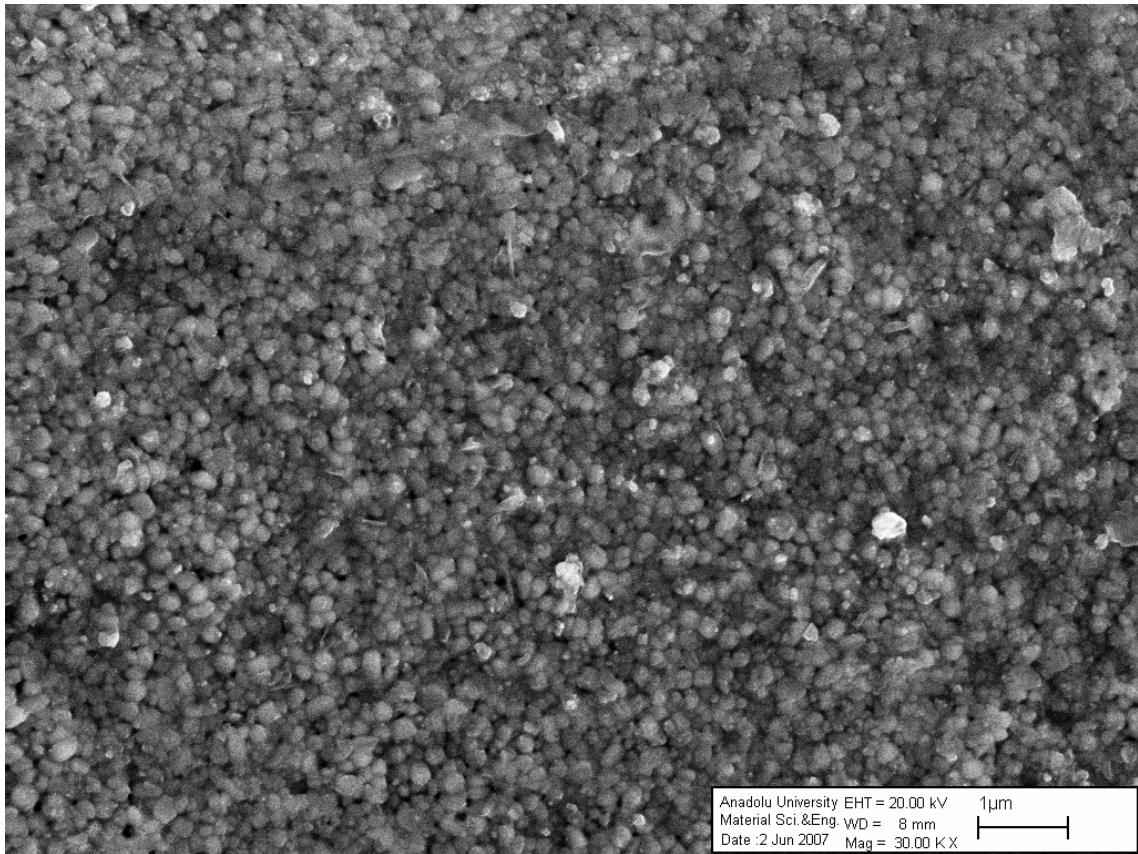


Şekil 5.24. A2 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

Çizelge 5.10. A2 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	7,29	6,51	9,83	Na ₂ O
Mg - K	2,21	1,87	3,67	MgO
Al - K	0,89	0,67	1,67	Al ₂ O ₃
Si - K	36,18	26,46	77,40	SiO ₂
S - K				SO ₃
Ca - K	5,31	2,72	7,43	CaO
Cd - L				CdO
O	48,12	61,77		

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	2,52	2,85	3,40	Na ₂ O
Mg - K	0,53	0,57	0,88	MgO
Al - K	0,48	0,46	0,91	Al ₂ O ₃
Si - K	17,90	16,59	38,30	SiO ₂
S - K	8,23	6,68	20,55	SO ₃
Ca - K	3,23	2,10	4,52	CaO
Cd - L	27,52	6,37	31,44	CdO
O	39,58	64,38		

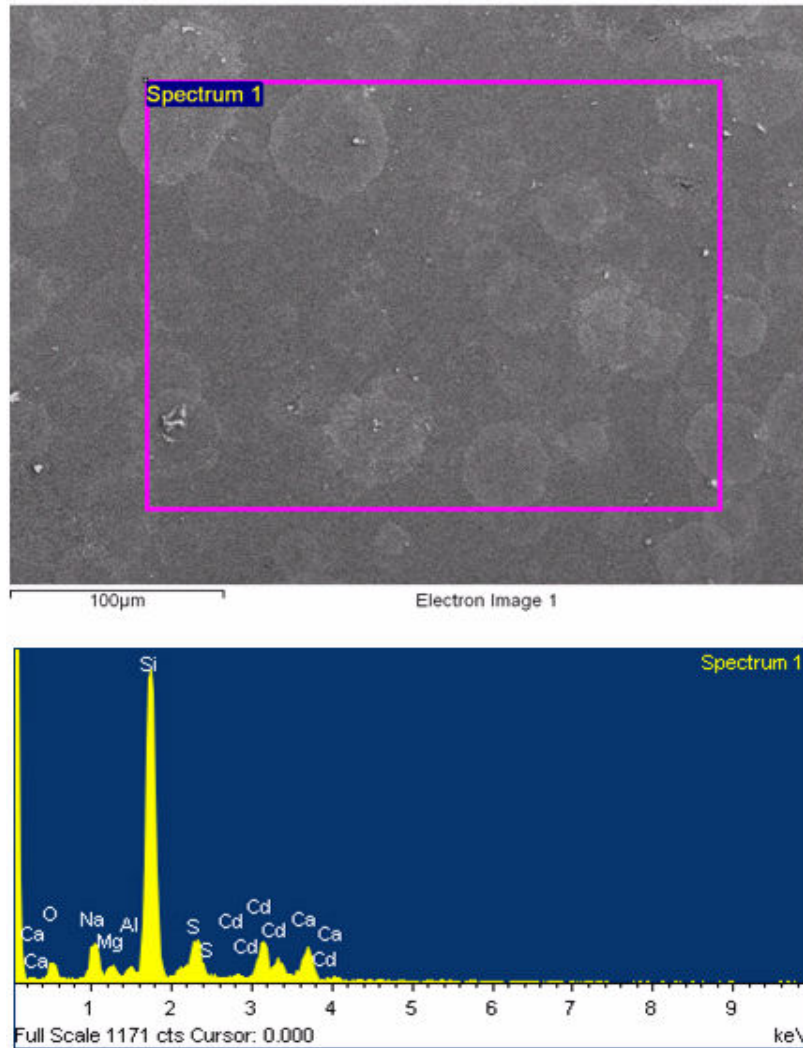


Şekil 5.25. A2 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

Bu numunenin Şekil 5.25’de verilen 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde ise filmin yüzeyinin oldukça homojen olduğu, taneciklerin periyodik bir

dizilime sahip olduğu görülmüştür. Çok nadir olarak, belirli bir bölgede ise bir arada gözlenen beyaz renkli oluşumların nedeninin; beyazımsı bölgelerde Cd elementinin daha yoğun, siyahımsı-gri bölgelerde ise daha az olduğu ve film bünyesinin bu şekilde oluştuğu, jel gibi görünen uzantılı nadir bölgelerin ise deney parametrelerine bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir.

A3 numunesinin Şekil 5.26'da verilen 1.000X büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin oluşmadığı düşünülmektedir.



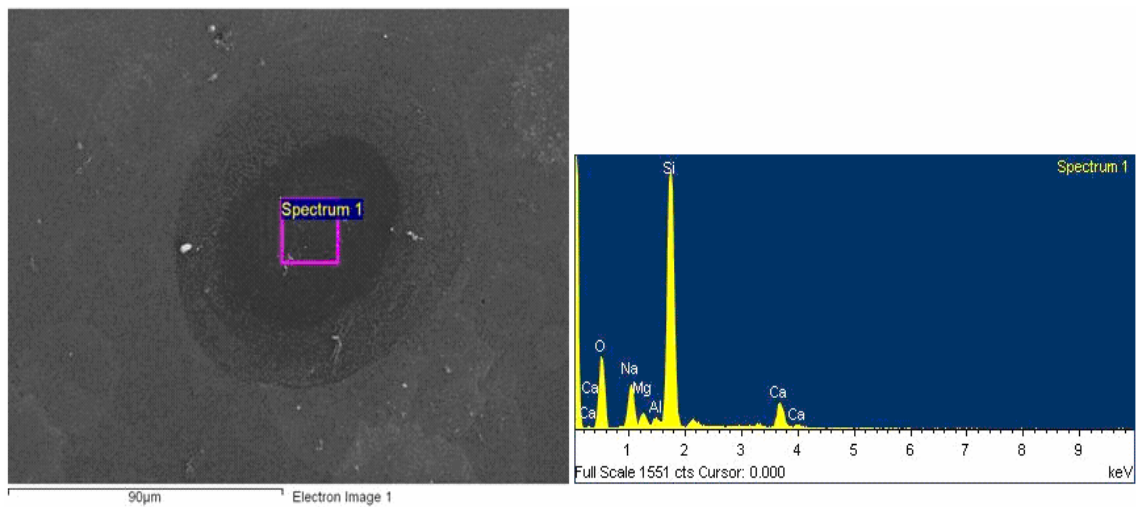
Şekil 5.26. A3 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir. 1.000X büyütme SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.11), Cd elementinin (%14,08) S elementine (%9,35) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.11. A3 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	5,61	5,54	7,57	Na ₂ O
Mg - K	1,20	1,12	1,98	MgO
Al - K	0,79	0,67	1,5	Al ₂ O ₃
Si - K	27,79	22,44	59,44	SiO ₂
S - K	3,74	2,50	9,35	SO ₃
Ca - K	4,34	2,46	6,08	CaO
Cd - L	12,33	2,49	14,08	CdO
O	44,20	62,65		

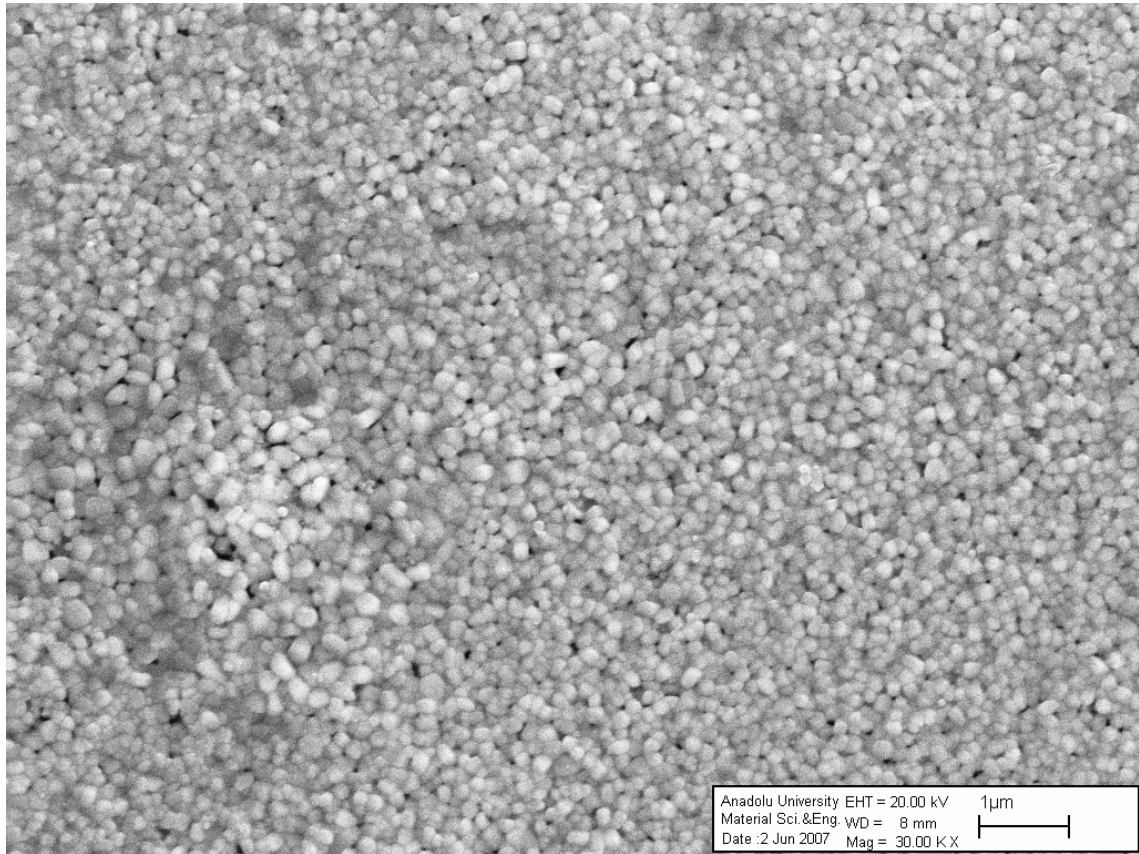
Şekil 5.27’de verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si ve Ca elementlerinin bulunduğu, Cd ve S elementlerinin olmaması nedeniyle bu bölgelerde film oluşumu olmadığı doğrulanmaktadır (Çizelge 5.12).



Şekil 5.27. A3 numunesinde gözlenen siyah noktacıların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

Çizelge 5.12. A3 numunesinde gözlenen siyah noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

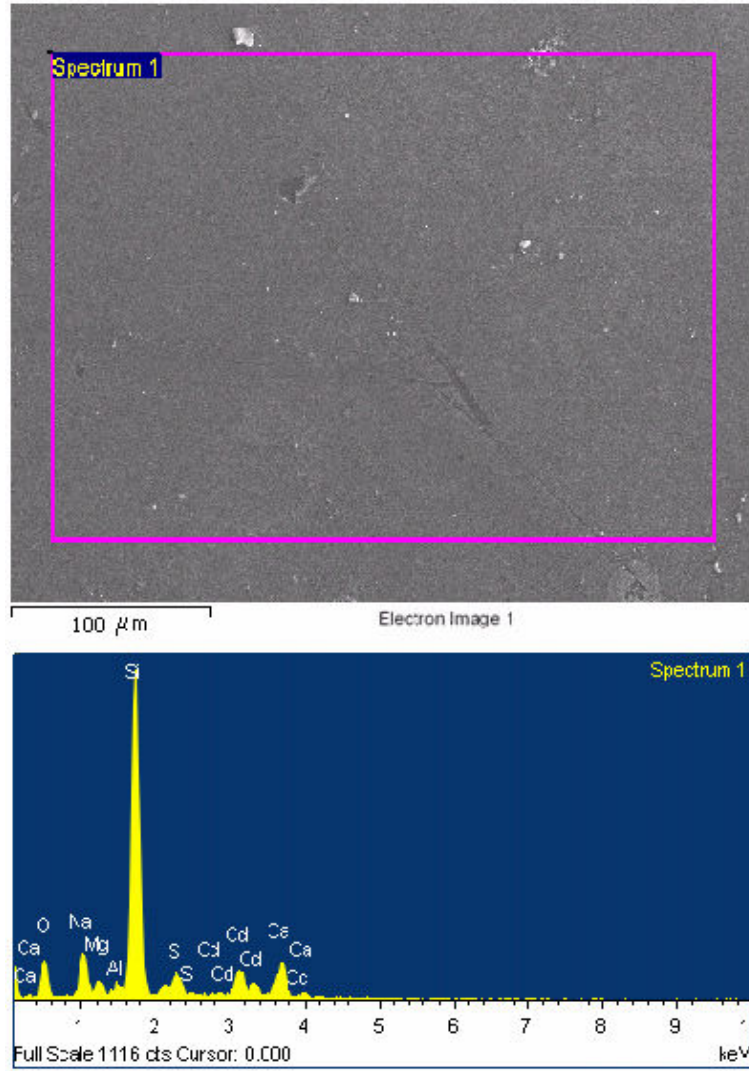
Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	8,64	7,73	11,65	Na ₂ O
Mg - K	2,28	1,93	3,79	MgO
Al - K	0,94	0,71	1,77	Al ₂ O ₃
Si - K	35,25	25,79	75,40	SiO ₂
S - K				SO ₃
Ca - K	5,28	2,71	7,38	CaO
Cd - L				CdO
O	47,61	61,14		



Şekil 5.28. A3 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

Bu numunenin 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.28'de verilmiştir.

Yapılan incelemede ise filmin yüzeyinin A0 numunesine göre biraz daha az homojen olduğu, taneciklerin periyodik bir dizilime sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak geniş yüzeyli dağılmış olarak, belirli bir bölgede ise bir arada gözlenen beyaz renkli oluşumların nedeninin; beyazımsı bölgelerde Cd elementinin daha yoğun, siyahımsı-gri bölgelerde ise daha az olduğu ve film bünyesinin bu şekilde oluştuğu düşünülmektedir



Şekil 5.29. A4 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

A4 numunesinin Şekil 5.29’da verilen 1.000X büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin oluştuğu

görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin oluşmadığı düşünülmektedir. Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir. 1.000X büyütme SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.13), Cd elementinin (%10,25) S elementine (%5,39) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.13. A4 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	6,49	6,22	8,75	Na ₂ O
Mg - K	1,79	1,62	2,96	MgO
Al - K	0,96	0,78	1,81	Al ₂ O ₃
Si - K	30,13	23,66	64,45	SiO ₂
S - K	2,16	1,49	5,39	SO ₃
Ca - K	4,56	2,51	6,38	CaO
Cd - L	8,98	1,76	10,25	CdO
O	44,94	61,96		

Şekil 5.30'da verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si ve Ca elementlerinin bulunduğu, Cd ve S elementlerinin olmaması nedeniyle bu bölgelerde film oluşumu olmadığı doğrulanmaktadır (Çizelge 5.14).

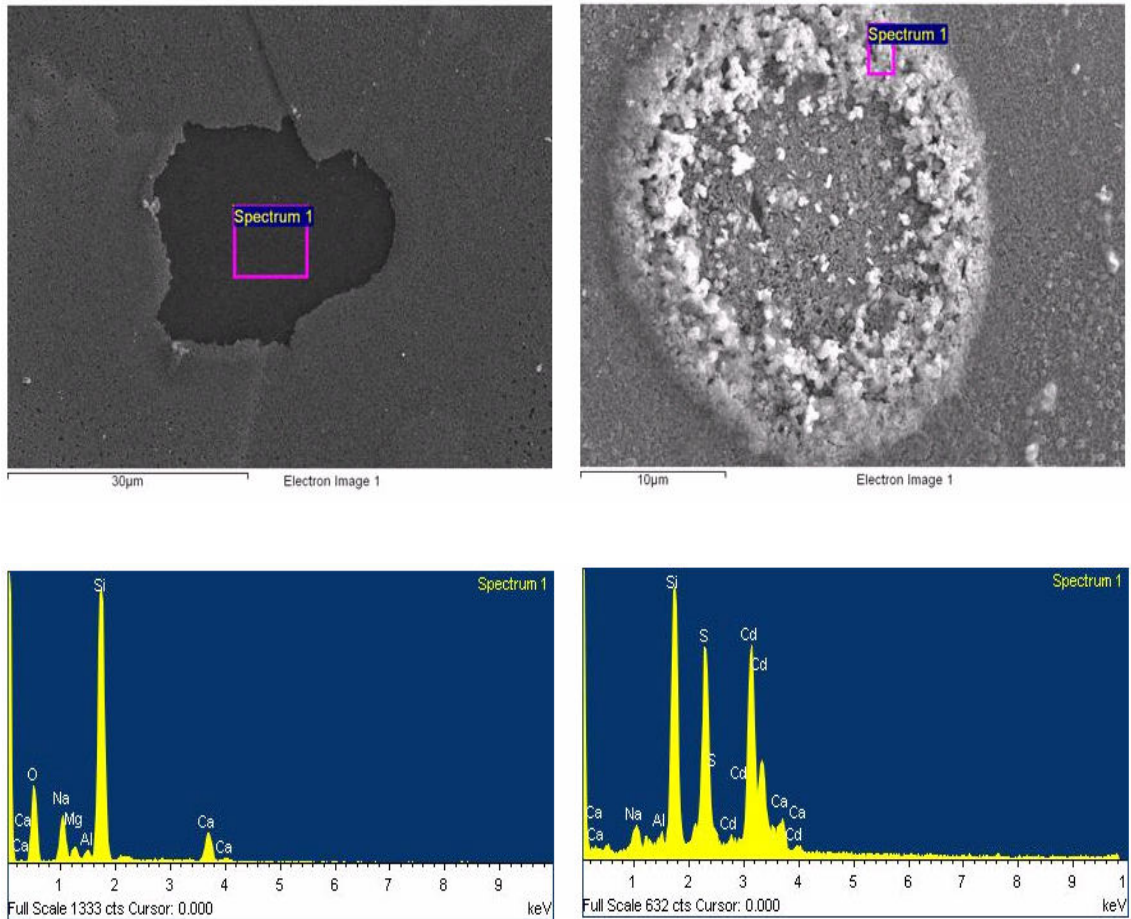
Çizelge 5.14. A4 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktaların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	8,10	7,15	10,92	Na ₂ O
Mg - K	2,87	1,75	3,43	MgO
Al - K	1,14	0,87	2,15	Al ₂ O ₃
Si - K	35,29	25,86	75,5	SiO ₂
S - K				SO ₃
Ca - K	5,72	2,94	8,00	CaO
Cd - L				CdO
O	47,68	61,33		

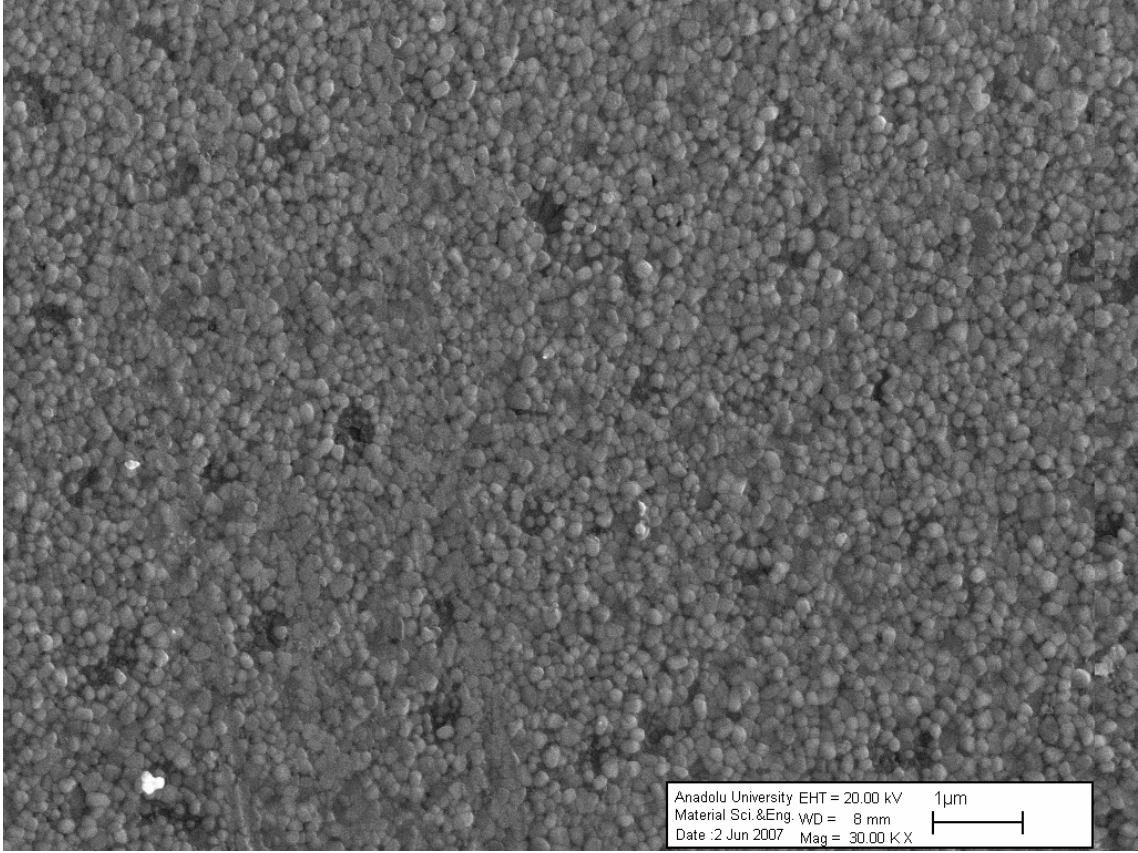
Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	2,29	2,75	3,09	Na ₂ O
Mg - K				MgO
Al - K	0,58	0,59	1,10	Al ₂ O ₃
Si - K	13,21	12,98	28,27	SiO ₂
S - K	10,43	8,98	26,05	SO ₃
Ca - K	2,18	1,50	3,05	CaO
Cd - L	33,65	8,26	38,44	CdO
O	37,65	64,93		

Beyaz bölgelerin elemental analizinde ise Na, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu, Cd elementinin (%38,44) S elementine (%26,05) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmektedir. Cd ve S elementlerinin elemental değerinin yüksek çıkması tortulaşmanın varlığını doğrulamaktadır.

Bu numunenin Şekil 5.31’de verilen 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde ise filmin yüzeyinin A0 numunesine göre biraz daha az homojen olduğu, taneciklerin periyodik bir dizilime sahip olduğu görülmüştür. Yüzeyde çok fazla görünen siyah kısımların film oluşmamış bölümler, nadir beyaz bölgelerin ise Cd elementinin yoğunlaştığı bölgeler olduğu düşünülmektedir



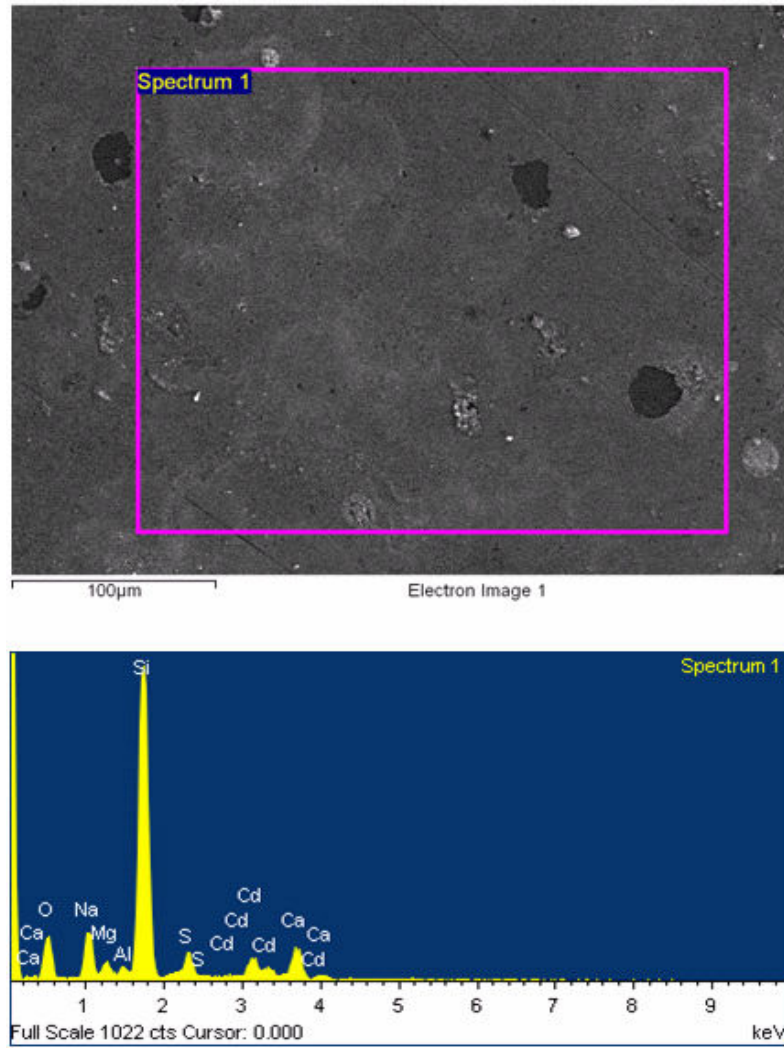
Şekil 5.30. A4 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları



Şekil 5.31. A4 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

A5 numunesinin Şekil 5.32’de verilen 1.000X büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin oluşmadığı düşünülmektedir. Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir. 1.000X büyütmeli SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.15), Cd elementinin (%7,96) S elementine (%6,28) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.

Şekil 5.33’de verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si ve Ca elementlerinin bulunduğu, Cd ve S elementlerinin olmaması nedeniyle bu bölgelerde film oluşumu olmadığı doğrulanmaktadır (Çizelge 5.16).

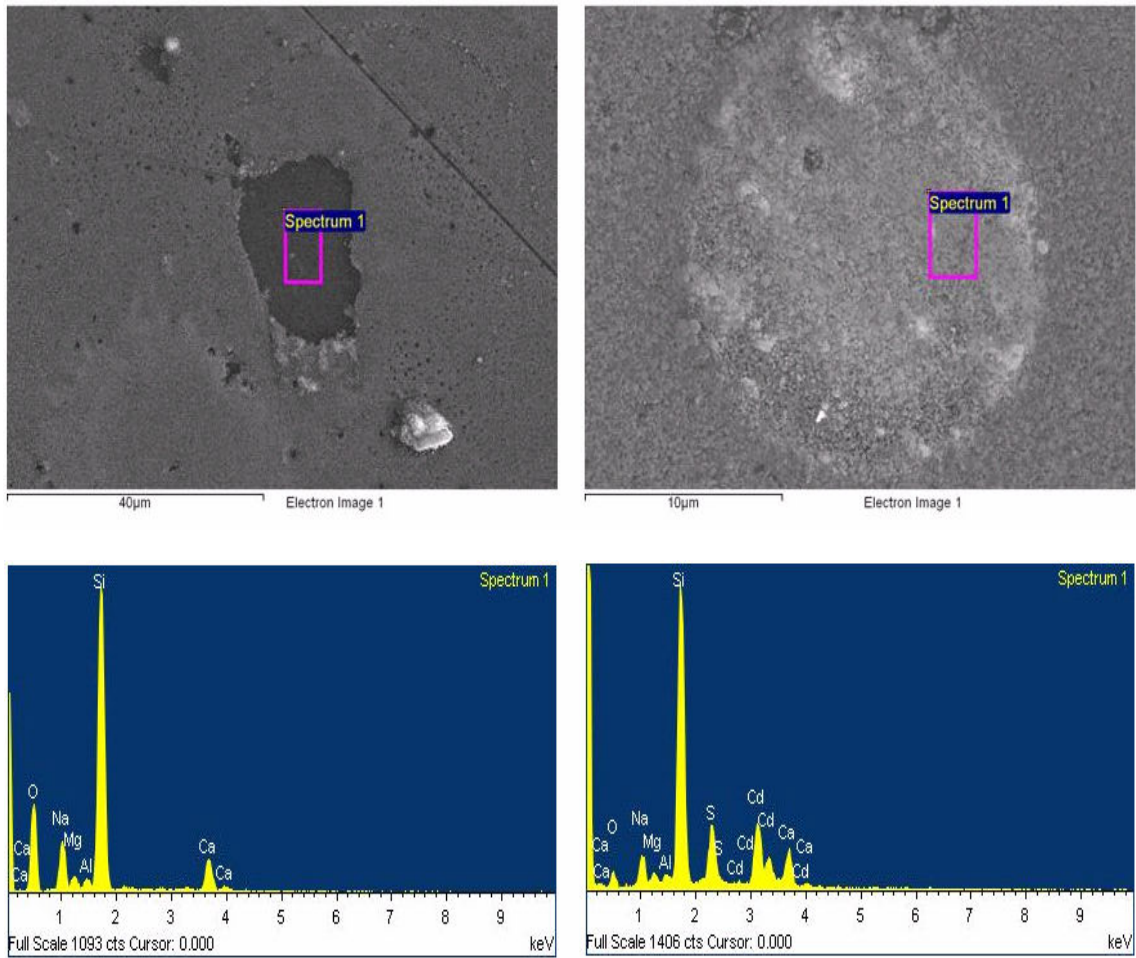


Şekil 5.32. A5 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

Çizelge 5.15. A5 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	7,41	6,99	9,99	Na ₂ O
Mg - K	1,62	1,45	2,69	MgO
Al - K	0,75	0,60	1,41	Al ₂ O ₃
Si - K	30,47	23,53	65,18	SiO ₂
S - K	2,52	1,70	6,28	SO ₃
Ca - K	4,64	2,51	6,49	CaO
Cd - L	6,97	1,35	7,96	CdO
O	45,63	61,87		

Beyaz bölgelerin elemental analizinde ise Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu, Cd elementinin (%20,10) S elementine (%13,40) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmektedir (Çizelge 5.16). Cd ve S elementlerinin elemental değerinin yüksek çıkması tortulaşmanın varlığını doğrulamaktadır.



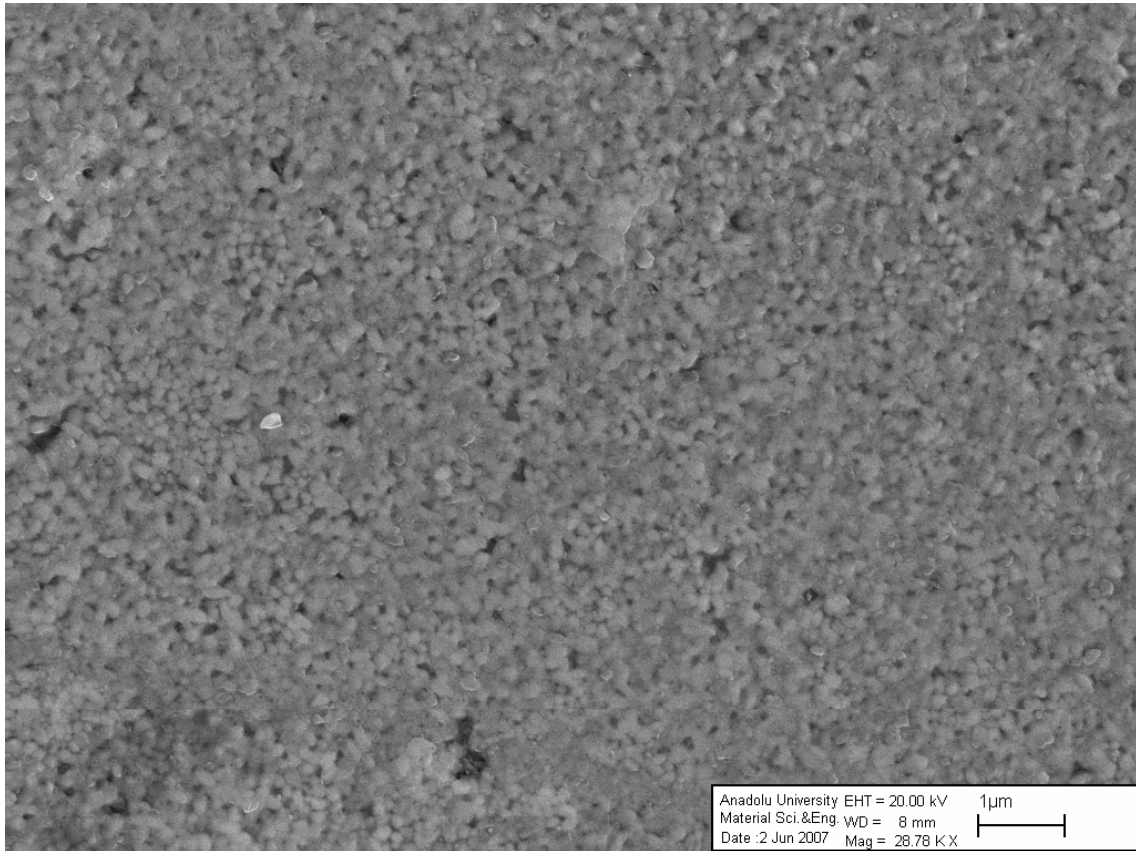
Şekil 5.33. A5 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

Bu numunenin Şekil 5.34’de verilen 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde ise filmin yüzeyinin A0 numunesine göre biraz daha az fakat tavlanan numuneler içerisinde en fazla homojen olduğu, taneciklerin periyodik bir dizilime sahip olduğu görülmüştür. Yüzeyde değişik boyutlarda ve şekilsiz yapıda görünen siyah

kısımların film oluşmamış bölümler, tek beyaz bölgenin ve bölgesel olarak görülen beyazımsı bölgelerin ise Cd elementinin yoğunlaştığı bölgeler olduğu düşünülmektedir

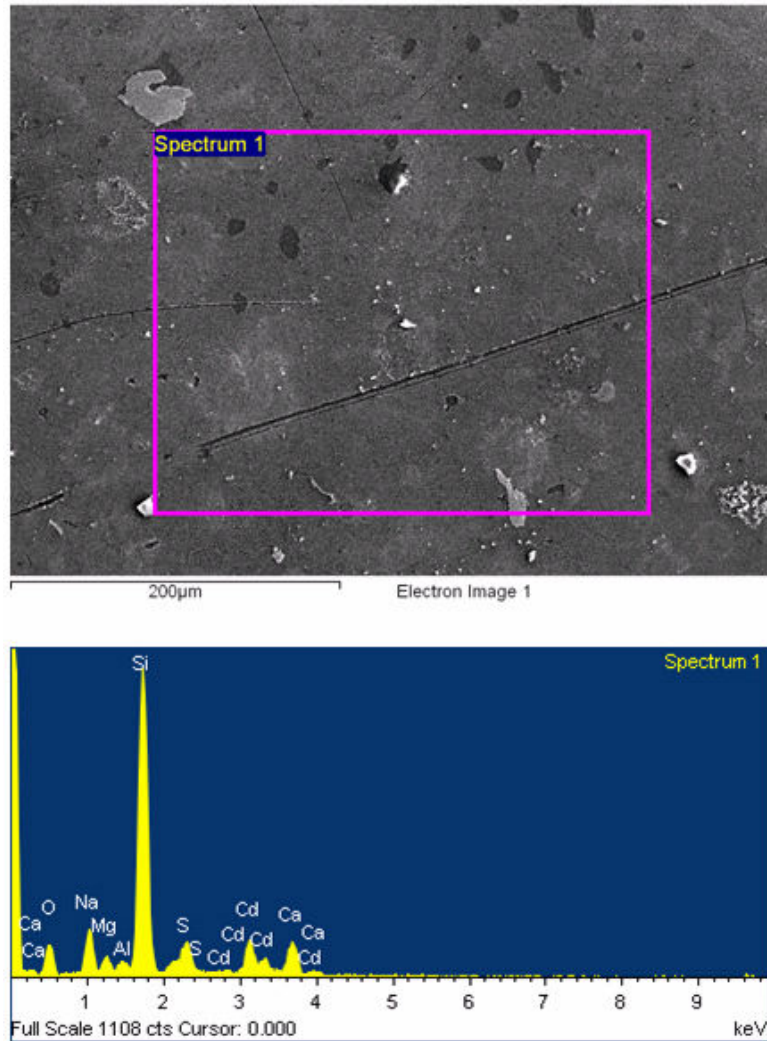
Çizelge 5.16. A5 numunesinde gözlenen siyah ve beyaz noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül	Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	8,84	7,92	11,92	Na ₂ O	Na - K	4,44	4,59	5,99	Na ₂ O
Mg - K	1,97	1,67	3,27	MgO	Mg - K	1,14	1,11	1,89	MgO
Al - K	1,13	0,86	2,13	Al ₂ O ₃	Al - K	0,70	0,61	1,32	Al ₂ O ₃
Si - K	34,99	25,63	74,86	SiO ₂	Si - K	24,03	20,33	51,40	SiO ₂
S - K				SO ₃	S - K	5,37	3,98	13,40	SO ₃
Ca - K	5,59	2,87	7,83	CaO	Ca - K	4,22	2,50	5,90	CaO
Cd - L				CdO	Cd - L	17,60	3,72	20,10	CdO
O	47,47	61,05			O	42,51	63,15		



Şekil 5.34. A5 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

A6 numunesinin Şekil 5.35’de verilen 1.000X büyütmeli SEM görüntüleri incelendiğinde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde tane dizilişlerinin düzensizleşmesi olduğu, ayrıca gözlenen derin yarıklar şeklindeki vadilerin deney parametrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bölgelerin varlığı optik mikroskop ve AFM görüntülerini desteklemektedir. 1.000X büyütmeli SEM görüntüsü ve EDS spektrumu incelendiğinde filmin bünyesinde Na, Mg, Al, Si, S, Ca ve Cd elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.17), Cd elementinin (%11,95) S elementine (%7,53) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.

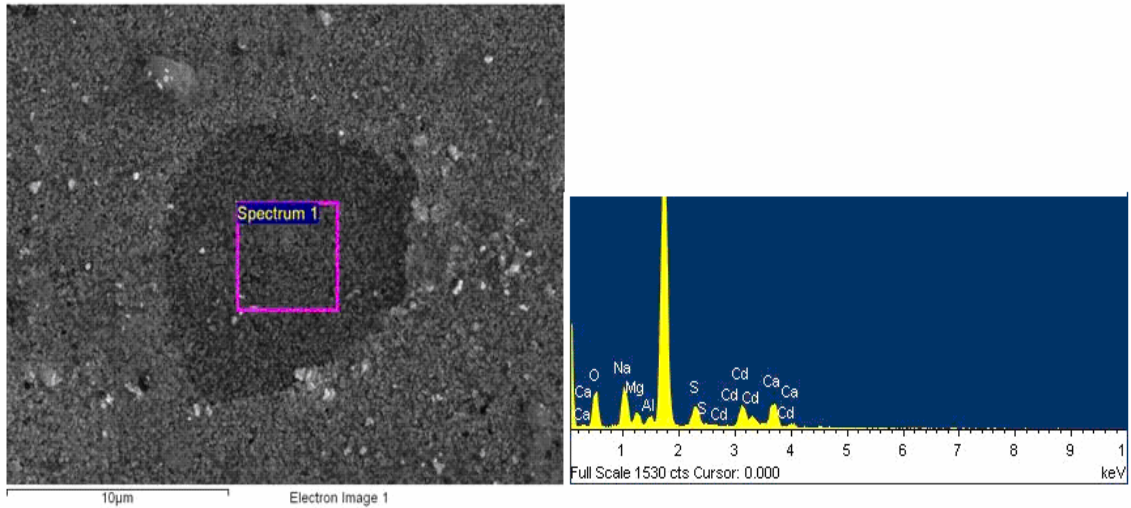


Şekil 5.35. A6 numunesinin 1.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü ve EDS spektrumu

Çizelge 5.17. A6 numunesinin ağırlık, atom ve elemental yüzdelikleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	6,76	6,57	9,12	Na ₂ O
Mg - K	1,82	1,67	3,02	MgO
Al - K	0,88	0,73	1,66	Al ₂ O ₃
Si - K	28,18	22,42	60,29	SiO ₂
S - K	3,02	2,10	7,53	SO ₃
Ca - K	4,6	2,56	6,43	CaO
Cd - L	10,46	2,80	11,95	CdO
O	44,28	61,85		

Şekil 5.36'da verilen bu numuneye ait görüntülerdeki siyah çukur bölgelerin elemental analizinde Na, Mg, Al, Si, S, Cd ve Ca elementlerinin bulunduğu, elementlerinin bulunduğu (Çizelge 5.18), Cd elementinin (%9,28) S elementine (%7,26) göre elemental olarak daha baskın olduğu görülmüştür.



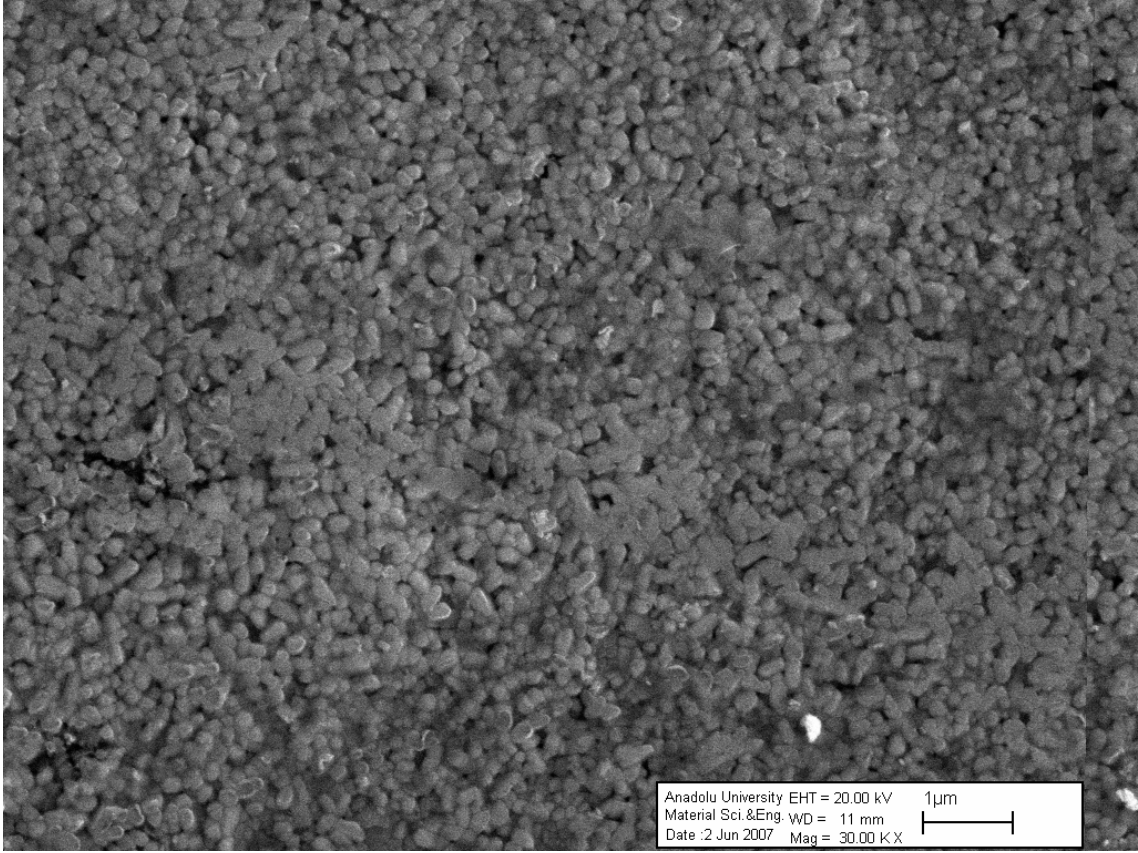
Şekil 5.36. A6 numunesinde gözlenen siyah noktacıkların SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

Çizelge 5.18. A6 numunesinde gözlenen siyah noktacıkların ağırlık, atom ve elemental yüzdeleri

Element	Ağırlık %	Atom %	Elemental %	Formül
Na - K	7,06	6,72	9,52	Na ₂ O
Mg - K	1,87	1,69	3,10	MgO
Al - K	0,99	0,8	1,87	Al ₂ O ₃
Si - K	29,35	22,87	62,79	SiO ₂
S - K	2,91	1,99	7,26	SO ₃
Ca - K	4,42	2,41	6,18	CaO
Cd - L	8,13	1,88	9,28	CdO
O	45,28	61,94		

Bu numunenin Şekil 5.37’de verilen 30.000X kez büyütülmüş SEM görüntüsü incelendiğinde ise filmin yüzeyinin bütün numuneler içerisinde en az homojen olduğu, taneciklerin periyodik diziliminin çok iyi olmadığı görülmüştür. Yüzeyde değişik boyutlarda ve şekilsiz yapıda görünen siyah bölgelerin tanecik düzensizliğinin olduğu, tek beyaz bölgenin ve bölgesel olarak görülen beyazımsı bölgelerin ise Cd elementinin yoğunlaştığı bölgeler olduğu düşünülmektedir. Taneciklerin yassı olarak ezilmiş gibi belirgin bir dizide birbirini takip ederek oluşturduğu geniş vadimsi dizilişin nedeni anlaşılabilir değildir. Ancak bunun sebebinin deney parametrelerine bağlı olabileceği gibi kullanılan cam tabanların üretimden kaynaklanan bu bölgelerdeki kalınlıklarının diğer bölgelere göre daha az olduğundan, aynı taban sıcaklığı olmasına karşın daha ince olan bu bölgelerde taneciklerin bu sıcaklıktan daha fazla etkilenerek bu şekilde yapılandığı düşünülmektedir.

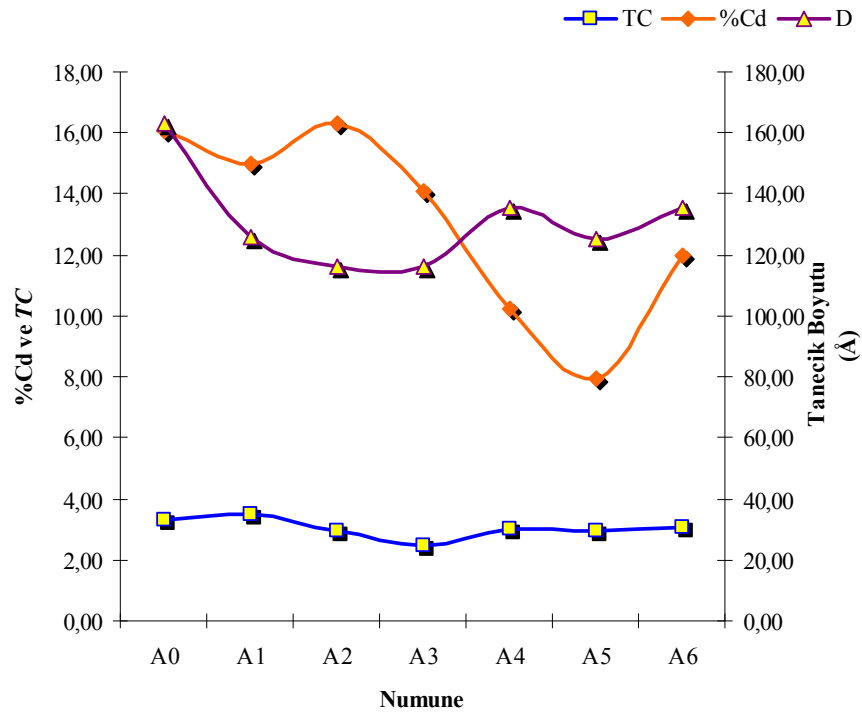
Isıl tavlama ile filmlerin yapısal kusurlarının azaldığı ve iyi bir kristalleşmenin olduğu XRD desenlerinde çizgilerin birbirlerine yaklaşmasından (Hepp, et al., 2002) anlaşılmaktadır.



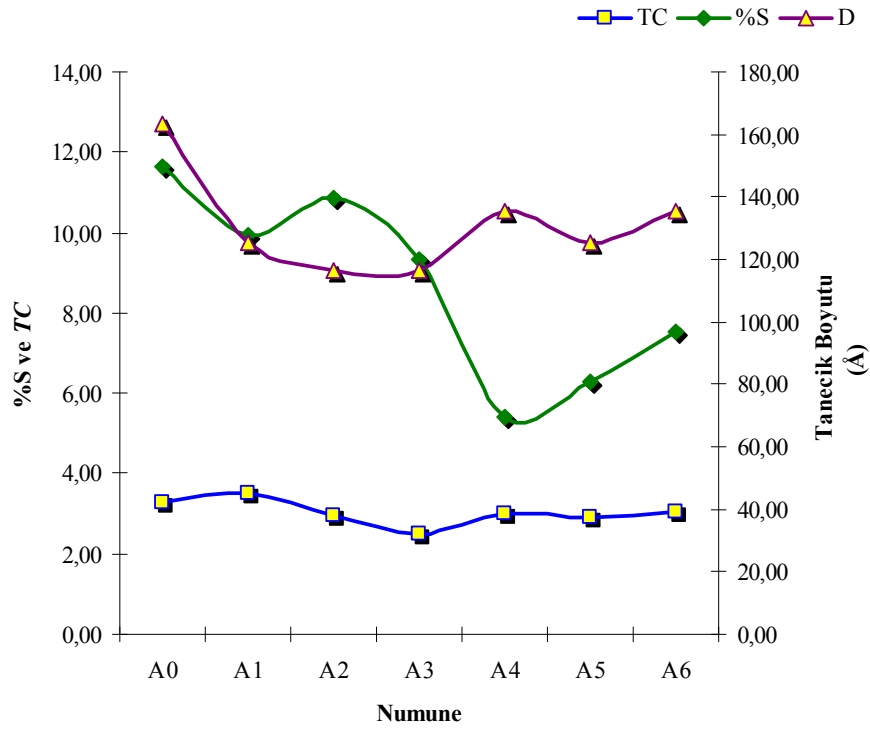
Şekil 5.37. A6 numunesinin 30.000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

Film numunelerinde Cd elementinin S elementine her zaman baskın olduğu, kırınım desenlerinden yararlanılarak her bir filmin tercihli yönelimi için hesaplanan yapılanma katsayılarının, tanecik büyüklüklerinin ve EDS analizlerinden belirlenen film içerisindeki Cd elementinin yüzde elemental ağırlığının değişimi Şekil 5.38, ve S elementinin yüzde elemental ağırlığının değişimi Şekil 5.39 ‘da toplu gösterimi ise Şekil 5.40’da gösterilmiştir.

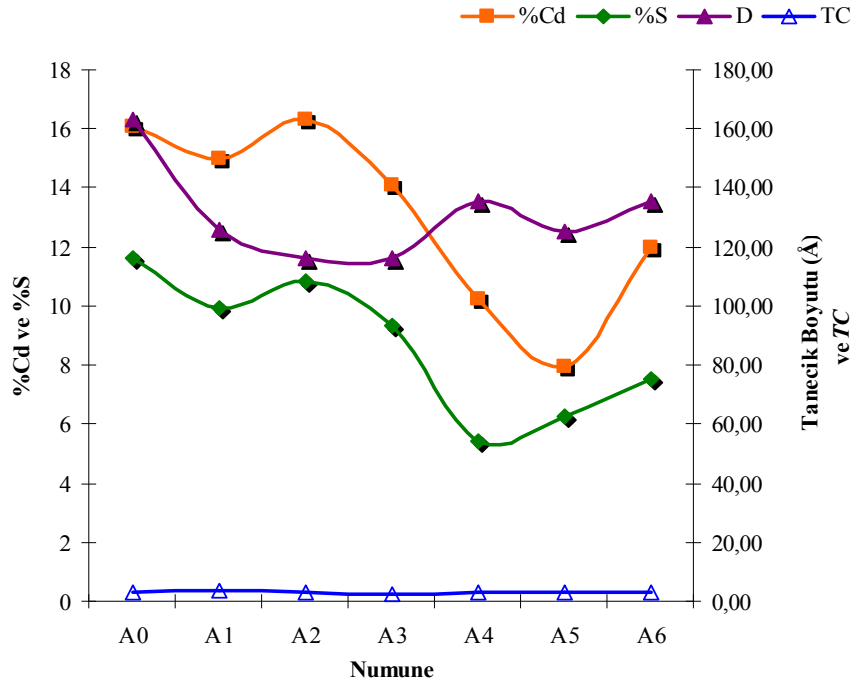
Deney şartlarından kaynaklanan O elementinin tamamı yapıdan gelmekte olup, yüzeyde absorblanan oksijenin elemental orana hiçbir katkısı olmadığı elemantel sonuçlardan görülmektedir. Çünkü EDS mikroanalizleri vakum ortamda yapılmaktadır ve EDS incelemesinden önce ortamdan uzaklaşmaktadır.



Şekil 5.38. Numunelerin D, TC ve Cd elemental oran değişimi



Şekil 5.39. Numunelerin D, TC ve S elemental oran değişimi



Şekil 5.40. Numunelerin D, TC, Cd ve S elemental oran değişimi

Filmlerin kalınlığa bağlı olarak kazandıkları; çöktürme yöntemi ile birlikte elde edilen tanecik büyüklüğüne bağlı olarak yüzeysel akımların da iyi olmasını sağlayan üniformluk değerlerinin (*Oliva, et al., 2003; Webb, et al., 1998*) yüksek olması A6 numunesi hariç iyi bir iletimi göstermektedir. A6 numunesinin SEM görüntülerinde karşılaşılan derin vadilerin ve tanecik dizilişlerinin düzensizliği bu numunede elektriksel direnci olumsuz etkilediği ve bu nedenle karanlık şartlarda ölçüm alınamadığı gibi aydınlık şartlarda Schottky etkisi gösterdiği düşünülmektedir.

BÖLÜM VI

TARTIŞMA VE SONUÇ

6.1. Tartışma

Bu çalışmada CdS filmleri ultrasonik kimyasal püskürtme yöntemi ile $300\pm 5^\circ\text{C}$ taban sıcaklığında üretilmiş ve $200\pm 2^\circ\text{C}$ 'den başlayarak $50\pm 2^\circ\text{C}$ 'lik artışlarla altı farklı sıcaklıkta olmak üzere 3 saat süre ile hava ortamda termal tavlama tabi tutularak 24 saatlik kendi kendine soğuma işlemi sonucunda elde edilmiştir. Fotovoltaik güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılan bu filmlerin elektrik, optik özellikleri, kristal yapıları, optik görünümüne bağlı olarak renk değişimleri ve yüzeysel durumlarına termal tavlamanın etkisi incelenmiştir.

Üretilen filmlerin özelliklerini değiştiren; taban sıcaklığı, taban ile püskürtme başlığı arasındaki uzaklık, katkının cinsi ve miktarı, çözelti miktarı ve molaritesi, püskürtme hızı ve zamanı gibi deney parametrelerinin yanı sıra püskürtme şartlarının ayarlanmasına dikkat edilerek farklı kalınlıklarda, ancak tanecik büyüklükleri küçük ve birbirine yakın ($116,22-163,26 \text{ \AA}$) filmler elde edilmiştir.

Filmlerin kalınlıklarının; üretim yöntemine, küçük damlacık boyutuna ve homojen ortam ısısına bağlı olarak, püskürtme konisinin merkezinden çembere gidildikçe azaldığı gözlenmiş ve numunelerin kalınlıkları $1,0-4,9 \mu\text{m}$. aralığında ölçülmüştür. Filmlerin üniformluklarının ham numunede kalınlık azaldıkça arttığı (%90,91), tavlanan numunelerde ise Cd ve S elementlerinin erime ve kaynama noktası gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak %71,43-%83,33 arasında değişik değerler aldığı, sadece $450\pm 2^\circ\text{C}$ 'de tavlanan A6 numunesinde %62.50 değerine düştüğü gözlenmiştir.

Elde edilen filmlerin x-ışını kırınım desenleri toz yöntem kullanılarak 25°C ortam sıcaklığında $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ aralığında alınmıştır. Bu desenlerin incelenmesi sonucunda filmlerin polikristal yapıda oldukları belirlenmiştir. Tamamen hegzagonal

yapılı olan filmlerin ilk üç kırınım piklerinin (100), (002) ve (101) düzlemlerinde gerçekleştiği ve bu piklerin şiddetleri en yüksek, yarı pik aralıklarının en dar olan pikler oldukları belirlenmiştir. Dislokasyonların oldukça küçük olduğu numunelerde kristalleşmesinde oldukça iyi düzeyde olduğu, şiddet çizgilerinin 2θ eksenine olan izdüşümlerinin merkezden uzaklaşmış olması sebebi ile üniform bir deformasyonun varlığı gözlenmiştir. Bütün numunelerde ilk iki pikin gözlendiği (100) ve (002) düzlemlerinde sıkışarak, tavlınmayan A0, tavlınan numunelerden A1 ve A6 numunelerinde ise üçüncü pikin gözlendiği (101) düzlemlerinde genişleyerek, diğer numunelerde ise sıkışarak büyümenin varlığı gözlenmiştir.

Tüm filmlerin tercihli yönelimlerinin belirlenmesi için radyan cinsinden yarı pik genişlikleri ve Scherrer formülü kullanılarak tanecik büyüklükleri hesaplanmıştır. Numunelerin hepsinin aynı kalınlıkta olmaması belirli bir skalanın kurulmasını engellemiş fakat termal tavlama sonucunda farklı kalınlıklar söz konusu olmasına karşın yarı pik genişliklerinin ve tanecik büyüklüklerinin tavlama ile değiştiği gözlenmiştir.

Tercihli yönelimlerin belirlenmesinde yarı pik genişliklerinin yanı sıra özellikle yapılanma katsayısının en büyük olduğu düzlemler dikkate alınarak; A2, A3, A4 ve A6 numunelerinde ilk üç kırınım pikinin gözlendiği (100), (002) ve (101) düzlemlerinden (100) düzleminin, A0, A1 ve A5 numuneleri içinse (002) düzleminin tercihli yönelimleri belirlediği söylenebilir.

Numunelerin temel absorpsiyon spektrumlarından yararlanılarak geçirgenlikleri (T), absorpsiyonları (A), lineer absorpsiyon katsayıları (k), yansımaya katsayıları (R), kırılma indisleri (n) ve dielektrik sabitleri (ϵ) hesaplanmıştır. Filmlerin tavlama sürelerinin yüksek olması optiksel iletimi arttırmıştır. Numunelerin geçirgenliklerinin yüksek, absorpsiyon ve yansımaya değerlerinin küçük olması filmlerin iyi bir pencere materyali olduğunu göstermektedir. Tavlama ile kırılma indislerinin değerlerinin azaldığı ve dielektrik sabitlerinin de küçüldüğü gözlenmiştir. Yalıtkanlığın bir ölçüsü olan dielektrik sabitinin azalması ile numunelerin iletkenliklerinin tavlama ile arttığı söylenebilir.

Elde edilen numunelerin yasak enerji aralıklarının belirlenebilmesi için optik metot kullanılmış, geçirgenlik spektrumlarından yararlanılarak her bir film numunesi için $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerden filmlerin doğrudan band yapılı materyaller oldukları belirlenmiştir. İncelenen grafiklere göre yasak enerji aralıkları; tavlınmayan A0 numunesi için 2,43 eV, tavlınan numunelerde ise 2,41-2,42 eV olarak bulunmuştur.

Yapılan çalışmada, elde edilen numunelerin elektriksel iletkenlik tipleri *sıcak uç* yöntemi ile belirlenmiştir. Bunun için numuneler üzerindeki elektriksel metal kontaklar gümüş pasta ile ~1 mm boyutlarında ve aralarında ~2 mm olacak şekilde oluşturulmuştur. Yapılan gözlem sonucunda multimetrenin voltmetre (mV) bölümünde okunan değerlerin sürekli pozitif çıkması nedeni ile hazırlanan CdS filmlerinin iletkenlik tiplerinin n-tipinde olduğu bulunmuştur.

Filmlerin karanlık ve aydınlık şartlarda elektriksel iletkenlik ve öz dirençlerini belirlemek amacı ile *İki Uç Tekniği* kullanılmıştır. Karanlık şartlar altında yapılan ölçümler 0-160 V aralığında; küçük voltaj değerlerinden büyük voltaj değerlerine doğru, aydınlık şartlar altında yapılan ölçümler ise 100-1000 V aralığında; Joule etkisini azaltarak ölçüm yapabilmek için, büyük voltajdan küçük voltaja doğru yapılmış ve her bir film numunesi için I~V karakteristikleri çizilmiştir. Elde edilen karakteristiklerden yararlanarak yarıiletken numunelerin *ohmik* ve *Schottky* iletim mekanizmalarını gösterdikleri belirlenmiştir. Tam bir ohmiklik olmamakla birlikte ohmik iletim mekanizması gözlenen numunelerin dışında A6 numunesinin I~V karakteristiklerinin Schottky etkisi gösterdiği gözlenmiştir.

Özdirençleri; karanlık ve aydınlık şartlar altında sırasıyla $1,84 \cdot 10^{+5}$ - $1,74 \cdot 10^{+6}$ (Ωcm) ve $6,92 \cdot 10^{+3}$ - $6,65 \cdot 10^{+5}$ (Ωcm) olarak hesaplanan filmlerin fotoiletkenlikleri $4,69 \cdot 10^{-6}$ - $1,07 \cdot 10^{-4}$ (Ωcm)⁻¹, fotohassasiyetleri ise 8,18-157,94 arasında hesaplanmış olan numunelerin I~V karakteristiklerine göre (25 mW/cm²) aydınlık şartlar altında A0, A3 ve A4 haricinde ışığa karşı duyarlı oldukları belirlenmiştir. A6 numunesinde karanlık şartlar altında değer alınmamıştır. Bunun nedeninin tavlama

sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen yüzeysel durumlarından dolayı yük taşıyıcılarının, metal kontak nedeni ile hızlı bir şekilde tüketilmesi sonucunda metalin ve yarıiletkenin Fermi enerji düzeylerinin çakışmasıdır. Bu çakışma; metalin iletim bandından elektronların aktarımından sonra gerçekleşir. Elektronlardan arınmış bu bölgede artı yüklü verici iyonları geride kalır (*Kittel, 1976*).

Filmlerin kalınlıkları farklı olmasına karşın sahip oldukları yüksek üniformluluk değerleri nedeni ile ve çöktürmeye bağlı olarak elde edilen tanecik büyüklüklerinin yüzeysel akımları etkilediği düşünülmektedir.

Elde edilen filmlerin makroskopik incelemeleri büyütme oranı küçük olan optik mikroskopla yapılmış ve renk değişimleri ile yüzey durumları incelenmiştir. Optik mikroskop görüntülerinde rastlanan siyah renkli ve şekilsiz görünümlü adacıklar ile vadiler şeklinde görülen bölümlerin çözeltinin püskürtme öncesi karıştırma hızından, çözeltideki tiöüre miktarından ve partiküler Cd konsantrasyonundan kaynaklandığı, tavlama ile filmlerin yüzeysel durumlarında değişikliklerin olduğu gözlenmiştir. Bütün numunelerde gözlenen siyah renkli adacıkların ve vadilerin; yine aynı şekilde çözeltinin püskürtme öncesi karıştırma hızı, püskürtme hızı ve çöktürme şeklinden kaynaklandığı düşünülmektedir (*Sasikala, et al., 2000; Salazar, et al., 2006; Abdulla, et al., 1995; Han, et al., 2007*). Bu nedenle filmlerde standart renk oluşumu gözlenmemiştir. Çözeltideki Cd ve S elementlerinin erime ve kaynama noktalarının tavlama sıcaklığına bağlı olarak aşılması nedeni ile kısmen veya tamamen diffüze olmaları ile renk değişiminin gerçekleştiği ve yayılmaların daha geniş yüzeyli olduğu gözlenmiştir.

Filmlerin yüzey yapılaşmasının yüksek çözünürlüklü görüntülerinin alındığı AFM çekimlerinden sayısal analizler yapılmış ve R_{RMS} pürüzlülük katsayılarının 10,34-45,00 arasında değiştiği hesaplanmıştır. R_{RMS} değeri film yüzeyinin tavlama öncesi ve sonrası değişimlerini vermektedir. Pürüzlülük kavramı yüzeysel durumların azalması ya da çoğalması eğilimi olup filmlerin kalınlığı yüzeylerdeki durum değişikliklerini etkilemez. Asıl önemli olan tavlama sonucunda temiz bir büyütme ile film yüzeyindeki taneciklerin büyüklüğüdür (*Kestner, 2000; Oliva, et al., 2006*). Tavlama sonucunda film yüzeyindeki tanecik büyüklüğü taban sıcaklığı ve filmin

kalınlığı ile kontrol edilebilmektedir (*Albin, et al., 1997*). Tavlama sıcaklığının yükseltilmesi ile yüzeyi oldukça kaliteli olan filmler üretilebilmektedir. R_{RMS} pürüzlülük katsayılarının en düşük değeri aldığı numuneler yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri en iyi olan numuneler olarak ortaya çıkmıştır.

Hem optik hem de AFM görüntülerinde rastlanan içi boş krater görünümlü adacıklar, çöktürme sırasında cam tabanlar üzerinde meydana gelen kimyasal reaksiyondan kaynaklanmaktadır. Tavlama ile filmlerin yüzeysel durumlarında değişikliklerin olduğu alınan görüntülerden anlaşılmaktadır.

Optik görüntülerde hakim olan renklemenin CdS filmlerinin karakteristik yasak enerji aralığının karşılığı olarak yeşil ve sarı-portakal renginde olduğu gözlenmiştir.

Filmlerin alınan 30.000X büyütme SEM görüntülerinden A6 numunesi hariç homojenliklerinin yüksek olduğu ve taneciklerin periyodik dizilimlerinin iyi olduğu görülmüştür. Yüzeylerde farklı yerlerde farklı büyüklüklerde siyah çukur bölgelerin olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin bu bölgelerde filmin iyi oluşmamasının yanı sıra film kalınlığının azalması ve tanecik dizilişlerinin düzensizleşmesi olduğu, yine yüzey üzerinde görülen farklı büyüklükte ve şekilsiz beyaz bölgelerin iyi atomize olmamış parçacıkların yüzey üzerinde tortular şeklinde yığılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tortulaşmaların püskürtme şartlarından kaynaklandığı ve Cd elementinin yoğunlaştığı bölgeler olduğu düşünülmektedir.

EDS mikroanalizleri 1.000X büyütme SEM görüntüleri üzerinden alınmış ve analizler sonucunda Cd elementinin bütün filmlerde S elementine baskın olduğu görülmüştür. Elemental analizleri yapılan siyah bölgelerin A1, A2, A3, A4 ve A5 numunelerinde film oluşmayan bölgeleri, A0 ve A6 numunelerinde ise tanecik dizilişlerinin düzensiz olduğu ve filmin iyi oluşmadığı bölgeleri gösterdiği belirlenmiştir. Bu iki numunedeki siyah bölgelerde de Cd elementinin S elementine baskın olduğu görülmüştür.

A6 numunesinin SEM görüntülerinde karşılaşılan derin vadilerin ve tanecik dizilişlerinin düzensizliğinin bu numunede elektriksel direnci olumsuz etkilediği ve bu nedenle karanlık şartlarda ölçüm alınamadığı gibi aydınlık şartlarda Schottky etkisi gösterdiği düşünülmektedir.

6.2. Sonuç

UKP yöntemi ile elde edilen yarıiletken filmlerin elektrik, optik, yapısal ve yüzeysel özellikleri püskürtülen çözeltilerin miktarı, molaritesi, sıcaklığı ile püskürtme hızı, süresi ve mesafesinin yanı sıra taban sıcaklığı, taşıyıcı gaz v.b. gibi deney parametrelerine sıkı sıkıya bağlıdır. Daha kaliteli filmler elde etmek için deney şartlarının ve parametrelerinin önceden ayarlanması gerekmektedir. Yüzeyleri homojen ve eşdeğer kalınlıklı filmler elde etmek için sabit taban yerine döner taban kullanılmasının yanı sıra vakum ortamında çalışılmasının daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada elektrik ölçümler düzlemsel formda oluşturulmuş gümüş kontaklar yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu koşullar altında kontaklar arasındaki mesafe ve kontakların büyüklüğü mm mertebesinde tutulabilmektedir. Eğer sandwich ölçümler yapılsa idi kontaklar arasındaki bu mesafe μm mertebesinde gerçekleşebilecekti. Böylelikle düzlemsel çalışmada yüzey akımları söz konusu iken sandwich çalışmada gövde içerisinde yer alan yük taşıyıcıları da iletim mekanizmasına yardımcı olacağından daha sağlıklı ölçümler yapılabilecektir. Sandwich uygulamalarında cam tabanlar üzerine Ag, Au, Al ve Pt gibi kontaklar plazma, vakumda buharlaştırma v.b. gibi tekniklerle alt tabanlar olarak oluşturulmalıdır.

Taban olarak kullanılan camların filmler oluşturulmadan önce deiyonize su ile yıkamanın dışında vakumda ultrasonik olarak temizlenmesi de filmlerin kalitesini arttıracaktır.

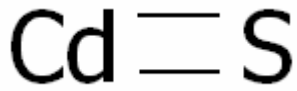
UKP yöntemi; ekonomik, basit ve vakumsuz olması gibi avantajlarının yanı sıra homojen ve düzgün, eşdeğer kalınlıklı filmlerin üretilmemesi gibi dezavantajlara sahip olmasına rağmen; fotovoltaik heteroeklem güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılan çeşitli yarıiletken filmlerin üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Sonuç olarak 300°C taban sıcaklığında elde edilen CdS filmlerinin fiziksel, yapısal ve yüzeysel özellikleri üzerine tavlama sıcaklığının güçlü bir etkisi olduğu ve 300°C 'lik tavlama sıcaklığının en uygun tavlama sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta tavlanan CdS filmlerinin heteroeklem güneş pillerinde pencere materyali olarak kullanılması halinde, pil verimliliğini arttırabileceğini düşünmekteyiz.

EK AÇIKLAMALAR - A

CdS BİLEŞİĞİ HAKKINDA BİLGİLER

Genel

Diğer Adı	Cadmium(II) sulfide	
Moleküler Formülü	CdS	
Moleküler Ağırlık	144.46 g/mol	
Görünüm	Sarı-Portakal (Katı halde)	

Özellikleri

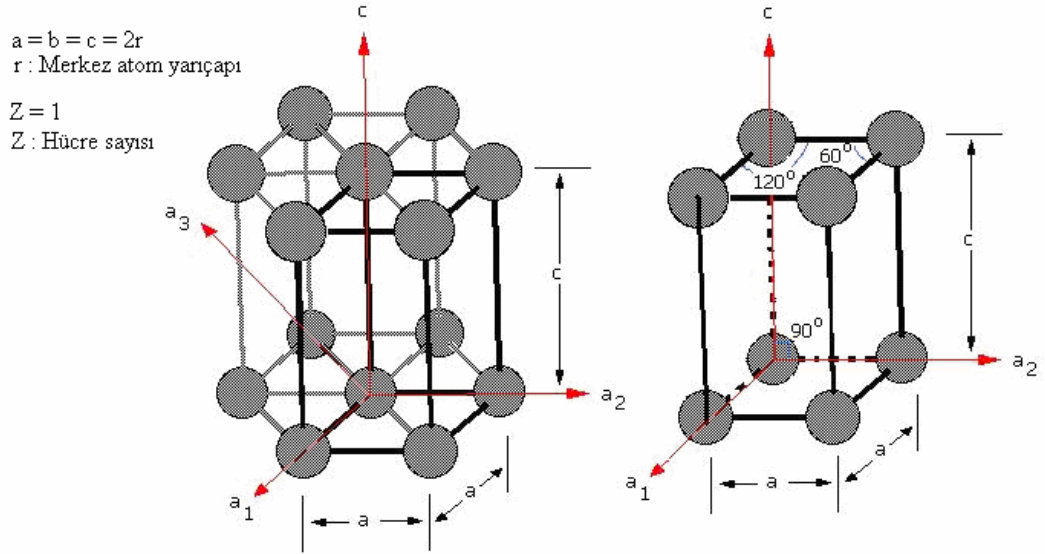
Yoğunluk	4.82 g/cm ³ , (katı halde)
Çözünme	Suda Çözünmez
Erime Noktası	1750°C
Kaynama Noktası	980°C

Güvenlik

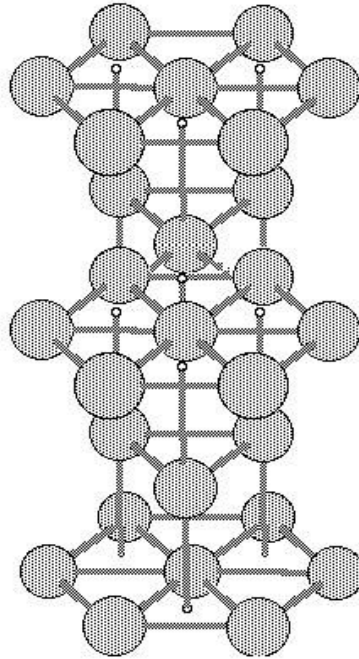
Avrupa Sınıflaması	Zehirli Çevre için tehlikeli Yanmaz
--------------------	---

Kristal Yapı ve Görünüm

<u>SİSTEM</u>	<u>EKSENLER VE AÇILAR:</u>	<u>ÖRNEKLER:</u>	<u>BRAVAIS HÜCRESİ:</u>
Hegzagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Zn, Cd	P



Şekil 1. Basit Hegzagonal Yapı



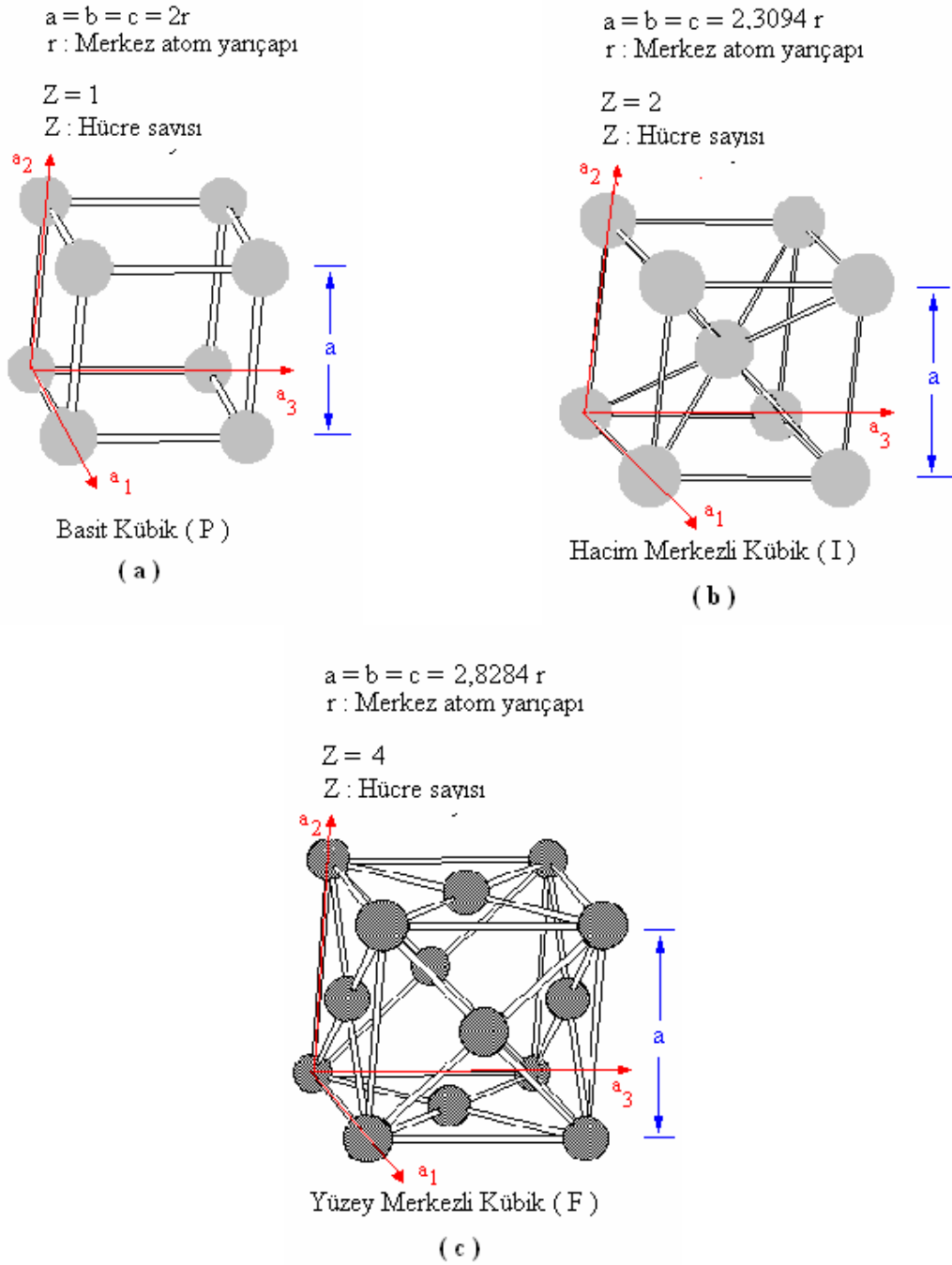
Bir yatay atom düzlemindeki her atom, üstte ve alttaki atom düzlemlerindeki diğer atomun arasındaki boşluklara gelmektedir.

Dolayısı ile her atom kendi düzlemindeki altı atom ile alt ve üst düzlemlerdeki diğer atomdan altı atoma temas etmektedir.

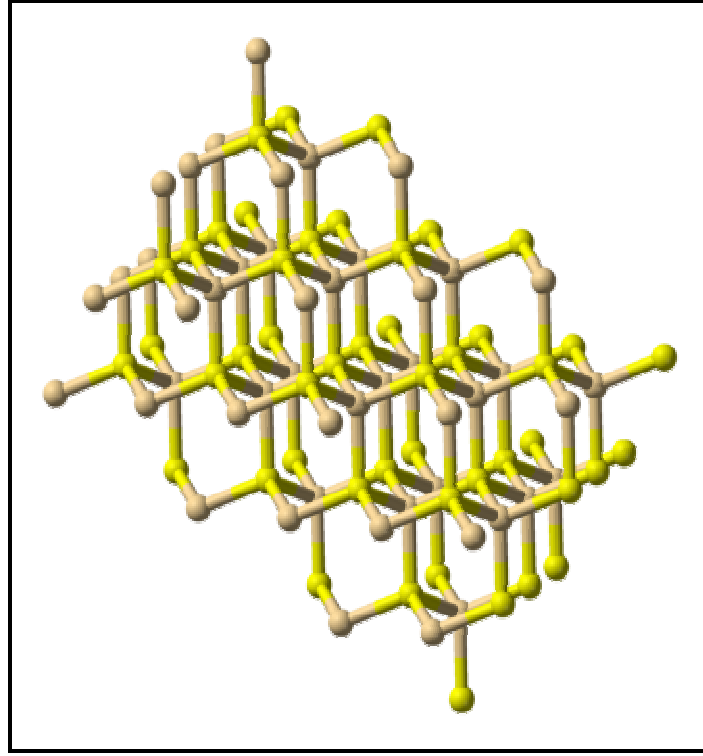
Şekil 2. Hegzagonal Sıkı Paketlenmiş Yapı (HCP)

Kristal Yapı ve Görünüm

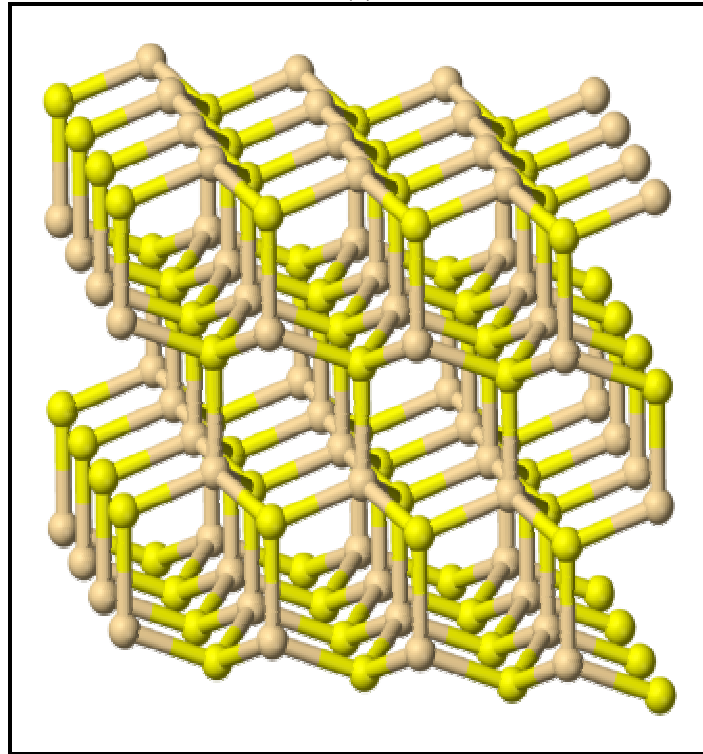
SİSTEM : **EKSENLER VE AÇILAR:** **ÖRNEKLER:** **BRAVAIS HÜCRESİ:**
 Kübik $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ Cd P, I, F



Şekil 3. Kübik Yapı



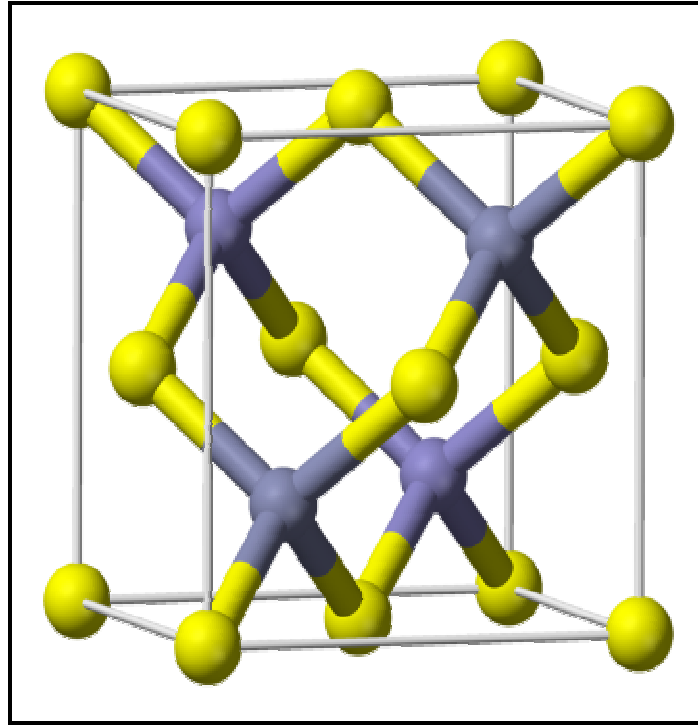
(a)



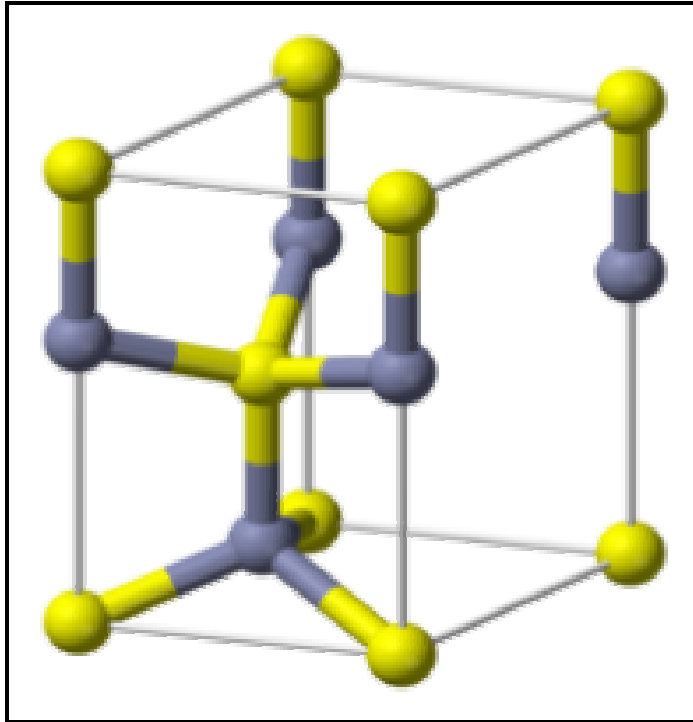
(b)

Şekil 5. CdS bileşiğinin Hegzagonal kristal yapısı (a) Hawleyite Yapı (b) Greenockite Yapı

Kaynak : http://en.wikipedia.org/wiki/Cadmium_sulfide



(a)



(b)

Şekil 5. CdS bileşiminin Kübik kristal yapısı a) Sphalerite yapı; Hawleyite formdaki hegzagonal kristaller sphalerite yapılıdır b) Wurtzite yapı; Greenockite formdaki hegzagonal kristaller wurtzite yapılıdır

Kaynak : http://en.wikipedia.org/wiki/Cadmium_sulfide

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdulla, A., Kasai, A., Takenaga, M. and Nakamura, A., 1995, variation in conductivity of cadmium sulfo-selenide sintered films with vacuum heat treatment, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 34, pp: 2359-2369
- Acar, S., Kasap, M. and Alkan B., 2004, Electron mobility in relaxed $\text{In}_{0.51}\text{Ga}_{0.49}\text{As}$ and $\text{In}_{0.60}\text{Ga}_{0.40}\text{As}$ semiconductors and the effect of dislocation scattering, *G.U. Journal of Sci.*, 17(1), pp: 31-35
- Akyüz, İ, 2005, CdO Filmlerinin Bazı Fiziksel özellikleri Üzerine Al Katkılama ve Tavlama İşlemlerinin Etkileri, Doktora tezi (yayınlanmamış), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, syf: 120; 4.
- Al Kuhaimi, S.A., 1998, Influence of preparation technique on the structural, optical and electrical properties of polycrystalline CdS films, Pergamon (Elsevier Sci. Co.), Vol. 51, No. 3, pp: 349-355
- Albin, D., Rose, D., Dehere, R., Levi, D., Woods, L., Schwartzlander, A. and Sheldon, P., 1997, Comparison of close-spaced sublimated and chemical bath deposited CdS films: effect of CdTe solar cells, National Renewable Energy Lab., pp:1-4
- Altıokka, B. and Aksay, S., 2005, Optical properties of CuInS_2 films produced by spray pyrolysis method, *Çankaya Üni. J. of Arts and Sciences*, Vol. 3, pp: 27-34
- Archbold, M.D., Halliday, D.P., Durose K., Hase, T.P.A., Smyth-Boyle, D., Mazzumoto, S., Romeo, N. and Bosio, A., 2007, Development of low temperature approaches to device quality CdS: A modified geometry for solution growth of thin films and their characterization, *Thin Solid Films*, 515, pp: 2954-2957
- Archbold, M.D., Halliday, D.P., Durose K., Hase, T.P.A., Smyth-Boyle, D. and Govender, K., 2005, Characterization of thin film cadmium sulfide grown using a modified chemical bath deposition process, *IEEE2005*, pp: 476-479

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Artemyev, M.V., Gurinovich, L.I., Stupak, A.P. and Gaponenko, S.V., 2001, Luminescence of CdS Nanoparticles Doped with Mn, Phys. Stat. Sol., (b) 224, No. 1, pp: 191-194
- Ashour, A., 2003, Physical Properties of Spray Pyrolysed CdS Thin Films, Turk J. Phys. 27 (2003), pp: 551 – 558
- Askeland, D.R., 1998, Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, (Çev. M. Erdoğan), Cilt 2, Nobel Yayınları, Ankara, s: 712
- Ashcroft, N.W. and Mermin, N.D., 1976, Solid state physics, Philadelphia Saunders College, USA, p: 826
- Atay, F., Köse, S., Bilgin V. and Akyüz, I., 2003, CdS:Ni films obtained by ultrasonic spray pyrolysis: effect of the Ni concentration, Mater. Lett., 57, pp: 3461-3472
- Atay, F., Bilgin V., Akyüz, I. and Köse, S., 2003, The effect of In doping on some physical properties CdS films, Mater. Sci. in Semiconductor Processing, 6, pp: 197-203
- Atay, F., 2001, Spray Pyrolysis Metodu ile Elde Edilen $Cd_{1-x}Ni_xS$ Filmlerinin Elektriksel, Optiksel, Yapısal ve Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora tezi (yayınlanmamış), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, syf: 145 ; 2.
- Bairamov, A.I., Dzhafarov, T.D., Nadzhafov, H.I., Novruzov, V.D., Rzakuliev, N.A. and Agaev, R.A., 1994, Photoelectrical properties of $Cu_2S - CdS$ and $Cu_2S - Cd_{1-x}Zn_xS$ ($x=0.15$) solar cells, Tr.J. of Physics, 18, pp: 103-109
- Bartolo-Peréz, P., Ordaz-Flores, A., Castro-Rodríguez R., and Oliva, A.I., 2006; Annealing effects on the mass diffusion of the CdS/ITO interface deposited by chemical bath deposition, Revista Mexicana de Física, 52(1), pp: 15-19

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bayhan H., and Ercelebi, C., 1998, Effects of post deposition treatments on vacuum evaporated CdTe thin films and CdS/CdTe heterojunction devices, Tr. J. of Physics, 22, pp: 441-451
- Bayhan, M., 1998, Structural and optical characteriation of vacuum deposited CdTe thin films, Tr.J. of Physics, 22, pp: 929-937
- Baykul, M.C. and Balcioglu, A., 2000, AFM and SEM studies of CdS thin films produced by an ultrasonic spray pyrolysis method, Microelektronik Engineering, 51-52, pp: 703-713
- Bedir, M., Kayali, R. and Oztas, M., 2002; Effect of the Zn concentration on the characteristic parameters of $Zn_xCd_{1-x}S$ thin films developed by spraying pyrolysis method under the nitrogen atmosphere, Turk J. Phys., 26, pp: 121-126
- Berrigan, R.A., Irvine, J.C. and Stafford A., 1998, The role of controlled nucleation in the growth of CdS thin films on ITO/glass for solar cells, J. of Mater. Sci.: Mater. in Electronics, 9, pp: 267-270
- Bhushan S. and Khare, A., 2006, Electroluminescence studies of chemically deposited (Zn-CdS)S:Cu,F films, Cryst. Res. Technol., 41, No. 7, pp: 689-697
- Bilgin, V., Kose, S., Atay, F. and Akyuz, I., 2005, The effects of substrate on the structural and some physical properties of utrasonically sprayed CdS films, Mater. Chemistry and Physics, 94, pp: 103-108
- Bilgin, V., 2003, ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi, Doktora tezi (yayınlanmamış), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, syf: 165; 4.
- Blakemore, J.S., 1985, Solid State Physics (2nd Edition), Cambridge Uni. Pres, London, UK, p: 506
- Bube, R.H., 1970, Photoconductivity of solids, J.Wiley and Sons Inc., London, UK

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Calixto, M.E. and Sebastian, P.J., 1999, A comparison of the properties of chemical vapor transport deposited CdS thin films using different precursors, *Solid Energy Mater. & Solar Cells*, 59, pp: 65-74
- Callister, W.D., 2004, *Fundamental of materials science and engineering*, J. Wiley & Sons, p: 824
- Caraman, I., Vatavu, S., Rusu, G. and Gaşin, P, 2006, The luminescence of CdS and CdTe thin films, components of photovoltaic cells, *Chalcogenide Lett.*, Vol. 3, No. 1, pp:1-7
- Chow, L. and Oladeji Isiah O., 2005, Synthesis and processing of CdS/ZnS multilayer films for solar cell application, *Thin Solid Films*, 474, pp: 77-83
- Choy, K.L. and Su, B., 2000, Electrostatic assisted aerosol jet deposition of CdS, CdS and ZnS thin films, *Thin Solid Films*, 361-362, pp: 102-106
- Cullity, B.D., 1966, *X-ışınlarının difraksiyonu* (Çev. Sümer A., Prof.Dr.), İTÜ Yayınları, No.679, sayfa : 546
- Çağlar, Y., Çağlar, M. and Ilıcan, S., 2005, Current-voltage-temperature characteristics of $Cd_{0.73}Zn_{0.27}S_{1-x}Se_x$ films deposited by spray pyrolysis, *Çankaya Üni.J. of Arts and Sci.*, Vol.4, pp: 37-46
- Danaher, W.J., Lyons, L.E. and Morris, G.C., 1985, Some Properties of Thin Films of Chemically Deposited Cadmium Sulphide, *Solar Energy Materials*, 12, 137-148.
- El Nahass, M.M., Jamjoum, O., Al-Howaity, S.M. and Abdel-Hady, K., 1990, Optical properties of vacuum-deposited CdS_xS_{1-x} thin films, *J. of Mater. Sci. Lett.*, 9, pp: 79-82

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Feitosa, A.V., Miranda, M.A.R., Sasaki, J.M. and Araújo-Silva, M.A., 2004, A new route for preparing CdS films by chemical bath deposition using EDTA as ligand, *Brazilian J. of Physics*, Vol. 34, No. 2B, pp: 656-658
- Gibson, P.N., Özsan, M.E., Lincot, D., Cowache, P. and Suma, D., 2000, Modelling of the structure of CdS thin films, *Thin Solid Films*, 361-362, pp: 34-40
- Goldstein, J.I., Romig, A.D., Newbury, D.E., Lyman, C.E., Echlin, P., Fiori, C., Joy, D.C. and Lifshin, E., 1992, *Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis*, Plenum Pres, NY / USA, p: 820
- Greco, R., Popovici, E.C., Ladar, M., Pascu, L. and Indrea, E., 2004, Spectroscopic characterization of chemical bath deposited cadmium sulphide layer, *J. of Optoelectronics and Advanced Mater.*, Vol. 6, No. 1, pp: 127-132
- Guseinov, E. Javarov, M. and Nasibov, I., 1997, Noise characteristics of $Cd_{1-x}Zn_xS$ film deposited from solution, *Tr. J. of Physics*, 21, pp:1255-1259
- Han, S.H., Mane, R.S., Desai, J.D. and Joo, O.S., 2007, Surface morphology and optical studies of non-aqueous Bi_2S_3 thin films, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2, pp: 141-148
- Hankare, P.P., Gadave, K.M. and Lokhande, C.D., 1993, Preparation and characterization of $Cd_{0.8}Zn_{0.2}S$ pellets prepared by co-precipitation method, *Indian J. of Pure & Applied Physics*, Vol. 31, pp: 664-669
- Hartley, A. and Irvine, J.C., 2000, The effects of the growth parameters of the CdS window layer on the photovoltaic properties of MOCVD-grown CdS/CdTe solar cells, *J. of Mater. Sci.: Mater. in Electronics*, 11, pp: 569-573
- Hepp, A.F., Raffaele, R.P., Banger, K.K., Jin, M.H., Lau, J.E., Haris, J.D., Cowen, J.E. and Duraj, S.A., 2002, Chemical vapor deposition for ultra-lightweight thin-film solar arrays for space, *IECEC2002*, pp: 1-6

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Herrero, J., Guitierrez, M.T., Guillen, C., Dona, J.M., Martinez, M.A., Chaparro, A.M. and Bayon, R., 2000, Photovoltaic Windows by Chemical Bath Deposition, Thin Solid Films, 361-362, 28-33.
- Herrera, S., Ramos, C.M., Patino, R., Pena, J.L., Cauich, W. and Oliva, A.I., 2006, Analysis of the chemical bath and its effect on the physical properties of CdS/ITO thin films, Brazilian J. of Phys., Vol. 36, 3B, pp: 1054-1057
- Hook, J.R. and Hall, H.E., 1999, Katihal Fiziği (Çev. Köksal, F., Başaran, E., Dinçer, M., Altunbaş, M.), Literatür Yayıncılık, İstanbul, syf: 467
- Ichimura, M., Goto, F. and Arai, E., 1999, Structural and Optical Characterization of CdS Films Grown by Photochemical Deposition, Journal of Applied Physics, 85, pp: 7411-7417.
- Ignatov, A.V., 1988, Effect of an electric field on the mass transfer of sulfure and cadmium in thin polycrystalline layers of CdS, Plenum Publishing Corp., pp: 1116-1118
- Ilıcan, S., Çağlar, Y. ve Çağlar, M., 2005, CdZnS ve ZnO yarıiletken filmlerin yasak enerji aralıkları, SAÜ Fen Bil. Ens. Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, ss: 48-54
- Ilıcan, S., Çağlar, Y. ve Çağlar, M., 2006, Püskürtme yöntemi ile farklı taban sıcaklıklarında elde edilen $Cd_{0.22}Zn_{0.78}S$ filmlerinin x-ışınları çalışması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bil. Ens. Dergisi, 10-2, syf: 144-148
- Ilıcan, S., Çağlar, Y. ve Çağlar, M., 2005, Spray pyrolysis yöntemi ile elde edilen CdZnS filmlerinin yapısal özelliklerine hazırlama parametrelerinin etkisi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, syf: 22-30
- İrmak, S., 2006, Flor Katkılı CdO Yarıiletken Bileşiğinin Spray Pyrolysis Yöntemi ile Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, syf: 92; 58.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İzci, F., 1996, Spray Pyrolysis Metodu ile Elde Edilen $Cd_{1-x}In_xS$ Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, syf: 59; 3, 9.
- Jayaraj M.K. and Yoosuf, R., 2005, Optical and photoelectrical properties of $\beta-In_2S_3$ thin films prepared by two-stage process, *Sold Energy Mater. & Solar Cells*, 89, pp: 85-94
- Jin, M.H., Banger, K.K., Kelly, C.V., Scofield, J.H., McNatt, J.S., Dickman, J.E. and Hepp, A.F., 2005, Solar cell fabricated with $CuInS_2$ films deposited using single-source precources, NASA, pp: 1-4
- Johnson, D.R., 2000, Microstructure of electrodeposited CdS/CdTe cells, *Thin Solid Films*, 361-362, pp: 321-326
- Kamada, Y., Kawaharamura, T., Nishinaka, H. and Fujita, S., 2006, Linear-source ultrasonic spray chemical vapor deposition method for fabrication of ZnMgO films and ultraviolat photocondetectors, *Jpn.J. of Appl. Phys.*, Vo. 45, No.32, pp: L857-L859
- Kasem, K.K., 1999, Photo-electrochemistry at Polymer / Semiconductor Interface, *Journal of Materials Science*, Vol. 34, pp: 5237-5242
- Kao, K.C. and Hwang, W., 1979, Electrical transport in solids, *Int. Series in The Sci. of The Solid State*, Pergamon Pres, 14, Manitoba, Canada
- Kashiwaba, Y., Kirita, H., Abe, H. and Ikeda, T., 1990, Fabrication of Cu-doped CdS cell by an all-evaporation process and its photovoltaic properties, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, Vol. 29, No. 9, pp: 1733-1738
- Kazumichi, A., Ryoichi, A., Li, B.S., Hasama, T. and Takanashi, Y., 2007, Fabrication of high-mesa waveguides based on wide-band-gap II-VI semiconductors for telecom wavelength applications, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, Vol. 46, No. 1, pp: 200-204

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kestner, J.M.,2004, Development and analysis of vapor transport deposition of cadmium tellüride thin film, Colorado School of Mines, The Thesis For The Degree Of Doctor Of Philosophy, pp: 118
- Kittel, C., 1996, Katıhal fiziğine giriş, (Çev.B. Karaoğlu), Bilgi Tek Yayınları, İstanbul, s: 434
- Kittel, C., 1976, Katıhal Fiziğine Giriş, (Çev. Altınhan.T. ve Sağlam M.) Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Ss: 320
- Koelmans, H., 1971, Application of Semiconducting Thin Films, Thin Solid Films, Vol. 8, 19-33.
- Köse, S., Atay, F., Bilgin, V and.Akyüz, I., 2004, Some physical properties of CdS:Sn films obtained by ultrasonic spray pyrolysis technique, Anadolu Uni. J. of Sci. And Tech., Vol. 5, No. 2, pp: 237-243
- Köse, S., Atay, F., Bilgin, V. and Akyüz, İ., 2001, The investigation of the activation energies of CdS films, F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi, 13 (1), pp: 59-63
- Köse, S., Peker, D., Atay, F. ve Bilgi, V., 2000, Spray Pyrolysis Yöntemi ile Yarıiletken İnce Filmlerin Elde Edilmesi, Osmangazi Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığı, Proje No: 98/16, syf: 51
- Köse, S., 1993, Spray Pyrolysis Metodu ile Elde Edilen $Cd_{1-x}Zn_xS$ Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi (yayınlanmamış), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, syf: 112
- Kumar V., Sing, V., Sharma, S.K., and Sharma, T.P., 1998, Structural and optical properties of sintered $Cd_{1-x}Zn_xS$ films, Optical Materials, 11, pp: 29-34
- Kumar P., Misra, A., Kumar, D., Dhama, N., Sharma, T.P., and Dixit, P.N., 2004, Structural and optical properties of vacuum evaporated $Cd_xZn_{1-x}S$ films, Optical Materials, 27, pp: 261-264

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lampkin, C.M., 1979, Prog. Crys. Growth Charac., Pergamon Press, London-GB
- Lee, Y., Kim, H. and Roh, Y., 2001, Deposition of ZnO thin films by the ultrasonic spray pyrolysis technique, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, pp: 2423-2428
- Lifshitz, E., Tene, R., Nabutovsky, V.M. and Francis, A.F., 1992, Unusual photoluminescence of porous CdS(CdSe) crystal, Solid State Communications, Vol. 82, No. 9, pp: 651-654
- Lokhande, C.D. and Mane, R.S., 1997 Studies on chemically deposited cadmium sulphoselenide (CdSSe) films, Thin Solid Films, 304, pp: 56-60
- Lokhande, C.D., Sankapal, B.R. and Mane, R.S., 2000, Deposition of CdS films by the successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method, Mater. Res. Bull., 35, pp: 177-184
- Lozada-Morales, B. and Zelaya-Angel, O., 2004, Effects of annealing on the lattice parameter of polycrystalline CdS thin films, Cryst. Res. Technol., 39, No. 12, pp: 1115-1119
- Mahanty, S., Basak, D., Rueda, F. and Leon, M., 1999, optical properties of chemical bath deposition CdS thin films, J. of Electronic Materials, Vol. 28, No. 5, p: 1
- Many, A., Goldstein, Y. and Grover, N.B., 1971, Semiconductor surfaces, North Holland Press, Amsterdam-Holland
- Mathew, X. and Enriquez, J.P., 2003, Influence of the thickness on structural, optical and electrical properties of chemical bath deposited cdS thin films, Solid Energy Mater. & Solar Cells, 76, pp: 313-322
- McKelvey, J.P., 1966, Solid State and Semiconductor Physics, A Harper International Edition NY, p: 512

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Metin, H. and Esen, R., 2003, Photoconductivity studie on CdS films grown by chemical bath deposition technique, Erciyes Üniversitesi Fen Bil. Ens. Dergisi, 19 (1-2), pp: 96-102
- Morales-Acavedo, A., Vigil-Galán, O., Contreras-Puente, G., Vidal-Larramendi, J., Arriaga-Mejía, G., Chavarría-Castañeda M., Escamilla-Esquivel, A., Hernández-Contreras, H., Arias-Carbajal, A., and Cruz-Gandarilla, F., 2002, Physical properties of CdS thin films grown by different techniques: a comparative study, IEEE624
- Narayandass, SA.K., Sridharan, M., Mangalaraj, D. and Lee, C., 2002, Characterization of vacuum evaporated polycrystalline $Cd_{0.96}Zn_{0.04}Te$ thin films by XRD, Raman scattring specroskopic ellipsometry, Crys. Res. Technol., 37, 9, pp: 964-975
- Nassau K., 1978, The origins of color in minerals, American Mineralogist, Volume 63, pp: 219-229)
- O'Brien, P., Boyle, D.S., Otway, D.J. and Robbe, O., 1999, Novel approach to the deposition of CdS by chemical bath deposition: the deposition of crystalline thin films of CdS from acidic baths, J. of Mater. Chemistry, 9, pp: 725-729
- Oliva, A.I., Ordaz-Flores, A., Bartolo-Perez, P. and Castro-Rodriguez, R., 2006, Annealing effects of the mass diffusion of the CdS/ITO interface deposited by chemical bath deposition, Revista Mexicana De Fisica, 52 (1), pp: 15-19
- Oliva, A.I., Castro-Rodriguez, R., Solis-Canto, O., Sosa, V., Quintana, P. and Pena, J.L., 2003, Comparison of properties of CdS thin films grown by two techniques, Applied Surface Science, 205, pp: 56-64
- Omura, K., Veluchamy, P., Tsuji, M., Nishio, T. and Murozono, M., 1999, A pyrosol technique to deposit highly transparent, low-resistance $SnO_2:F$ thin films from dimethyltin dichloride, J. of The Electrochemical Society, 146(6), pp: 2113-2116

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Onaran, A. ve Altıntaş, S., 1986, Malzemelerin Yapı ve Özellikleri, İTÜ, İstanbul, syf:288
- Onaran, K., 1993, Malzeme Bilimi, 4.basım, İstanbul Bilim Teknik Yayınevi, syf:368
- Pankove, J.I., 1971, Optical properties in semiconductors, Solid State Physical Electronics Series, Prentice Hall, NJ / USA, p: 422
- Pemble, M.E., Povey, I.M., Whitehead, D., Thomas, K. and Bardosova, M., 2006, Photonic crystal thin films of GaAs prepared by atomic layer deposition, App. Physc. Lett., 89, 104103 pp: 1-3
- Punnoose, A., Marafi, M., Prabu, G. and El Akkad, F., 2000, CdS Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering in Ar Atmosphere, Phys. Stat. Sol., (a) 177, pp: 453-458.
- Qasravi, A.F., Gunal, I. and Ercelebi, C., 2000, Structural and electrical properties of Cd doped InSe thin films, Crys. Res. Technol., 35, 9, pp: 1077-1086
- Ramachandran, K., Raji, P. and Sanjeeviraja, C., 2005, Thermal and structural properties of spray pyrolysed CdS thin film, Bull. Mater. Sci., Vol. 28, No. 3, pp: 233-238
- Rami, M., Benamar, E., Fahoume, M., Charaibi, F. and Ennaoui, A., 2000, Effect of Heat Treatment With CdCl₂ on The Electrodeposited CdTe/CdS Heterojunction, M.J. Condensed, Vol. 3, No. 1, pp: 66-70
- Riyad N. Ahmad - Bitar, 1998, Photoluminescence Spectra of Doped and Undoped CdS Films prepared by Spray Pyrolysis, ICN'98, pp: 127 - 130
- Rudden, M.N. and Wilson, J., 1980, Elements of solid state physics, J. Wiley & Sons Ltd., GB, p:186

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sahay, P.P., Nath, R.K. and Tewari, S., 2007, optical properties of thermally evaporated CdS thin films, *Cryst. Res. Technol.*, 42, No. 3, pp: 275-380
- Salazar, Y.A., Patiño, R., Peña, J.L., Cauich, W., and Oliva, A.I., 2006, Physical properties of CdS/ITO thin films growth by CBD technique with substrate oscillating agitation, *Brazilian J. of Physics*, Vol. 36, No. 3B, pp: 1058-1061
- Sasikala, G., Thilakan P. and Subramanian C., 2000, Modification in the chemical bath deposition apparatus, growth and characterization of CdS semiconducting thin films for photovoltaic applications, *Solar energy Mater. & Solar Cells*, 62, pp: 275-293
- Saxena, N.S., Patidar, D., Sharma, R., Jain, N. and Sharma, T.P., 2006, Optical Properties of CdS Sintered Film, *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 29, pp: 21-24
- Savaşkan, T., 1999, Malzeme bilgisi ve muayenesi, KTÜ Mak. Mühendisliği, Derya Kitabevi, s: 285
- Seeger, K., 1973, *Semiconductor Physics An Introduction*, 2nd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Newyork, p: 462
- Smith, W.F., 1990, *Principles of materials science and engineering*, McGraw-Hill Inc., USA, p: 864
- Soriaga, M.P., 2002, *Thin Films : Preparation, Characterization, Applications*, Kluwer Academic / Plenum Publishers, NY / USA (Editor)
- Sutrave, D.S., Shahane, G.S., Patil, V.B. and Deshmukh, L.P., 2000, Chemically synthesised Cd_{1-x}Zn_xSe thin films: spectro-structural and microscopic studies, *Turk J. Phys.*, 24, pp: 63-76
- Sze, S.H., 1981, *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd Ed., NY, J. Wiley & Sons, Inc., USA, p: 868

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tell, B., Shay, J.L. and Kasper, H.M., 1972, Room temperature electrical properties of ten I-III-VI₂ semiconductors, J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 5
- Tigau, N., Ciupina, V., Rusu, G.I., Prodan, G., and Vasile, E., 2004, Influence of substrate temperature on the structural and optical properties of Sb₂S₃ thin films, Romania Journ. Phys., Vol. 50, No. 7-8, pp: 859-868
- Torres, J. and Gordillo, G., 1992, Photoconductors based on Zn_xCd_{1-x}S thin films, Thin Solid Films, 207, pp: 231-235
- Torres, J. and Gordillo, G., 1997, Photoconductors based on Zn_xCd_{1-x}S and CdSe_{1-y}S_y thin films, fabricated with multilayer structure, Thin Solid Films, 310, pp: 310-316
- Tyagi, M.S., 1991, Introduction to Semiconductor Materials and Devices, J. Wiley & Sons, Inc., Canada, p: 669
- Ullrich, B., Schroeder, R., Graupner, W. and Sakai, H., 2001, The Influence of Self-absorption on The Photoluminescence of Thin Film CdS Demonstrated by Two-photon Absorption, Optic Express, Vol. 9, Nu. 3, pp: 116-120.
- Valyomana, A.G., Vijayakumar, K.P. and Purushothaman, C., 1990, Effect of Annealing Temperatures on The Electrical Transport Properties of Spray Pyrolysed CdS Films, Journal of Materials Science Letters, Vol. 9, pp: 1025-1027
- Valyomana, A.G., Vijayakumar, K.P. and Purushothaman, C., 1992, Influence of annealing on lifetime of minority carriers in n-type Cds films, Journal of Materials Science Letters, Vol. 11, pp: 76-78
- Vlack, L.H.Van, 1972, Malzeme Bilimine Giriş (Çev. Safoğlu, R.A.), İTÜ Maden Fak. Yayınları, İstanbul, syf: 272; 128.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Vigil, O., Tomás S.A., Alavarado-Gil, J.J., Lozada-Morales, R., Zelaya-Angel, O., Vargas, H. and da Silva, A.F., 1995, Study of the band-gap shift in CdS films: influence of thermal annealing in different atmosphere, arXiv:cond-mat/9501125 v1, pp: 1-18
- Wang, S., 1989, Fundamentals of semiconductor theory and devices physics, Prentice Hall, NJ / USA, p: 864
- Webb, J.D., Keane, J., Ribelin, R., Gedvilas, L. Swartzlander, A., Ramanathan, K., Ablin, D.S. and Noufi, R., 1998, Spectroscopic analysis of impurity precipitates in CdS films, National Renewable Energy Laboratory, pp:1-7
- Wenyi, L., Xun, C., Qiulong, C. and Zhibin, Z., 2005, Influence of growth process on the structural, optical and electrical properties of CBD-CdS films, Mater.Sci., 59, pp: 1-5
- Wu, X. and Sheldon, P., 2000, A novel manufacturing process for fabricating CdS/CdTe polycrystalline thin-film solar cells, National Renewable Energy Lab., Conference Paper, pp: 1-4
- Wu, X., Dhere, R.G., Ablin, D.S., Gessert, T.A., DeHart, C., Keane, J.C., Duda, A., Coutts, T.J., Asher, S., Levi, D.H., Moutinho, H.R., Yan, Y., Moriarty, T., Johnston, S., Emery, K. and Sheldon, P., 2001, High-efficiency CTO/ZTO/CdS/CdTe polycrystalline thin-film solar cells, National Renewable Energy Lab., pp: 1-3
- Yamaguchi, T., Yamamoto, Y., Tanaka, T., Demizu, Y. and Yoshida, A., 1996, (Cd,Zn)S thin films prepared by chemical bath deposition for photovoltaic devices, Thin Solid Films, 281-282, pp: 375-378
- Yea, B., Sasaki, H., Osaki, T., Sugahara, K. and Konushi, R., 1999, Investigation of substrate-dependent characteristics of SnO₂ thin films with Hall Effect, X-Ray Diffraction, X-Ray Photoelectron Spectroscopy and Atomic Force Microscopy measurements, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, pp: 2103-2107

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zelaya-Angel, O., Vigil, O., Arias-carbajal, A., Cruz, F. and Contreras-Puente, G., 2001, Modification of the properties of chemically deposited CdS thin films grown under magnetic field and variable growing parameters, Mater. Res. Bull., 36, pp: 521-530

Zelaya-Angel, O. and Zinoviev, K.V., 2001, Influence of temperature thermal annealing on the dark resistivity of chemical bath deposited CdS films, Mater. Chemistry and Physics, 70, pp: 100-102

Zelaya-Angel, O., Vasquez Luna, J.G. and Zehe, A., 1999, Chemical CdS thin film deposition influenced by external electric and magnetic fields, Cryst. Res. Technol., Vol. 34, No. 8, pp: 949-958

Zenobi, R., Yeo, BS., Zhang, W. and Vannier, C., 2006, Enhancement of Raman Signals with silver-coated tips, Applied Spectroscopy, Vol.60, No.10, pp: 1142-1147

Zor, M., 1982, Spray Pyrolysis Metodu ile Elde Edilen AgInS₂ Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doçentlik Tezi (yayınlanmamış), Ankara, syf: 66

Zor, M., 1991, Modern Fizik “ Maddenin Elektriksel İletkenlik Özellikleri “, Anadolu Üniversitesi Yayınları, syf: 99 ; 101,

http://www.en.wikipedia.org/wiki/Cadmium_sulfide

<http://www.kimyaevi.org>

<http://www.members.kr.inter.net/joo/physics/curri-sub/crystal/lattice.html>

<http://www.mse.iastate.edu/microscopy>; <http://physics.unl.edu>

<http://www.physics.unl.edu>

<http://www.siliconfareast.com/edxwdx.htm>

<http://www.unl.edu>

<http://www2.arnes.si>

ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Bilecik'te doğdu. Ordu İlinde başladığı İlköğrenimi Bilecik Atatürk İlkokulu'nda tamamladı. Daha sonra sırası ile Kütahya Lisesi Ortaokul kısmını bitirdikten sonra Bilecik Ertuğrulgazi Lisesi Matematik bölümünden 1978 yılında mezun oldu. Yüksek öğrenimini ise Marmara Üniversitesi'nde tamamladıktan sonra Anadolu Üniversitesi Bilecik Meslek Yüksek Okulu'nda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Şubat 1988 'de " Tuğlaların Mekaniksel, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri " konulu Yüksek Lisansını tamamladı. 1991 yılında istifa ederek özel sektörde üst düzey yönetici olarak çalıştı. Daha sonra dönüş yaptığı Milli Eğitim Bakanlığı emrinde " Milli Eğitimi Geliştirme Projesi " kapsamında Amerika Birleşik Devletleri'nde görev yaptıktan sonra yurda dönüşte Bilgisayar Eğitimi ve Hizmetleri Genel Müdürlüğü emrinde çalıştı. Alanında görev yapan İznik İlçesindeki İlköğretim sınıf ve branş öğretmenlerini kapsayan araştırmasını tamamlayarak "İlköğretim 1. Kademe 4 ve 5. Sınıf Öğretmenleri ile 2. Kademe Fen Bilgisi ve Matematik Öğretmenleri Üzerine Özyeterlik Duygusunun, Sonuç Beklentileri ile Başarı Yetilerinin Belirlenmesi" adıyla kitap olarak yayınladı. "10 Yıllık (6+4) Temel Eğitime Geçiş Zorunluluğu ve Uygulama Koşulları", "Türk Milli Eğitim Sisteminde Zorunlu Eğitim ve Kesintisiz Eğitim İkilemi", "Mesleki Orta Öğretim Kurumlarının Değiştirilen Yüzü ve Radikal Çözüm İhtiyaçları" ve "Dershane-Okul Kıskacındaki Veliler ve Öğrenciler ile Hizmet Satın Alan <illiM> Eğitim Anlayışı" adlarında dört kitabı daha baskıya hazırlanmaktadır.

Halen Milli Eğitim Bakanlığı emrinde öğretmen olarak görev yapmakta olup Sınıf Öğretmeni Mesude USTA ÖZKAN ile evli ve Şeniz Merve ile Doruk Arda'nın babasıdır.