



T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL BANYO YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN $Cd_{1-x}Co_xS$ İNCE
FİLMLERİNİN BAZI YAPISAL, ELEKTRİKSEL VE OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yılmaz ÖNCEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE 2014

**T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYASAL BANYO YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN $Cd_{1-x}Co_xS$ İNCE
FİLMLERİNİN BAZI YAPISAL, ELEKTRİKSEL VE OPTİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yılmaz ÖNCEL

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Murat TOMAKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ




FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE 2014

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL BANYO YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN $Cd_{1-x}Co_xS$
İNCE FİLMLERİNİN BAZI YAPISAL, ELEKTRİKSEL VE
OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışma, 06 / 02 / 2014 tarihinde yapılan sınav ile Fizik Anabilim Dalı'nda oy birliği / oy çokluğu ile YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, Soyadı	İmzası
Tez Danışmanı	: Doç. Dr. Murat TOMAKIN	
Jüri Üyesi	: Doç. Dr. Şükrü ÇELİK	
Jüri Üyesi	: Yrd. Doç. Dr. E. Fahri KESKENLER.	


Prof. Dr. Fatih YILMAZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, cam altlıklar üzerinde, kimyasal banyo yöntemiyle üretilen $Cd_{1-x}Co_xS$ ($0 \leq x \leq 0,1$) ince filmlerin bazı yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri incelendi. Deneysel çalışmalar Recep Tayyip ERDOĞAN Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarı'nda yapıldı.

Başta, Yüksek Lisans öğrenciliğimin her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Murat TOMAKİN'e, yardımlarını ve desteklerini eksiltmeyen değerli hocam Doç. Dr. Şükrü ÇELİK'e en içten dileklerle teşekkür ederim. Aynı zamanda bana çalışmalarımın yardımcı olan Arş. Gör. S. Barış GÜNER'e ve sevgili arkadaşım uzman Murat ŞİRİN'e teşekkürler.

Burada bulunmamda benden maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen aileme teşekkürler.

Yılmaz ÖNCEL
Rize 2014

ÖZET

Kimyasal banyo yöntemiyle elde edilen $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerin bazı yapısal, elektriksel ve optik özelliklerinin incelenmesi

Bu çalışmada, II–VI grubu yarıiletkeni olan CdS ince filmlerinin bazı fiziksel özelliklerine kobalt katkısının etkisi araştırıldı. $Cd_{1-x}Co_xS$ ($0 \leq x \leq 0,1$) ince filmleri kimyasal banyo yöntemiyle cam altlıklar üzerinde elde edildi. Bu filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri araştırıldı. İnce filmlerin kalınlığı yaklaşık olarak 152–130 nm civarında olduğu belirlendi. X-ışını kırınım desenlerinden, elde edilen örneklerin kristal yapısının karışık faza sahip olduğu belirlendi. Kobalt katkısı ile örneklerin tane boyutunun yaklaşık 200 nm'den 100 nm'ye doğru azaldığı görüldü. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerinde katkı miktarı arttıkça örneklerin bileşim oranının bozulduğu belirlendi. Kobalt katkısının örneklerin optik geçirgenliğini %85'den %65 civarına azalttığı görüldü. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerinin kübik ve hegzagonal faza ait olan çift yasak bant aralığına sahip olduğu tespit edildi. Kübik faza ait olan bant aralığı kobalt katkısı ile 2,37 eV'tan 2,41 eV'a doğru artarken hegzagonal faza ait olan bant aralığı 2,97 eV'tan 2,88 eV'a doğru azaldı. Kobalt katkısı ile örneklerin özdirenci artarken taşıyıcı yoğunluğunun ve elektron hareketliliğinin azaldığı tespit edildi.

Elde edilen filmlerin bir kısmı 473, 573 ve 673 K sıcaklığında ve 2×10^{-2} torr'luk vakum ortamında 20 dakika tavlandı. Tavlanan numunelerin x-ışını kırınım desenlerinde yeni bir pik görülmedi. Tavllanmış örneklerin kristal yapısının karışık faz olduğu belirlendi. Tavlamanın $x = 0,075$ ve $x = 0,1$ oranında Co katkılı örneklerin tane boyutunu değiştirmedığı görüldü. Diğer örneklerin tane boyutu tavlama sonrası arttı. Tavlama ile örneklerin bileşim oranının iyileştiği tespit edildi. Tüm örneklerde kübik faza ait yasak band aralığı tavlama sonrası azalırken hegzagonal faza ait band aralığının arttığı görüldü. Tavlama sonrası örneklerin özdirenc değerleri azalırken taşıyıcı yoğunluğunun ve elektron hareketliliğinin arttığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: $Cd_{1-x}Co_xS$, X-ışını Kırınımı, Elektriksel Özellikler, Optiksel Özellikler,

SUMMARY

Some Structural, Electrical and Optical Properties of Cd_{1-x}Co_xS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Technique

In this study, the effects of the doping cobalt on the CdS thin films, which are II-VI group semiconductor, have been investigated. Cd_{1-x}Co_xS ($0 \leq x \leq 0,1$) thin films were prepared on glass substrates by chemical bath deposition technique. The structural, electrical and optical properties of these thin films were investigated. The thickness of the thin films were about 152–130 nm. The crystal structure of prepared samples had the mixed phase. The grain size of the samples decreased from 200 nm to 100 nm with cobalt doping. Stoichiometry of the samples deteriorated with the doping concentration increases. Cobalt doping decreased the optical transmittance of the samples from 85% to 65%. Cd_{1-x}Co_xS thin films had two band gap, which are belong to cubic and hexagonal phase. The band gap of the hexagonal phase decreased from 2,97 eV to 2,88 eV as the band gap of the cubic phase increased from 2,37 eV to 2,41 eV with cobalt doping. The carrier concentration and the electron mobility of the samples decreased, and the resistivity of the samples increased with Co doping.

Several thin films were annealed at 473, 573 and 673 K for 20 minutes in the vacuum of 2×10^{-2} torr. In the XRD patterns of the annealed samples were not appeared a new peak. The crystal structure of the annealed samples had the mixed phase. The grain size of Co doped samples for $x = 0,075$ and $x = 0,1$ ratios was not changed after the annealing. The grain size of the other samples increased with annealing. Stoichiometry of the annealed samples was improved. For all samples the band gap of the hexagonal phase increased as the band gap of the cubic phase decreased after the annealing. The carrier concentration and the electron mobility of the annealed samples decreased, and the resistivity of the annealed samples increased.

Key Words: Cd_{1-x}Co_xS, X-Ray Diffraction, Electrical Properties, Optical Properties,

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
SUMMARY	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yarıiletkenler Hakkında Genel Bilgi	2
1.2.1. Yarıiletken Türleri	4
1.2.1.1. Özden Yarıiletkenler	5
1.2.1.2. Katkılı Yarıiletkenler	6
1.2.2. Yarıiletkenlerin Bant Yapısı	9
1.2.3. Yarıiletkenlerde Elektriksel İletkenlik	10
1.2.4. Hall Olayı	12
1.3.1. Giriş	14
1.3.2. II–VI Bileşiklerinin Kristal Yapıları	15
1.4. Örgü Konumları	15
1.4.1.1. Kristal Yapılar	16
1.4.2. II–VI Bileşiklerinin Optik Özellikleri	17
1.5. Yarıiletken İnce Film Elde Etme Teknikleri	19
1.5.1. Fiziksel Buharda Çökeltme Yöntemi	19
1.5.2. Kapalı Hacimde Çökeltme (Close-Space Sublimation) Yöntemi	19
1.5.3. Lazerle Buharlaştırma Yöntemi	20
1.5.4. Kimyasal Püskürtme Yöntemi	20
1.5.5. Kimyasal Banyo Yöntemi	21
1.6. Literatür Çalışması	22
1.6.1. Co Katkısının Yarıiletken İnce Film Örneklere Etkisi	22
1.6.2. Tavlamanın CdS İnce Filmlere Etkisi	24
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	26

2.1. Giriş	26
2.2. Cd _{1-x} Co _x S İnce Filmlerin Elde Edilmesi.....	26
2.3. Örneklerin Kalınlık Ölçümü	28
2.5. X-Işını Kırınım Analizi.....	29
2.7. Elektriksel Özellilerinin Ölçülmesi	31
2.7.1. Özdirenç Ölçümü	31
2.7.2. Hall Katsayısı Ölçümü.....	33
2.8. Optik Özelliklerin Ölçümü	34
2.8.1. Optik Geçirgenlik Ölçümü.....	34
2.8.2. Fotoluminesans Ölçümü	35
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
3.1. Co Katkısının CdS Yarıiletken İnce Filmlerine Etkisi	36
3.1.1. Yapısal Özelliklerin İncelenmesi.....	36
3.1.2. Optik Özelliklerin İncelenmesi	41
3.1.3. Elektriksel Özelliklerin İncelenmesi.....	44
3.2. Tavlamanın Cd _{1-x} Co _x S Yarıiletken İnce Filmlerine Etkisi	47
3.2.1. Yapısal Özelliklerin İncelenmesi.....	47
3.2.2. Optik Özelliklerin İncelenmesi	57
3.2.3. Elektriksel Özelliklerin İncelenmesi.....	63
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
5. KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. a) Temiz (özden) yarıiletkenin enerji bandlarının ve b) enerji band diyagramının şematik gösterimi	4
Şekil 2. Elmas tipli kristal örgü	5
Şekil 3. Silisyum örgüsünde atomlar arası bağların gösterimi a) $T = 0$, b) $T > 0$	6
Şekil 4. Silisyumdaki (a) donör ve (b) akseptör tipli katkı atomunun şematik görünümü	7
Şekil 5. a) Donör ve b) akseptör tipli yarıiletkenlerin bant diyagramları.....	8
Şekil 6. a) Bir yarıiletkenin band yapısı b) a)'daki bandın şematik gösterimi.....	10
Şekil 7. Hall olayının geometrisi	14
Şekil 8. Tetrahedral örgü konumları.....	16
Şekil 9. a) Wurtzite yapısı, b) Çinko–blende yapısı.....	16
Şekil 10. Doğrudan ve dolaylı geçiş.....	18
Şekil 11. Vakumda buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi.....	19
Şekil 12. Kapalı hacimde buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi	20
Şekil 13. Lazerle buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi	20
Şekil 14. Kimyasal püskürtme yönteminin şematik gösterimi	21
Şekil 15. Kimyasal banyo yönteminin şematik gösterimi	22
Şekil 16. Protherm Marka Fırın.....	29
Şekil 17. Rigaku Multiflex model toz kristal difraktometresi	30
Şekil 18. JEOL JSM–6610 taramalı elektron mikroskobu.....	31
Şekil 19. a) Hal katsıısı ölçümü için kullanılan omik kontaklar b) ve c) Van der Pauw yöntemi için kullanılan omik kontakların şematik gösterimi.....	31
Şekil 20. PerkinElmer UV/ VIS Spectrometer Lamda 35	35
Şekil 21. SpectraMax M5	35
Şekil 22. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin x-ışını kırınım desenleri a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$	36

Şekil 23. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin c örgü parametreleri	38
Şekil 24. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen yüzey şekilleri a) x = 0, b) x = 0,025, c) x = 0,05, d) x = 0,075 ve e) x = 0,1.....	39
Şekil 25. x = 0,05 oranında Co katkısı yapılan örnek için a) EDS analizinde kullanılan SEM görüntüsü ve b) 94 no'lu ölçümün EDS spektrumu.....	40
Şekil 26. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin optik geçirgenlik eğrileri a) x = 0, b) x = 0,025, c) x = 0,05, d) x = 0,075 ve e) x = 0,1	41
Şekil 27. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri a) x = 0, b) x = 0,025, c) x = 0,05, d) x = 0,075 ve e) x = 0,1.....	42
Şekil 28. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin fotoluminesans grafikleri a) x = 0, b) x = 0,05, c) x = 0,075.....	43
Şekil 29. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin katkıya göre logaritmik ölçekte öz direnç grafiği	44
Şekil 30. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin katkıya göre logaritmik ölçekte taşıyıcı yoğunluğu grafiği	45
Şekil 31. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin katkıya göre logaritmik ölçekte elektron hareketliliği grafiği	46
Şekil 32. CdS örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K.....	47
Şekil 33. Cd _{0,975} Co _{0,025} S örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K.....	48
Şekil 34. Cd _{0,95} Co _{0,05} S örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K.....	49
Şekil 35. Cd _{0,925} Co _{0,075} S örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K.....	50
Şekil 36. Cd _{0,9} Co _{0,1} S örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K.....	51
Şekil 37. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre c örgü parametreleri a) x = 0, b) x = 0,025, c) x = 0,05, d) x = 0,075 ve e) x = 0,1.....	53
Şekil 38. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin tavlamadan önceki [a), c), e), g), ı)] ve 673 K'de tavlandıktan sonraki [b), d), f), h), j)] taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen yüzey şekilleri x = 0 için a) ve b), x = 0,025 için c) ve d), x = 0,05 için e) ve f), x = 0,075 için g) ve h), x = 0,1 için ı) ve j).....	55

- Şekil 39.** 1) $x = 0$, 2) $x = 0,025$, 3) $x = 0,05$, 4) $x = 0,075$ ve 5) $x = 0,1$ katkılı örnekler için a) tavlınmamış, b) 473 K'de, c) 573 K'de ve de) 673 K'de tavlandıktan sonraki optik geçirgenlik eğrileri..... 57
- Şekil 40.** 1) $x = 0$, 2) $x = 0,025$, 3) $x = 0,05$, 4) $x = 0,075$ ve 5) $x = 0,1$ katkılı örnekler için a) tavlınmamış, b) 473 K'de, c) 573 K'de ve de) 673 K'de tavlandıktan sonraki hv' 'ye karşı $(ahv)^2$ grafikleri 59
- Şekil 41.** 1) $x = 0$, 2) $x = 0,025$, 3) $x = 0,05$, 4) $x = 0,075$ ve 5) $x = 0,1$ katkılı örnekler için a) tavlınmamış ve b) 673 K'de tavlandıktan sonraki fotoluminesans grafikleri..... 61
- Şekil 42.** $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre logaritmik ölçekte öz direnç grafiği a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$ 63
- Şekil 43.** $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre logaritmik ölçekte taşıyıcı yoğunluğu grafiği a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$ 65
- Şekil 44.** $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre logaritmik ölçekte elektron hareketliliği grafiği a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$ 67

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ge, Si, GaAs ve CdS yarıiletkenlerinin bazı özellikleri	2
Tablo 2. Çözelti için kullanılan kimyasalların gram cinsinden kütleleri	27
Tablo 3. Cd _{1-x} Co _x S ince film örnekleri için Cd, S ve Co atomik yüzdeleri ve [Cd+Co]/S oranı	40
Tablo 4. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin alt ve üst bant aralıkları	42
Tablo 5. 673 K'de tavllanmış Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin Cd, S ve Co'nun atomik yüzdeleri ve [Cd+Co]/S oranı	56
Tablo 6. Cd _{1-x} Co _x S ince film örneklerinin tavlama sonrası alt ve üst bant aralıkları	60

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SEMBOLLER DİZİNİ

B	: Manyetik alan
E	: Elektrik alan
E_i	: Alıcı enerji düzeyi
E_{be}	: Eksiton bağlanma enerjisi
E_d	: Verici enerji düzeyi
E_g	: Bant aralığı enerjisi
E_H	: Hall elektrik alanı
μ	: Taşıyıcı hareketliliği
h	: Plank sabiti
j	: Akım yoğunluğu
k	: Dalga vektörü
k_B	: Boltzman sabiti
m_e	: Elektron etkin kütlesi
m_h	: Deliğin etkin kütlesi
n	: Elektron konsantrasyonu
p	: Delik konsantrasyonu
R_H	: Hall sabiti
v_e	: Elektronun hızı
v_h	: Deliğin hızı
σ	: Elektriksel iletkenlik
ν	: Frekans
ϵ	: Kristalin dielektrik katsayısı
α	: Soğurma katsayısı
τ	: Taşıyıcı ömrü
μ_e	: Elektron hareketliliği
τ_e	: Elektron sürüklenme zamanı
τ_h	: Deliğin sürüklenme zamanı
μ_h	: Delik hareketliliği
ρ	: Yoğunluk

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yarıiletken malzemeler elektronik ve optoelektronik cihazların üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptirler. Temel taşıma yarıiletken malzemelerin oluşturduğu aygıtlar arasında transistör, diyot, fotovoltaiik güneş pili ve dedektörleri sayabiliriz. Bu aygıtlar devre elemanı olarak tek başlarına kullanılabilir veya entegre devrelerin bir parçası olabilirler. Günümüz teknolojisinde yarıiletken malzemeler yaygın olarak ışığın yayınlanmasını ve soğurulmasını gerektiren cihazlarda kullanılmaktadır. Bu cihazlarda kullanılan yarıiletkenin karakteristik özellikleri elektronik cihazların gelişmesinde oldukça önemlidir. Bunlara ek olarak teknolojide elektronların yüklerine ilaveten spinlerinin de kullanılma olasılığı çok büyük ilgi uyandırmıştır. Elektroniğin bu yeni alanı spintronik olarak bilinir. Seyreltik manyetik yarıiletkenler (diluted magnetic semiconductor, DMS) bu yeni alanda çok çalışılan malzemelerdir. Seyreltik manyetik yarıiletkenler Mn, Cr, Co ve Fe gibi manyetik iyonların yarıiletkenlere katkılanmasıyla elde edilir. Bu tür örneklerin geniş bir uygulama alanının olabilmesi için oda sıcaklığında ferromagnetik davranış göstermesi istenmektedir. Bu magnetik özellikler ince film hazırlama yöntemine, magnetik iyon katkı miktarına ve örnek hazırlama şartlarına bağlıdır.

Dietl ve arkadaşları tarafından 2000 yılında yapılan teorik çalışmalar ZnO'e dayalı seyreltik manyetik yarıiletken örneklerinin oda sıcaklığında ferromagnetik davranış gösterebileceğini ortaya koymuştur (Dietl vd., 2000). Bu sonucun ardından ZnO ve diğer II-VI grubu bileşiklere (CdS, CdTe, ZnS...) dayalı ferromagnetik yarıiletkenler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda örneklere magnetik iyon katkısı genellikle difüzyon yöntemi ile yapılmıştır. Bu çalışmaların dışında literatürde kimyasal olarak magnetik malzeme katkılanmış CdS örnekleri ile ilgili yapılmış çok az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada, $Cd_{1-x}Co_xS$ yarıiletken ince filmlerinin kimyasal banyo yöntemi ile hazırlanması planlandı. Yapılan çalışmalar sonucunda katkı miktarının CdS örneklerinin karakteristik özelliklerine etkisi incelenecektir.

1.2. Yarıiletkenler Hakkında Genel Bilgi

Elektrik akımını geçiren iki tür iletken vardır: elektronik geçişli ve iyonik geçişli iletkenler. Metallerde elektrik akımı taşıyıcıları elektronlar olduğu için metaller elektron iletkenlerdir. İyonik iletkenlerde elektrik akımı malzemenin iyonları ile taşınır ve iyonik iletkenin kompozisyon akımın geçtiği zamanla değişmektedir. Elektrolitler iyon iletkenler grubunda olabilirler. Yarıiletken malzemeler hem elektron hem de iyon iletkenliğine sahip olabilirler. Yarıiletkenlerin çoğunluğu, silisyum Si, germanyum Ge, selenyum Se, telluryum Te ve bileşik yarıiletkenler GaAs, GaP, InSb, InP, CdS, CdSe, CdTe, ZnS, PbS, PbSe, SiC vb, elektron iletkenliğine sahiptirler. Tablo 1’de Ge, Si, GaAs ve CdS yarıiletkenlerinin bazı özellikleri verilmektedir.

Isı enerjisi etkisiyle yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının (elektronların ve deliklerin) konsantrasyonu artmaktadır. Bu yöntemle meydana gelen yük taşıyıcılarına ısısal veya dengeleyici yük taşıyıcıları denir. Bundan başka, serbest yük taşıyıcıları ışık, elektrik alan, basınç, γ -ışınları, hızlı parçacıkların (elektronların, protonların, nötronların, iyonların vb bombardımanı) etkisiyle oluşabilir. Bu yöntemlerle meydana gelen yük taşıyıcıları denkleştirilmemiş yük taşıyıcıları olarak tanımlanırlar.

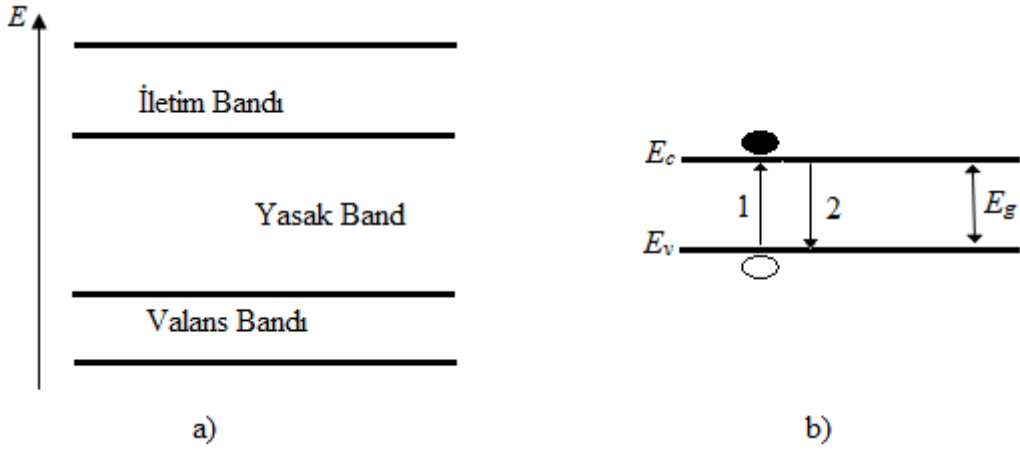
Tablo 1. Ge, Si, GaAs ve CdS yarıiletkenlerinin bazı özellikleri

Özellik	Ge	Si	GaAs	CdS
Ergime noktası (°C)	936	1420	1238	1475
Örgü parametresi (nm)	0,565	0,543	0,565	0,583
Yoğunluk (g/cm ³)	5,33	233	5,32	4,82
Elektron mobilitesi	3800	1350	6700	400
Delik mobilitesi	1800	480	400	15
Taşıyıcı yoğunluğu	$2,4 \times 10^{13}$	$1,5 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^6$	
Dielektrik katsayısı	16	12	10,9	9
Kırınım indisi	4	3,9	3,4	2,5
Yasak band aralığı (eV)	0,67	1,1	1,41	2,42

Yarıiletkenler özellikleri dış etkenlere karşı nasıl açıklayabiliriz? Metallerde atomlar tam olarak iyonlanmış durumdadır ve serbest elektronların konsantrasyonu ($n = 10^{22} \text{ cm}^{-3}$) atomların konsantrasyonuna eşittir. Bu nedenle metallerin özellikleri dış etkilerle çok az değişmektedir. Katkısız yarıiletkenlerde ise serbest elektronların konsantrasyonu ($n = 10^{13}-10^{15} \text{ cm}^{-3}$) ana atomların konsantrasyonundan (10^{22} cm^{-3}) çok azdır. Yarıiletken atomların dış etkilerle (ışık, elektrik alanı, basınç, hızlı parçacıklarla bombardıman vb.) iyonlaşması ve böylece serbest elektron konsantrasyonunun keskin bir şekilde değişmesi mümkündür. Bunun neticesinde yarıiletken özellikleri de keskin değişebilmektedir.

Serbest yük taşıyıcıların oluşma yöntemleri yarıiletkenin kristal yapısına, kompozisyonuna ve katkı atomlarının bulunmasına bağlıdır. Çok az miktardaki ($\%10^{-3}-10^{-8}$) katkı atomları yarıiletkenin iletkenliğini keskin (10^8 kata kadar) değiştirebilir. Böylece, yarıiletkenin özdirenci oda sıcaklığında $\rho = 10^{-4}-10^{10} \Omega\text{-cm}$ (veya iletkenliği $\sigma = 10^{-4}-10^{10} \Omega^{-1}\text{-cm}^{-1}$) aralığında olabilir. Özdirencin katkılama ile veya dış etkilerle (ısı, ışınlanma, elektrik ve manyetik alanlar, basınç, γ -ışınları, hızlı parçacıklarla bombardıman vb.) kuvvetli bağımlılığı yarıiletkenin esas niteliğidir.

Kuantum teorisine göre izole edilmiş atomda elektronların enerjisi kesikli olarak değişebilir. Pauli ilkesine göre atomun her enerji düzeyine en çok iki ters yönlendirilmiş spinlere sahip elektronlar yerleşebilir. Yarıiletken malzeme oluştuğunda yani atomlar birbirine çok yaklaştığında (yaklaşık 10^{-8} cm), komşu atomların kuvvetli elektrik alanı etkisiyle valans elektronlarının enerji düzeyi banda ayrılır. Valans elektronlarından oluşan enerji bandına valans bandı denir (Şekil 1.a). Atomlardaki valans elektronlarının uyarılma düzeylerinden oluşan bant serbest veya iletim bandı olarak adlandırılır. İletim ve valans bantları arasında yasak bant bulunmaktadır. Temiz (özden) yarıiletkenin enerji bant diyagramı Şekil 1.b'de gösterilmektedir. Burada E_c iletim bandındaki en küçük enerjisidir. Bu enerji yüzeyine iletim bandının dibi denir. E_v valans bandındaki elektronların en büyük enerjisidir ve bu enerji düzeyi valans bandının tavanı olarak adlandırılır. İletim bandının dip ve valans bandının tavan aralarının farkı $E_g = E_c - E_v$ yarıiletkenin yasak enerji bant genişliğini karakterize eder. Kusursuz ve katkısız yarıiletkenlerde elektronların enerjisi yasak bant enerjileri içinde olamaz. Yasak bant genişliği yarıiletkenlerin kimyasal bağ türü ve atomların türü ile belirlenir. Farklı yarıiletkenlerin yasak bant genişliği 0,1 eV'dan 5 eV'a kadar değişebilir.



Şekil 1. a) Temiz (özden) yarıiletkenin enerji bandlarının ve b) enerji band diyagramının şematik gösterimi

Yarıiletkenlerin yasak bant genişliği sıcaklık arttıkça değişir. Bu olayın nedenleri kristaldeki atomların ısısal titreşim genliğinin ve atomlar arası uzaklığın sıcaklıkla değişmesine bağlıdır. Yarıiletkenlerin çoğunda sıcaklık arttıkça yasak bant genişliği küçülmektedir.

Isı enerjisinin etkisiyle kristaldeki atomlar arası bağlar kopabilir ve bu bağın elektronu serbest kalabilir. Atomlar arası bağdan kopan elektronun yerinde boşluk meydana gelir ve bu boşluğa delik denir. Bu olay elektron–delik çiftlerinin oluşması (veya jenerasyonu) olarak tanımlanır. Bu olayın sonucunda iletim bandında serbest elektron ve valans bandında serbest delik meydana gelir. Aynı zamanda yarıiletkende bu olayın tersini de gözlemlemek mümkündür. Bu olaya da elektron–delik çiftlerinin birleşmesi (veya rekombinasyonu) denir. Şekil 1.b’de bu iki olay, elektron–delik çiftlerinin oluşması ve birleşmesi, şematik olarak 1 ve 2 geçişleriyle gösterilmektedir. Termodinamik denge durumunda yük taşıyıcılarının (elektronların ve deliklerin) oluşma ve birleşme olayları karşılıklı denkleştirilmiştir. Bu durumda yarıiletkende dengede elektronlar (n_o konsantrasyonlu) ve delikler (p_o konsantrasyonlu) gözlemlenmektedir. Isısal olmayan etkiyle de (ışık, elektrik alanı, basınç, hızlı iyonlar, protonlar ve elektronlarla bombardıman vb.) yarıiletkende yeni yük taşıyıcılar meydana getirilebilir. Bu durumda elektronların (n) ve deliklerin (p) dengede olmayan konsantrasyonu, denge konsantrasyonlarından (n_o ve p_o) daha fazladır. Yani $\Delta n = n - n_o$ ve $\Delta p = p - p_o$ dir.

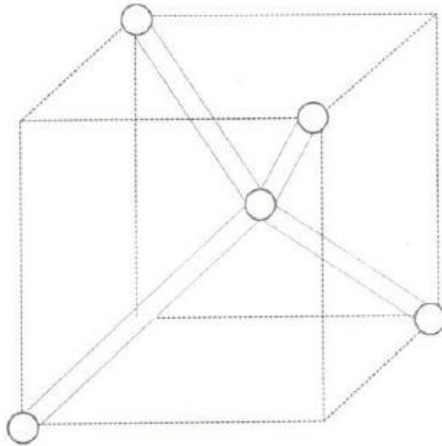
1.2.1. Yarıiletken Türleri

Yarıiletkenler katkı durumlarına göre iki başlık altında incelenmektedir: i) Özden yarıiletkenler ve ii) katkılı yarıiletkenler. Özden yarıiletkenlerde, iletkenlik bandındaki

elektronların konsantrasyonu ile valans bandındaki serbest deliklerin konsantrasyonları eşittir. İçerisinde belirli oranlarda katkı içeren yarıiletkenlere de katkılı yarıiletkenler denir.

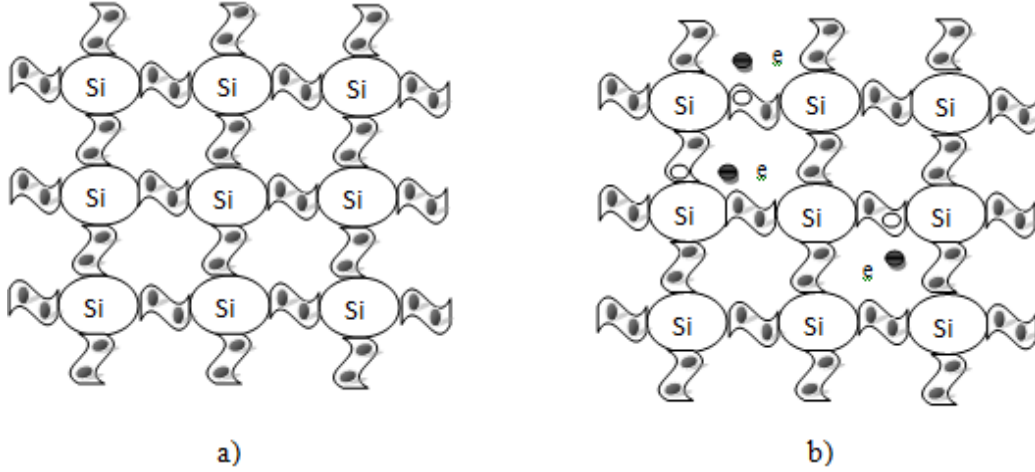
1.2.1.1. Özden Yarıiletkenler

Temiz (yani katkısız ve kusursuz) silisyum yarıiletken örneğinde özden yük taşıyıcılarının üretimini göz önüne alalım. Silisyum atomu periyodik cetvelin dördüncü grubunda bulunmaktadır ve atom kabuklarında elektron dağılımı şöyledir: $_{14}\text{Si}$ ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$). Silisyum atomunun dış (veya valans) kabuğunda dört elektron ($3s^2 3p^2$) yerleşmektedir. Silisyum kristali oluştuğunda, her silisyum atomunun dört valans elektronları ($3s^2 3p^2$) durumundan (sp^3) durumunda geçmektedirler. Silisyum örgüsünde her atom tetrahedron merkezinde yerleşmektedir ve etrafında dört komşu bulunmaktadır. Yarıiletken silisyum yapısı elmas (karbon) kristalin yapısına benzemektedir. Elmas yapıya benzer tipteki kristal örgüsü kübik yapıya sahiptir ve bu yapıda her silisyum atomunun dört valans elektronu komşu atomlarla kovalent bağla birleşirler (Şekil 2). Silisyumun her kovalent bağında iki elektron bulunmaktadır (Şekil 2’de kovalent bağlar çift çizgilerle işaretlenmektedir).



Şekil 2. Elmas tipli kristal örgü

Silisyum örgüsündeki kovalent bağların iki boyutta gösterimi Şekil 3’te verilmektedir. Burada örgü düğümlerinde +4 yüklü silisyum iyonları yerleşmektedir. Her silisyum iyonu dört valans elektronuna sahiptir. Kovalent bağı oluşturan valans elektronları (her bağda iki elektron) Şekil 3’te koyu noktalarla gösterilmektedir.



Şekil 3. Silisyum örgüsünde atomlar arası bağların gösterimi a) $T = 0$, b) $T > 0$

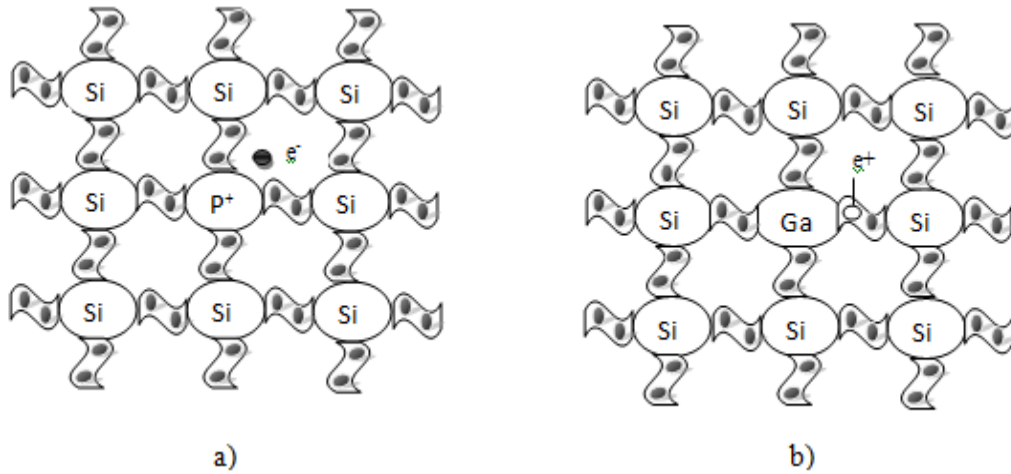
Mutlak sıfırda kovalent bağlarda hiçbir elektron eksikliği söz konusu değildir (Şekil 3.a). Isısal enerjinin etkisiyle bazı kovalent bağlarda kopma meydana gelebilir. Bunun sonucunda kopan elektron serbest kalır ve elektronun boş yerinde delik oluşur (Şekil 3.b). Böylece ısının etkisiyle silisyumda elektron ve delik çifti oluşur. Özden yarıiletkenler, valans bağlarının kopması nedeniyle, eşit sayıda serbest elektronlar ve delikler oluşması ile tanımlanır. Özden yarıiletkenlerde yasak bant enerjisi (E_g) ana atomlar arası bağların kopma enerjisi veya elektron–delik çiftlerinin aktivasyon enerjisini karakterize eder. Dış elektrik alan özden yarıiletkene uygulandığında, elektrik akımı elektron ve delik hareketinden meydana gelir.

Özden yarıiletkende iletkenliğe katkı atomlarının etkisini ihmal edebiliriz. Mutlak sıfırda özden yarıiletkende serbest yük taşıyıcıları bulunmamaktadır yani valans bandı elektronlarla tam olarak doldurulmuştur (delikler yok) ve iletim bandında serbest elektronlar bulunmamaktadır. Sıcaklık arttıkça kırılmış valans bağların sayısı artar ve bu nedenle serbest elektronların ve deliklerin konsantrasyonu artar. Özden yarıiletkenin band diyagramında serbest elektron ve deliklerin ısısal yöntemle oluşturulması, elektronların valans bandından iletim bandına geçişlerle ve deliklerin valans bandında oluşması ile şematik olarak gösterilebilir (Şekil 1. b).

1.2.1.2. Katkılı Yarıiletkenler

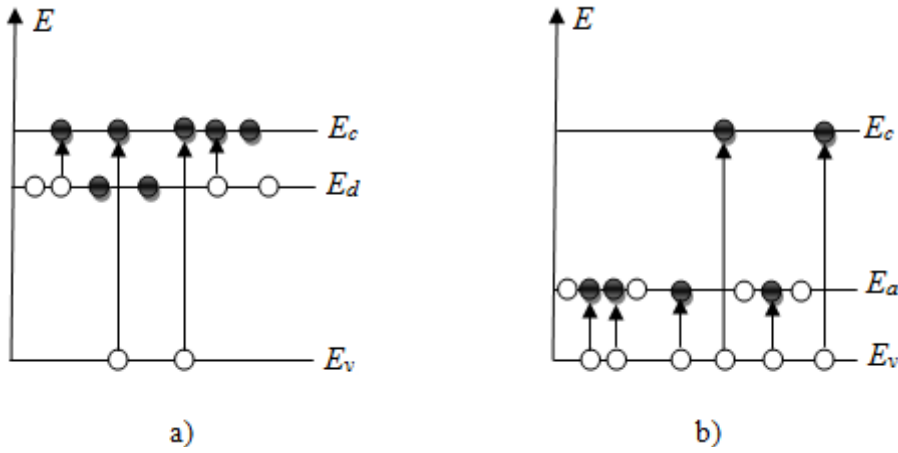
Yarıiletkenlerin çoğunluğunda oda sıcaklığında iletkenlik katkı atomlarının etkisiyle değişir. İletkenliği katkılarla belirlenen yarıiletkenlere katkı yarıiletken denir. Yüksek sıcaklıklarda, katkıyla belirlenen iletkenlik özden iletkenliğe geçebilir.

Silisyum yarıiletkeninde katkılı yarıiletkenliğin meydana gelme mekanizmasını göz önüne alalım. Silisyum örgüsünün bir düğümüne beşinci grup atomu olan fosforun P yerleştiğini kabul edelim. Fosforun elektron dağılımı ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$) şeklindedir ve dış (valans) kabuğunda beş elektron ($3s^2 3p^3$) durumunda yerleşmektedir. Fosfor atomu silisyum örgüsünün bir düğümünü işgal ettiğinde, fosforun dört valans elektronu komşu dört silisyum atomlarıyla kovalent bağlar oluşturmaktadır (Şekil 4.a). Fosforun beşinci elektronunun kovalent bağ kurmaya imkanı yoktur. Çünkü komşu silisyum atomlarının tüm elektronları bağlara yerleşmiştir. Bu nedenle beşinci elektron fosfora zayıf bağlıdır, zira bu elektron komşu pozitif yüklü silisyum iyonlarının etkisi altındadır. Düşük sıcaklıklarda beşinci elektron fosfor atomunun etrafında bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise bu elektron fosforun etkisinden ayrılabilir ve sonra kristalde serbest hareket edebilir.



Şekil 4. Silisyumdaki (a) donör ve (b) akseptör tipli katkı atomunun şematik görünümü

Fosforun iyonlaşma süreci nedeniyle, fosfor atomu pozitif yüklü iyona çevrilir. Yarıiletkende elektron veren katkı atomuna verici veya donör denir. İletkenliği donör katkısıyla karakterize olunan yarıiletkene elektron veya n-tipi yarıiletken denir. n-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlar ve azınlık yük taşıyıcıları deliklerdir.



Şekil 5. a) Donor ve b) akseptör tipli yarıiletkenlerin bant diyagramları

Donor tipli katkı, yarıiletkenin yasak bandının içinde izin verilmiş enerji düzeyinin oluşmasına yol açar (Şekil 5.a). Bu enerji düzeyi iletim bandının dibinden biraz aşağıda yerleşmektedir. Zira donör tipli fosfor atomunun iyonlaşma enerjisi (ΔE_d), yarıiletkenin ana silisyum atomları arası kovalent bağların kopma enerjisinden (E_g) çok küçüktür.

Şimdi periyodik cetvelin üçüncü grubunda bulunan galyum (Ga) atomunun silisyumdaki değişikliklerini göz önüne alalım. Galyum atom kabuklarında enerji dağılımı ${}_{31}\text{Ga} (1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^1 4s^2 4p^1)$ şeklindedir ve valans kabuğunda üç elektron ($4s^2 4p^1$) durumlarında yerleşmektedir. Dört değerlikli silisyum yarıiletkenine üç değerlikli galyum atomu girdiğinde, komşu silisyum atomlarının birinin bandı dolmamaktadır (Şekil 4.b). Galyum atomunun dolmamış bağına komşu silisyum atomundan bir elektron geçebilir. Bunun sonucunda, negatif yüklü galyum iyonu oluşur ve silisyum bağlarıyla hareket eden delik meydana gelir.

Yarıiletkenlerde elektronları alan katkı atomlarına alıcı veya akseptör denir ve iletkenliği akseptör tipi katkıyla belirlenen yarıiletken, delik veya p-tipi yarıiletken olarak tanımlanır. p-tipi yarıiletkende çoğunluk yük taşıyıcıları deliklerdir ve azınlık yük taşıyıcıları elektronlardır.

Akseptör tipli katkı, yarıiletkenin yasak bandın içinde (valans bandının tavanının üstünde) enerji düzeyi (E_a) oluşturur (Şekil 5.b) küçük oklarla gösterilmektedir. İyonlaşma sonucunda valans bandında serbest delikler oluşur.(Cafer., 2000).

1.2.2. Yarıiletkenlerin Bant Yapısı

Katıların bant teorisi, yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlik özelliklerini büyük bir başarı ile açıklar. Bant teorisine göre katılar sınıflandırılırken; işgal edilmiş en yüksek enerji bandının değerlik bandı olması, bu bandın $T = 0$ K sıcaklığında tamamen dolu olması ve bu bandın üstündeki yasak enerji aralığının dar olması halinde, katının yarıiletken özelliği göstereceği ifade edilmiştir.

Yarıiletken katılarda, yukarıda ifade edildiği gibi, dolu banda değerlik bandı ve onun üstündeki banda iletim bandı denir.

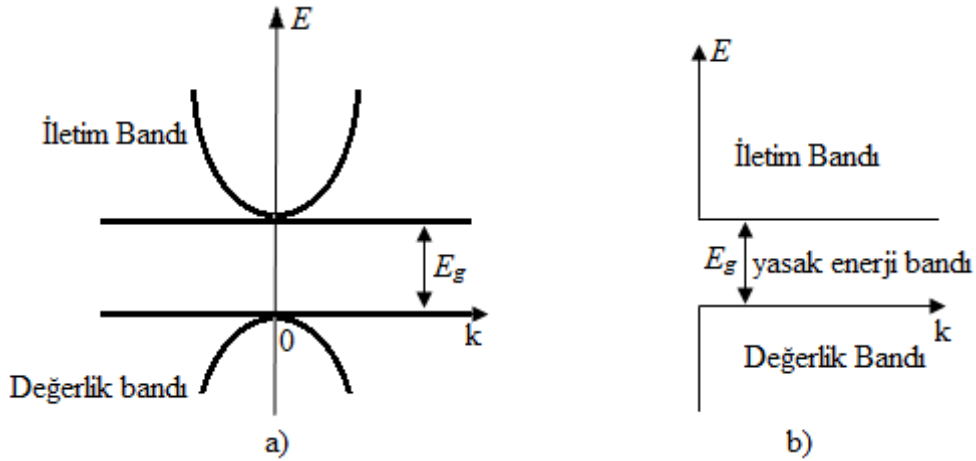
Metallerde değerlik bandı ve iletim bandı aynı olduğu halde, yarıiletkenlerde bu iki bant yasak enerji aralığı ile birbirinden ayrılır.

Değerlik bandındaki bir elektrona, onu iletim bandına çıkarmaya yetecek kadar enerji verilmezse, elektriksel iletkenlik sağlanamaz, yani, katı yalıtkan olarak davranır. Bu yüzden, gerekli uyarma enerjisi, yasak enerji aralığının bir ölçüsüdür. Bu enerji termal, optik ve mekanik yoldan sağlanabilir. Yarıiletkenlerde E_g yasak enerji aralığı genel olarak 2 eV'dan küçük olduğundan, oda sıcaklığında uyarılan elektronların sayısı yeterli düzeye çıkmakta ve cisim yarıiletken olmaktadır.

Yasak enerji aralığını aşacak şekilde uyarılan elektronlar, değerlik bandının (DB'nin) tepesi civarında boşluklar bırakarak iletim bandının (İB'nin) tabanına geçerler ve burada Bloch elektronu olarak davranırlar. Boşluk ve elektron; dışarıdan uygulanacak bir elektrik alandan etkileneceği için, bunlar Bloch elektronlarının ve boşlukların sayıları hızla artar ve bu, yarıiletkenlerin önemli özelliklerinden biri olan elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla artması özelliğini açıklar.

Yarıiletkenlerin elektrik iletkenlikleri, metallerinki ile karşılaştırıldığında küçük olmakla beraber, pratik amaçlara yetecek kadar da büyüktür.

Yarıiletkenlerle uğraşırken sadece değerlik bandı (DB) ve iletim bandı (İB) ile ilgilenilir. Çünkü sadece bu iki band akıma katkıda bulunur. Değerlik bandından daha düşük enerjili olan bandlar tamamen doludurlar ve iletim bandından daha yüksek enerjili bandlar ise tamamen boştur. Bu yüzden elektriksel ilettime katkıda bulunmazlar.



Şekil 6. a) Bir yarıiletkenin band yapısı b) a)'daki bandın şematik gösterimi

Band uçları, birinci Brillouin bölgesinin merkezinde olan bir yarıiletkenin en basit yapısı yukarıdaki şekilde gösterilmektedir. İletim elektrolarının çoğu, iletim bandının tabanı civarında bulunacağından, bu bandı bu bölgede küresel yapıda almak mümkündür. Bu yapıldığında Şekil 6'daki iletim bandının enerjisi

$$E_i(\vec{k}) = E_g + \frac{\hbar^2 k^2}{(2m_e)} \quad (1.2.2.1)$$

ile ifade edilebilir. Burada m_e elektronun etkin kütesidir ve enerjinin sıfırı değerlik bandının tepesinde seçilmiştir. Değerlik bandının enerjisi ise

$$E_d(\vec{k}) = -\frac{\hbar^2 k^2}{(2m_h)} \quad (1.2.2.2)$$

'dir. Burada m_h , boşluğun etkin kütesidir. Değerlik bandının şekli ters dönmüş parabol olması nedeniyle, bu bandın tepesindeki bir elektronun etkin kütesi eksi işaretli, yani, $m_e = -m_h$ 'dir. Fakat boşluğun etkin kütesi artı işaretlidir.

Yarıiletkenlerin E_g yasak enerji aralığı sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir fakat bu değişme büyük değildir. Değişmenin sebebi ise, ısınma sonucu kristalin örgü sabitinin değişmesidir. E_g , uygulanan basınçla da değişir. Bu yüzden, özelliklerinin bazıları yüksek basınç altında incelenir. (Dikici., 2012).

1.2.3. Yarıiletkenlerde Elektriksel İletkenlik

Taşıyıcıların elektrik ve manyetik alanlardaki hareketini açıklamak için; elektronlar için

$$m_e \left(\frac{d\vec{v}_e}{dt} + \frac{\vec{v}_e}{\tau_e} \right) = -e\vec{E} - e\vec{v}_e \times \vec{B} \quad (1.2.3.1)$$

ifadesi ve delikler için

$$m_h \left(\frac{d\vec{v}_h}{dt} + \frac{\vec{v}_h}{\tau_h} \right) = +e\vec{E} + e\vec{v}_h \times \vec{B} \quad (1.2.3.2)$$

ifadesi kullanılmaktadır.

Sadece bir doğru akım elektrik alanı bulunduğunda denklem (1.2.3.1) ve (1.2.3.2)'in çözümleri,

$$\vec{v}_e = -\frac{e\tau_e}{m_e} \vec{E} = -\mu_e \vec{E} \quad (1.2.3.3)$$

$$\vec{v}_h = \frac{e\tau_h}{m_h} \vec{E} = \mu_h \vec{E} \quad (1.2.3.4)$$

olur. Burada \vec{v}_e ve \vec{v}_h elektron ve deliklerin sürüklenme hızlarıdır. Burada elektron ve deliklerin hareketlilikleri,

$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e}, \mu_h = \frac{e\tau_h}{m_h} \quad (1.2.3.5)$$

ifadeleri ile verilmektedir. Elektron ve delik katkılarının toplanmasıyla elde edilen elektrik akım yoğunluğu,

$$\vec{j} = -ne\vec{v}_e + pe\vec{v}_h = \left(\frac{ne^2\tau_e}{m_e} + \frac{pe^2\tau_h}{m_h} \right) \vec{E} \quad (1.2.3.6)$$

$$\vec{j} = (ne\mu_e + pe\mu_h) \vec{E} = \sigma \vec{E} \quad (1.2.3.7)$$

'dir. Bu bağıntı, σ elektriksel iletkenliği

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \quad (1.2.3.8)$$

ile verilen Ohm yasasıdır. Elektron ve delik hareketlilikleri çoğunlukla karşılaştırılabilir olduklarından, bağıl taşıyıcı yoğunlukları, elektronların ve deliklerin iletkenliğe yaptıkları bağıl katkıları belirlerler. Özden yarıiletken olan sıcaklık bölgesinde, bu iki katkı, çoğunlukla birbirine yakın olup, katkılı yarıiletken olan sıcaklık bölgesinde ise normal olarak çoğunluk taşıyıcıları hakimdir.

1.2.4. Hall Olayı

Taşıyıcıların elektrik ve manyetik alanlardaki hareketini açıklamak için denklem (1.2.3.1) ve (1.2.3.2) kullanılmaktadır.

Bir metal \vec{B} manyetik alanı içine yerleştirildiğinde ve içinden \vec{j} akım yoğunluğu geçirildiğinde aşağıdaki bağıntı ile verilen enine bir \vec{E}_H elektrik alanı meydana gelir;

$$\vec{E}_H = R_H \vec{B} \times \vec{j} \quad (1.2.4.1)$$

Bu Hall olayıdır ve R_H Hall sabiti olarak bilinir. Deneyin geometrisi Şekil 7’de gösterilmiştir. Olayın başlangıcı manyetik alan içinde iletim elektronlarına etkileyen $-e\vec{v} \times \vec{B}$ Lorentz kuvvetidir. Şekil 7, x yönünde \vec{j} akımına karşılık gelen elektronların \vec{v} sürüklenme hızının yönünü göstermektedir. Lorentz kuvveti elektronları aşağıya doğru saptırma eğilimi gösterir ve bu da metalin alt yüzünde negatif yük yoğunluğunun hızlı birikimine sebep olur. Sonuçta -y yönünde meydana gelen \vec{E}_H elektrik alanı, uçlarında elektriksel bağlantıları olan uzun bir çubukta olduğu gibi, akımın x yönünde akmasının devamına neden olur.

Böylece, $v_y = 0$ olan kararlı durumda, bu geometride (1.2.3.1) hareket denkleminin x ve y bileşenleri,

$$m_e v_x / \tau = -e E_x$$

$$0 = -e(E_y - v_x B) \quad (1.2.4.2)$$

biçimindedir. Bu denklemlerin ilki, σ elektriksel iletkenliğinin manyetik alanın varlığından etkilenmediğini gösterir. İkinci denklemden

$$E_y = v_x B = j_x B / (-ne) \quad (1.2.4.3)$$

elde edilir. Bu denklem, denklem (1.2.4.1) ile karşılaştırılırsa,

$$R_H = -1/ne \quad (1.2.4.4)$$

sonucuna ulaşılır.

İki tip taşıyıcı bulunduran bir yarıiletken, hesaplama daha karmaşıktır. Bununla birlikte, taşıyıcının bir tipinin yoğunluğu çoğunlukla ötekenden çok daha büyüktür ve böylece n-tipi yarıiletken ($n \gg p$)

$$R_H = -\frac{1}{ne} \quad (1.2.4.5)$$

ve p-tipi yarıiletkende ($p \gg n$)

$$R_H = +\frac{1}{pe} \quad (1.2.4.6)$$

ifadeleri kullanılabilir. Hall olayının işareti çoğunluk yük taşıyıcısının işareti ile belirlenir ve R_H 'ın ölçülmesi taşıyıcı konsantrasyonunun belirlenmesini mümkün kılar. Denklem (1.2.3.8), (1.2.4.4) ve (1.2.4.5) denklemleriyle birleştirilirse ve iletkenlikte çoğunluk taşıyıcılarının baskın olduğu varsayılırsa taşıyıcı hareketliliği için,

$$\mu = |R_H| \sigma \quad (1.2.4.7)$$

ifadesine ulaşılır.

Kristalde hem elektronların ve hem de deliklerin önemli oranlarda var olduğu durumda Hall katsayısının hesaplanması daha karmaşıktır. Denklem (1.2.3.7) ve (1.2.3.8)'in kararlı durum çözümleri,

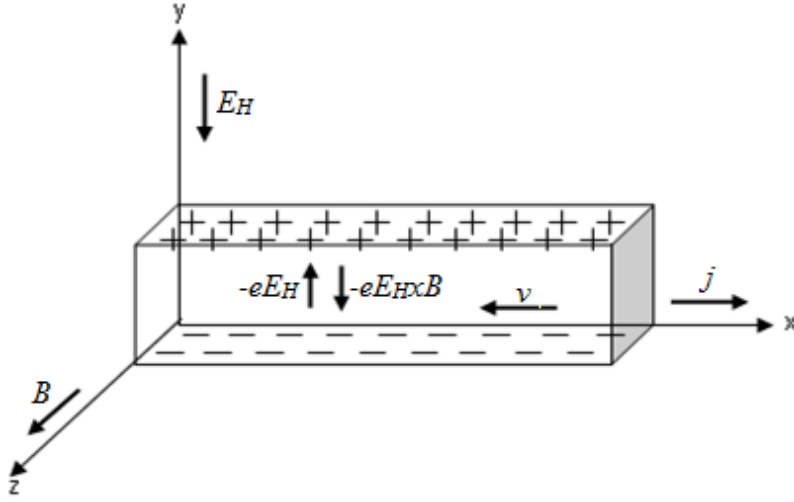
$$\vec{v}_e = -\frac{e\tau_e}{m_e} (\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B}) = -\mu_e (\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B}) \quad (1.2.4.8)$$

$$\vec{v}_h = \frac{e\tau_h}{m_h} (\vec{E} + \vec{v}_h \times \vec{B}) = \mu_h (\vec{E} + \vec{v}_h \times \vec{B}) \quad (1.2.4.9)$$

dir. Bu durumda \vec{j} akım yoğunluğu,

$$\vec{j} = -ne\vec{v}_e + pe\vec{v}_h = ne\mu_e (\vec{E} + \vec{v}_e \times \vec{B}) + pe\mu_h (\vec{E} + \vec{v}_h \times \vec{B}) \quad (1.2.4.10)$$

olur. Şekil 7'deki deneysel geometri ele alınırsa, bu geometri için sınır koşulları, $j_y = 0$ olmasını gerektirir.



Şekil 7. Hall olayının geometrisi

Taşıyıcı hızlarının y bileşenlerinin B 'ye göre lineer olduğu ve B 'ye göre sadece birinci mertebeye kadar terimlerin tutulduğu dikkate alınır,

$$j_x = eE_x(n\mu_e + p\mu_h)$$

$$j_y = 0 = eE_y(n\mu_e + p\mu_h) - eB_z(n\mu_e v_{ex} + p\mu_h v_{hx}) \quad (1.2.4.11)$$

denklem (1.2.4.10) ve (1.2.4.11) kullanılırsa

$$j_y = eE_y(n\mu_e + p\mu_h) + eB_z E_x (n\mu_e^2 - p\mu_h^2) \quad (1.2.4.12)$$

ifadeleri elde edilir. Bu iki denklem arasında E_x yok edilirse

$$E_y = -\frac{j_x B_z (n\mu_e^2 - p\mu_h^2)}{e(n\mu_e + p\mu_h)^2} \quad (1.2.4.13)$$

ifadesi elde edilir. Hall katsayısının tanımından (denklem (1.2.4.1))

$$R_H = \frac{(p\mu_h^2 - n\mu_e^2)}{e(p\mu_h + n\mu_e)^2} \quad (1.2.4.14)$$

elde edilir. Böylece azınlık taşıyıcıları, hareketlilikleri yeterince yüksekse, Hall katsayısının işaretini belirleyebilirler.

1.3. II–VI Bileşiklerinin Doğal Yapısı

1.3.1. Giriş

II–VI grubu bileşikleri hala önemli bir araştırma konusudur. III–V grubu bileşikleri yanında, II–VI grubu bileşikleri, IV. Grup element türü yarıiletkenlere alternatif bir

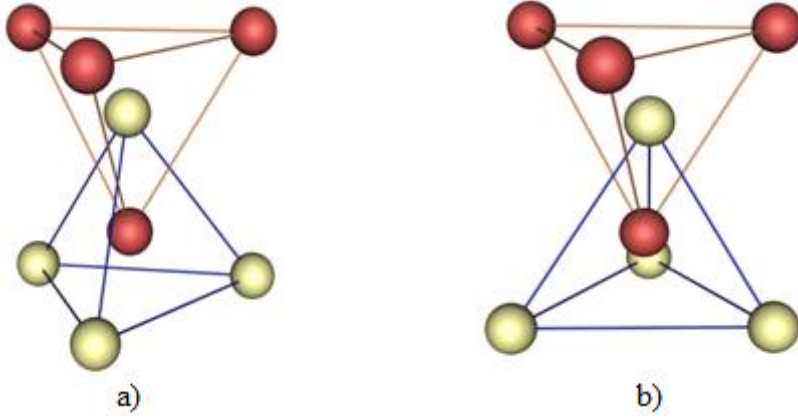
çalışma konusu olarak sunulmuştur. 1950'li yılların başlarında yarıiletken teknolojisindeki büyüme, silisyum ve germanyumun sınırlı kullanım alanlarını ortaya çıkardı. Bu sınırlama, daha çok bu element türü yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının büyüklüğü ve karakteri açısından sahip olduğu dezavantajlardan kaynaklanıyordu. Yasak enerji aralığının genişletilmesi ile ilgili ilk çalışmalar III–V grubu bileşiklerinde yapılmıştır. Bunlar arasında InSb ve GaAs, sırasıyla küçük ve büyük enerji aralığına karşılık gelen, yarıiletken bileşikler olarak gösterilebilirler. III–V grubu bileşiklerindeki bu gelişmelere paralel olarak II–VI grubu bileşiklerinde de sistematik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları, daha çok II–VI bileşiklerinin genel doğası ve oda sıcaklığında geniş bant aralığına sahip malzemelerin kimyasal kararlılığı hakkında bilgiler verdi. Doğrudan enerji aralığının (direct energy gap), II–VI bileşiklerinin genel bir karakteri olduğu anlaşılmaktadır. HgTe'in yarı–metalik, CdS ve CdSe'in yüksek fotoiletkenlik ve ZnS'in ise güçlü bir lüminesans özellik göstermeleri, II–VI grubu bileşiklerinin çeşitli alanlarda yararlı olabileceklerini göstermektedir.

II–VI grubu bileşiklerinin bazıları iki tür kristal yapısından birini tercih ederler. Bu kristal yapıları çinko blende (kübik örgülü) ve wurtzite yapılarıdır. Bu yapıların her ikisi de tetrahedral örgü konumları ile karakterize edilirler.

1.3.2. II–VI Bileşiklerinin Kristal Yapıları

1.4. Örgü Konumları

II. ve VI. grup elementlerin bir araya gelmeleri, ortalama olarak atom başına dört değerlik elektronunun ortaya çıkmasına neden olurlar. Burada atomlar arasında, elektron transferinden ziyade, elektron paylaşılması eğiliminin olduğu, tetrahedral örgü konumlarının oluşumuna yol açılır. AB bileşiğindeki tetrahedral bir örgü konumu, öyle bir konumdur ki, her bir A atomu simetrik olarak dört tane en yakın B atomları tarafından çevrelenmiştir. Bu durumun oluşması için B atomları bir tetrahedron (dört–yüzlü)'un köşelerine, A atomu ise bu dört yüzünün geometrik merkezine konulmalıdır. A ve B konumları, bunların dörtlü bağlanma doğası dikkate alındığında, birbirine eşdeğerdir. Bu dörtlü konumların birleşimi, ilgilendiğimiz bileşiklerle ilişkili olan, olası iki biçim ortaya çıkarır. Şekil 8.a, iç içe giren iki tane dört–yüzlünün taban üçgenlerinin birbirine paralel ve düşey olarak aynı hizada oldukları andaki durumu göstermektedir. Şekil 8.b, taban üçgenlerinin yine paralel fakat dikey çizgiye göre 60° dönmüş hali göstermektedir.



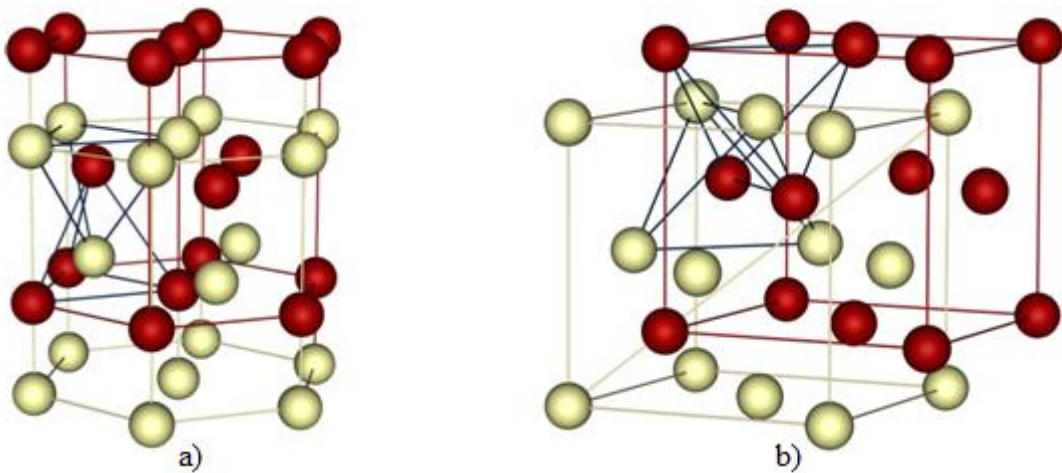
Şekil 8. Tetrahedral örgü konumları

1.4.1.1. Kristal Yapılar

Dörtlü örgü konumlarının bu iki tür birleşimi, wurtzite ve çinko-blende gibi iki tane kristal yapıya yol açar.

a) Wurtzite: Hekzagonal kristal sınıfında olan wurtzite yapısı, Şekil 8.a'da görülen tetrahedron konumlarının birleşimine sahiptir. Bu yapı, Şekil 9.a'da görüldüğü gibi, hekzagonal c eksenini boyunca $(3/8)c$ mesafesi kadar birbirinden kaydırılmış iç içe geçmiş iki tane hekzagonal örgüyü içerir. İdeal tetrahedral konumlara sahip wurtzite yapısında en yakın komşu mesafesi $(3/8)c$ veya $\sqrt{\frac{3}{8}}a$ dır; bu da c/a oranı için $\sqrt{\frac{8}{3}} = 1,632$ değerini verir.

BeO, ZnO, ZnS, CdS, ZnSe, CdSe ve MgTe gibi malzemelerin tümünün wurtzite yapıda kristalleştikleri gözlenmiştir.



Şekil 9. a) Wurtzite yapısı, b) Çinko-blende yapısı

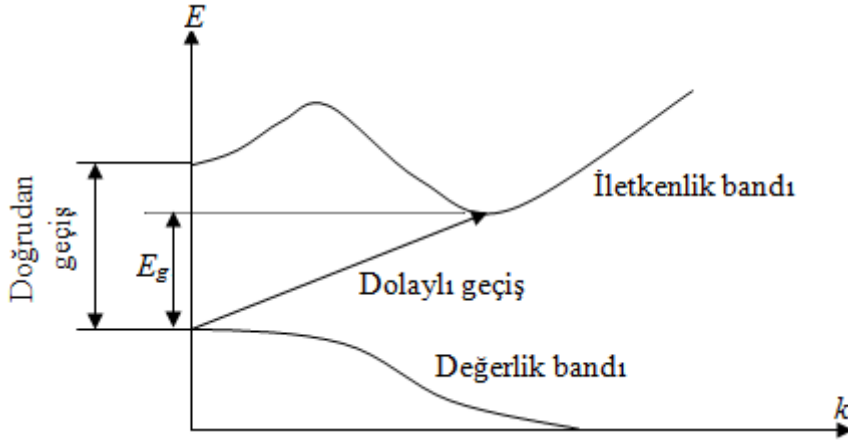
b) Çinko-blende: Kübik kristal sınıfında olan çinko-blende yapısı Şekil 8.b'de görüldüğü gibi, tetrahedron konumlarının birleşimine sahiptir. Bu yapı, elmas yapısından türetilmiş olup, Şekil 9.b'de görüldüğü gibi, hacim köşegeni boyunca, hacim köşegeninin

1/4'ü kadar ötelenerek iç içe geçmiş olan iki tane sıkı-paket kübik örgünün birleşiminden oluşmuştur. Bu durumda en yakın komşu mesafesi $\sqrt{3}a/4$ 'tür. Berilyum, çinko, kadmiyum ve civanın sülfürleri, selenürleri ve tellürlerinin tümü çinko-blende yapısında kristalleşmişlerdir. Bu iki yapı, çinko-blende'nin [111] üç-katlı eksen ve wurtzite yapının [00.1] altı-katlı ekseninden karşılaştırılabilir. Çinko-blende'deki iç içe geçmiş iki dört-yüzlü, [111] eksen etrafında döndürülürse, yapı, wurtzite yapısına dönüşür ve simetri eksen [00.1] eksen olur. Bir bileşiği oluşturan iki cins atomun elektronegativite farklarının karşılaştırılması, atomik elektronegativite farkları büyüdükçe, wurtzite yapının daha uygun olduğunu göstermektedir.

1.4.2. II–VI Bileşiklerinin Optik Özellikleri

Absorpsiyon kenarı bölgesindeki spektrum, araştırılan malzemeler hakkında çok yararlı bilgiler sağlar. II–VI grubu bileşiklerinin incelenmesinde önemli bir özellik eksiton durumlarının varlığı şeklinde ortaya çıkar. Bunlar, absorpsiyon kenarının uzun dalgaboyu tarafında pikler olarak görünür. Eksitonlar, iletkenlik bandına yakın 'hidrojenik' seviyeler cinsinden tanımlanan, bağlı elektron–delik çiftleridir. Bu seviyeler, E_c 'nin altında kesikli parabolik bantların bir serisini oluştururlar. İletkenlik bandının dibi olan bu E_c , II–VI grubu bileşiklerinde $\vec{k} = 0$ 'a yerleşmiştir.

Işınım absorpsiyonu, iletkenlik ve değerlik bantları arasında elektronik geçişlere neden olur ve bu geçişler doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde oluşur. Doğrudan geçiş, elektronların \vec{k} değerinde (momentumunda) bir değişim olmayan uyarma sürecidir. Dolaylı geçişte elektronun kristal içindeki momentumu (değeri) değişir. Doğrudan geçiş, değerlik ve iletim bantlarının ekstrem noktaları (maksimum ve minimum) Brillouin bölgesinde aynı noktaya yerleştiği zaman gerçekleşir. Dolaylı geçiş ise bant ekstrem noktaları \vec{k} uzayında farklı konumlardayken meydana gelir. Şekil 10, her iki tip geçişi göstermektedir. Dolaylı geçiş süreci, kristal momentumunu dengelemek için, fononların oluşmasını veya yok olmasını gerektirir. Deneysel olarak doğrudan ve dolaylı süreçler arasındaki farkı, absorpsiyon sabitinin aldığı değerlere göre belirlemek mümkündür. Doğrudan geçişlerde absorpsiyon sabiti α , 10^4 – 10^5 cm^{-1} arasında değerler alabilir. Dolaylı geçişte ise absorpsiyon sabiti, 10 – 10^3 cm^{-1} arasında değerler alabilir. Bunun ötesinde doğrudan geçişte α , $E^{1/2}$ şeklinde, dolaylı geçişte ise E^2 şeklinde enerjiye bağlıdır.



Şekil 10. Doğrudan ve dolaylı geçiş

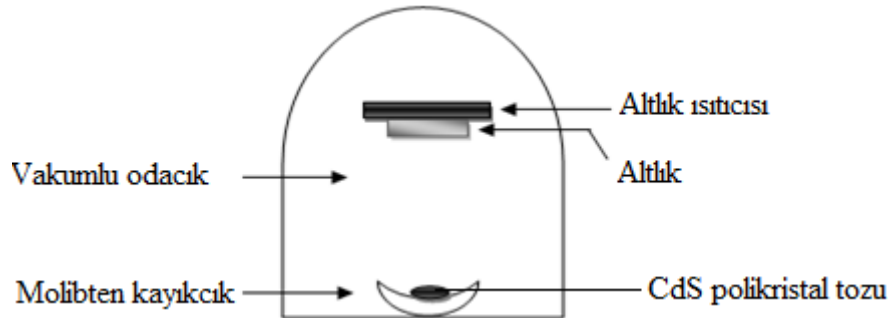
Eksiton durumlarının kenar spektrumunda oluşturduğu değişiklik, düşük sıcaklık çalışmalarında kendini gösterir. Absorpsiyon kenarının uzun dalgaboyu sınırında gözlenen bu pikler, eksiton durumunun bağlanma enerjisinin bir göstergesidir. Çinko–blende yapısı için küresel enerji yüzeylerinin varlığı kabul edilmiştir ve eksiton bağlanma enerjisi E_{be} , iletim bandının altındaki farklı eksiton durumlarının derinliklerine $E_n = -E_{be}/n^2$ ile bağlıdır; burada n , taban ve değişik uyarılmış durumlar için 1, 2, 3, ... değerlerini alır. Eksiton enerjisinin kristal momentumuna bağlılığı paraboliktir ve eksitonun momentumu, elektron ve deliklerin etkin kütlelerinin toplamından faydalanarak belirlenir. Eksiton durumlarına olan geçişler için soğurma katsayısının enerjiye bağlılığı, bant–bant geçişlerindeki bağlılığa benzerdir.

Serbest taşıyıcılar, kenar spektrumunun biçimi üzerinde ilave bir etkiye sahiptir. İletkenlik ve değerlik bantlarındaki serbest taşıyıcıların konsantrasyonu önemli bir değerde ise soğurmanın genel düzeyi artar. Bu da genel olarak 10 cm^{-1} değerinde bir soğurma katsayısı üzerine dayanan “kenar yerleşimi” hakkında bazı güçlükler ortaya çıkarır. Dejenere malzemelerde, iletim bandının en düşük enerji durumları doludur ve böylece elektronları uyarmak için gerekli olan enerji artmış olur yani soğurma kenarı daha kısa dalgaboylarına doğru kayar. Saf olmayan HgSe ve HgTe’in ikisinde de bu olay gözlenir ve bunların etkin elektron kütleleri küçük olduğu için bunlara ait iletim bandındaki etkin durum yoğunluğu küçüktür. Bunun sonucu olarak bu iki bileşik hakkında elde edilen daha önceki çalışmalar, bunların bant aralığı enerjileri hakkında yanıltıcı değerlerin verilmesine yol açtı.

1.5. Yarıiletken İnce Film Elde Etme Teknikleri

1.5.1. Fiziksel Buharda Çökeltme Yöntemi

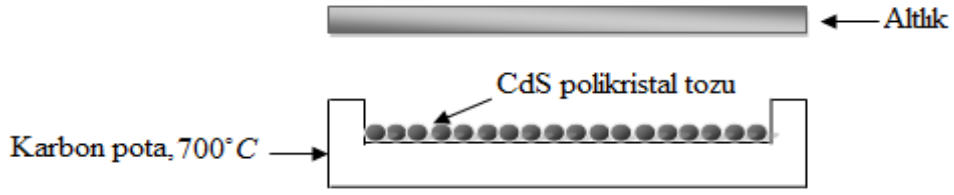
İnce filmlerin vakumda altlık yüzeyine kaplanması üç süreçten oluşur: 1) Kaplanan malzeme atomlarının üretimi ve altlığa doğru akışın yönlendirilmesi, 2) atomların vakum ortamında altlığa kadar geçişi, 3) atomların altlık yüzeyine çökmesi ve ince film tabakasını oluşması. Şekil 11, vakumda buharlaştırma yöntemini şematik olarak göstermektedir. Buharlaştırılacak olan malzeme ısıtılarak atom ve moleküllerden oluşmuş gaz haline getirilir. Gaz halindeki malzeme altlık yüzeyine çökerek ince film halinde kaplanır. Bu yöntemle optik olarak düzgün filmler kolayca elde edilmesine rağmen stokiometrik filmler elde etmek zordur (Bouchenaki vd, 1991). Vakum ortamında hazırlanan filmlerin büyüme hızı, vakum şartlarına sıkı bağlıdır. Orta ve düşük vakumda, kaynaktan kopan atom ve moleküller, ortamdaki hava molekülleri ile sık sık çarpışırlar. Bunun sonucu olarak film büyüme hızı azalır. Bundan başka, fanusun içinde kalan hava molekülleri, büyütülen film ile kimyasal tepkimeye girebilir ve neticede filmin özelliklerinde istenmeyen değişimler meydana gelebilir.



Şekil 11. Vakumda buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

1.5.2. Kapalı Hacimde Çökeltme (Close-Space Sublimation) Yöntemi

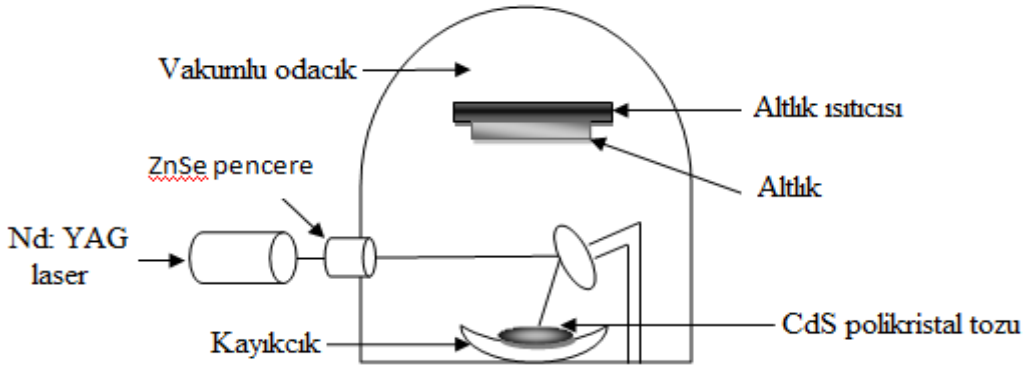
Bu yöntemde Şekil 12’de gösterildiği gibi, altlıklar kaynaktan yaklaşık 0,5–2 cm uzaklığa yerleştirilir ve yüksek sıcaklıklarda (kaynak sıcaklığından düşük sıcaklıklarda) tutulurlar. Isıtıcı olarak genellikle tungsten lamba kullanılır. Bu yöntemle CdS ince film örnekleri üretilirken altlığa yapışmanın iyi olması için altlık sıcaklığı 500°C kadar yüksek seçilir (Romeo vd, 2004). Bununla birlikte yüksek altlık sıcaklığı kristal yapının kalitesini de artırır. Bu yöntemde örnekler genellikle Ar, He, Ar/O₂ veya He/O₂ gibi asal gaz ortamlarında üretilir (Ferekides vd, 2000).



Şekil 12. Kapalı hacimde buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

1.5.3. Lazerle Buharlaştırma Yöntemi

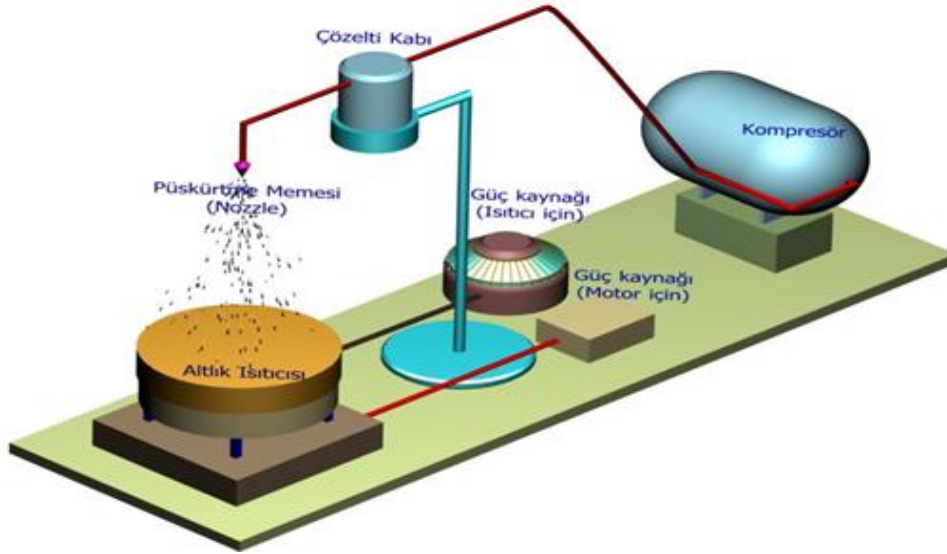
Lazerle buharlaştırma yöntemi optik olarak düzgün ve yüksek yönelime sahip CdS ince filmler üretmek için çok kullanışlı bir tekniktir (Kwok vd, 1988). Lazerle buharlaştırma yönteminde film özellikleri, lazer dalgaboyu, darbe süresi, enerji yoğunluğu ve sistem geometrisi gibi bazı üretim parametrelerine bağlıdır (Ullrich vd, 1998). Örneğin CdS ince filmlerin geçirgenlik ve öz dirençleri lazer demetinin enerji yoğunluğu ve darbe süresi ile değiştirilebilir (Ezumi ve Keitoku, 1993). Bu yöntemde kullanılan altlıkların film stokiometrisine etkisi vardır. Lazerle buharlaştırma yönteminde, lazer ışın demeti, vakum odacığına bir ZnSe pencereden girilerek buharlaştırılacak malzemenin üzerine odaklanır (Şekil 13).



Şekil 13. Lazerle buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

1.5.4. Kimyasal Püskürtme Yöntemi

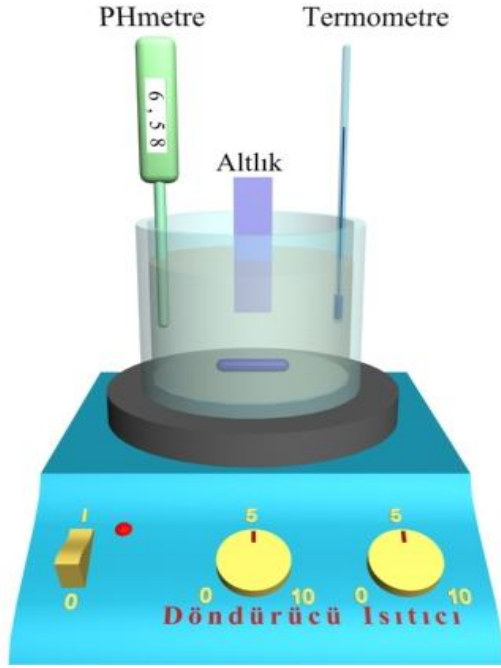
Kimyasal püskürtme yönteminde (Şekil 14), elde edilecek malzemenin elementlerini içeren çözelti ısıtılmış altlıklar üzerine basınçlı azot veya hava gazı yardımıyla belirli bir süre püskürtülür. Kimyasal püskürtme yöntemi ince film elde etme yöntemleri arasında en kolay ve ucuz olan yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen filmlerin fiziksel özellikleri değişik parametrelere bağlıdır. Bunlar; altlık sıcaklığı, püskürtme hızı, altlık ile püskürtme başlığı (nozzle) arasındaki mesafe, çözeltinin bileşim oranları, püskürtme zamanı ve püskürtülen çözelti miktarıdır (Feigelson vd, 1977).



Şekil 14. Kimyasal püskürtme yönteminin şematik gösterimi

1.5.5. Kimyasal Banyo Yöntemi

Kimyasal banyo yönteminde (chemical bath deposition, CBD), Şekil 15'te gösterildiği gibi elde edilecek malzemenin elementlerini içeren çözelti bir kap içine konularak manyetik karıştırıcılı ısıtıcı üzerine yerleştirilir. İnce film üretimine başlamadan önce çözelti belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve o sıcaklıkta sabit tutulur. Daha sonra ince film kaplanacak olan altlık çözelti içersine daldırılır ve film kaplanması için belli bir süre beklenir. Bekleme süresi değiştirilerek film kalınlığı ayarlanabilir. Bu yöntemde çözeltinin pH'ı ve sıcaklığı, üretilen ince filmin özelliklerini etkilemektedir (Jinesh vd, 2003). CBD yöntemi kimyasal püskürtme yöntemi gibi ince film üretimi için kolay ve ucuz yöntemlerden biridir. Fotovoltaik uygulamalar için CBD yöntemiyle CdS üretmenin avantajlarından biri çok ince tabakaların (<50 nm) uygun şekilde altlık yüzeyi üzerinde oluşturulmasıdır (Herrero vd, 2000). Bu yöntem ile CdS üretilirken çözeltinin PH değeri ve sıcaklığı sırası ile 10 °C ve 70 °C olarak ayarlanabilir (Quevedo–Lopez vd, 1999).



Şekil 15. Kimyasal banyo yönteminin şematik gösterimi

1.6. Literatür Çalışması

1.6.1. Co Katkısının Yarıiletken İnce Film Örneklerle Etkisi

Son yıllarda yarıiletkenlerdeki ferromanyetik özellikleri iyileştirmek için çok geniş araştırmalar yapılmaktadır. Bu tür seyreltik manyetik yarıiletken örneklerinin geniş bir uygulama alanının olabimesi için oda sıcaklığında ferromanyetik davranış göstermesi istenmektedir. Bu manyetik özellikler manyetik iyon katkı miktarına, örnek hazırlama yöntemine ve şartlarına bağlıdır.

Chandramohan ve arkadaşları iyon ekme yöntemiyle CdS ince film örneklerine %0,34–10,8 aralığında Co katkısı yaptılar. Co katkısıyla x-ışını kırınım desenlerinde CdS'in dışında herhangi bir faz gözlemediler. Bununla birlikte Co katkısıyla yasak enerji aralığının 2,39 eV'tan 2,26 eV'a azaldığını tespit ettiler. Ayrıca Co atomlarının CdS yapısında örgü noktalarına yerleştiğini belirlediler (Chandramohan vd, 2009).

Etemadfard ve arkadaşları $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerini $x = 0, 0,025$ ve $0,05$ katkı oranları için termal buharlaştırma yöntemi ile cam altlıklar üzerinde hazırladılar. Örneklerin (002) tercihli yönelimi ile hegzagonal yapıya sahip olduğunu belirlediler. Co katkısıyla tane boyutunun yasak enerji aralığının ve örgü parametrelerinin azaldığını tespit ettiler (Etemadfard vd, 2011).

Kamruzzaman ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kimyasal püskürtme yöntemiyle (523 K) elde edilen $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerin elemental, yapısal ve optik

özelliklerini incelediler. Elde ettikleri $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerinde Co katkı miktarının artışı ile birlikte filmlerin yüzey pürüzlülüğü ve homojensizlik artarken kobalt katkısı ile iletkenlik ve aktivasyon enerjisinde azalma olduğunu belirlediler. Azalmanın nedeni ise artan Co katkı miktarı ile yüzey pürüzlülüğü, tane boyutu veya katkı atomlarının rasgele yöneliminin artması olarak yorumladılar (Kamruzzaman vd, 2011).

Mane ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sulu alkalın kimyasal banyo yöntemiyle $Cd_{1-x}Co_xS$ ($0 \leq x \leq 1$) ince filmler hazırlandı. Mane ve arkadaşları tarafından yapılan incelemeler sonucunda CdS band elektronları ile yerel Co^{+2} 'nin d elektronları arasındaki sp-d tipi değiş-tokuş etkileşmesinden dolayı yasak enerji aralığı Co^{+2} katkısının artması ile 2,40 eV'tan 2,08 eV'a azaldığını belirlediler. Mane ve arkadaşları örnekler için herhangi bir ölçüm yapmadılar (Mane vd, 2012).

Muthusamy ve Muthukumaran tarafından kimyasal banyo yöntemiyle $Cd_{0,6}Co_{0,4}S$ ince film örnekleri farklı kaplama süreleri ile hazırlandı. X-ışını kırınım deseni ölçümleri örneklerin hegzagonal yapıda olduğunu ve Co'nun örgü noktalarına yerleştiğini gösterdi. Ayrıca örneklerin fotoluminesans spektrumlarında mavi, yeşil, turuncu ve kırmızı emisyonla ait pikleri tespit ettiler. (Muthusamy ve Muthukumaran, 2013)

Thambidurai ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kimyasal çökeltme yöntemiyle CdS nanoparçacıklar hazırlandı ve örneklerin elektriksel özellikleri incelendi (Thambidurai vd, 2012). Bu inceleme sonucunda örneklerin hegzagonal yapıda olduğunu tespit ettiler. Ayrıca kobalt katkı miktarının artmasıyla elektrik iletkenliğinin arttığını belirlediler.

Başka bir çalışmada Bacaksız ve arkadaşları Co katkılı CdS ince film örneklerini hem kimyasal püskürtme yöntemiyle hem de difüzyon yöntemiyle hazırladılar. Kimyasal püskürtme yöntemiyle elde edilen örneklerin hegzagonal yapıya sahip olduğunu ve Co katkısı ile tercihli yöneliminin (112) düzleminden (002) düzlemine değiştiğini gözlemladiler. Bununla birlikte kimyasal püskürtme yöntemiyle hazırlanan örneklerin ferromanyetik davranış göstermediğini fakat difüzyon yöntemiyle katkılanan örneğin ferromanyetik davranış gösterdiğini tespit ettiler (Bacaksız vd, 2008).

Hu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada kimyasal banyo yöntemiyle kübik yapıda hazırlanan Co katkılı CdS nanokristallerinin ferromanyetik davranış gösterdiğini belirlediler. Bu davranışın hem Co atomlarından hemde Cd boşluklarından kaynaklanabileceğini tespit ettiler (Hu vd, 2011).

2010 yılında, Sathyamoorthy ve arkadaşları tarafından CdS nano tanecikleri farklı Co katkı oranları için ($x = 0,1, 0,2$ ve $0,3$) sentezlendi. Elde edilen nano taneciklerin hegzagonal yapıda olduğunu ve örgü parametrelerinin (a ve c) parametrelerinin Co katkı miktarı ile azaldığını belirlediler. Sathyamoorthy ve arkadaşları örneklerin oda sıcaklığında ferromanyetik davranış gösterdiğini gözlemlədiler (Sathyamoorthy vd, 2010).

1.6.2. Tavlamanın CdS İnce Filmlere Etkisi

CdS ince film örnekleri üretim yöntemine ve şartlarına bağı olarak amorf, kübik, hegzagonal veya karışık fazda olabilmektedir. Bununla birlikte kimyasal banyo yöntemiyle üretilen CdS ince film örnekleri genellikle amorf veya yarı kararlı kübik fazda bulunmaktadır. CdS ince film örneklerinin kristal yapısı tavlama işlemi ile amorf fazdan veya yarı kararlı kübik fazdan kararlı hegzagonal fazına dönüştürülebilmektedir.

Marioppan ve arkadaşları kimyasal banyo yöntemi ile CdS ince filmlere Cu katkısı yaparak hazırladılar. Yapılan bu çalışmada örnekler $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda 1 saat süre ile hava ortamında tavlandı. Tavlama öncesinde ve sonrasında örneklerin kübik yapıya sahip olduğu belirlendi (Marioppan vd, 2012).

Ariza–Calderon ve arkadaşları kimyasal banyo yöntemiyle hazırladıkları CdS ince film örneklerini. Elde ettikleri ince filmleri argon+S₂ ortamında 20 saat ve sonrasında S₂ akışını keserek sadece argon ortamında 12 saat boyunca 178°C – 423°C sıcaklık bölgesinde tavladılar. Sonuç olarak tavlama sıcaklığı 365°C 'den 375°C sıcaklığına geçtiği zaman yarı kararlı kübik fazda olan ince filmlerin kristal yapısının kararlı hegzagonal faza dönüştüğünü gördüler. Bununla birlikte fotoluminesans ölçümlerinde görülen yeşil emisyonun $2,4\text{ eV}$ 'tan 365°C sıcaklığındaki tavlamaya kadar azalarak $2,25\text{ eV}$ 'a ulaştığı faz dönüşümünün meydana geldiği tavlama sıcaklığından sonra tekrar $2,4\text{ eV}$ 'a doğru arttığını gözlemlədiler (Ariza–Calderon vd, 1996).

Metin ve Eren kimyasal banyo yöntemiyle elde ettikleri CdS ince filmleri 100°C , 200°C , 300°C , 400°C , 500°C ve 600°C 'de azot ortamında tavladılar (Metin ve Eren, 2003). Metin ve Eren elde ettikleri örnkelerin kristal yapısının kübik ve hegzagonal fazın karışımı olduğunu belirlediler. Bununla birlikte tavlama sıcaklığı arttıkça hegzagonal fazın daha baskın hale geldiğini gördüler. Ayrıca yasak enerji aralığının sıcaklık artışı ile $2,40\text{ eV}$ 'tan $1,90\text{ eV}$ 'a kadar azaldığını, kristalit boyutunun (crystallite size) tavlama ile arttığını gözlemlədiler.

Kamurazzaman ve arkadaşları kimyasal püskürtme ile $Cd_{1-x}Co_xS$ ($x = 0, 0,1, 0,2$ ve $0,4$) elde ettiler. Filmlerin krsital yapısının amorf doğada olduğunu gözlemladiler. Örnekler $500^{\circ}C$ tavlandıktan sonra örneklerin kristal yapısının hegzagonal faza dönüştüğünü tespit ettiler (Kamurazzaman vd, 2012).

Ahmad ve arkadaşları kimyasal banyo yöntemiyle elde ettikleri CdS ince filmleri $220^{\circ}C$ ile $490^{\circ}C$ sıcaklık aralığında hava ortamında tavladılar. Tavalanmamış örneklerin kübik fazda olduğunu, tavlama sonrası ise hegzagonal faza ait olan piklerin oluştuğunu gördüler. Ayrıca tavlama sonrası yapıda CdO'e ait olan pikleride tespit ettiler (Ahmad vd, 2013).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada, kobalt katkılı CdS ($Cd_{1-x}Co_xS$; $0 \leq x \leq 0,1$) ince filmleri kimyasal banyo yöntemi kullanılarak cam altlıklar üzerinde hazırlandı. Katkı oranı $x = 0, 0,025, 0,05, 0,075$ ve $0,1$ olarak seçildi. Elde edilen $Cd_{1-x}Co_xS$ filmlerinin karakteristik özelliklerine kobalt katkısının etkisi araştırıldı. Aynı zamanda hazırlanan örneklerden bazıları seçilerek $473 K, 573 K$ ve $673 K$ 'de kaba vakum ortamında (2×10^{-2} torr) 20 dakika tavlandı ve tavlamanın kobalt katkılı CdS ince filmlerin karakteristik özelliklerine etkisi araştırıldı. Altlık olarak 75×25 mm boyutlarında mikroskop lamları kullanıldı. Altlıklar saf su ve alkol ile temizlenerek üzerindeki istenmeyen maddelerden arındırıldı. Elde edilen örneklerin yapısal, elektriksel ve optik ölçümleri yapıldı.

2.2. $Cd_{1-x}Co_xS$ İnce Filmlerin Elde Edilmesi

$Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerini kimyasal banyo yöntemiyle elde etmek için, $Cd(CH_3COO)_2 \times 2H_2O$ (0,005M), NH_4CH_3COO (0,01M), NH_4OH (20ml), $Co(CH_3COO)_2 \times 4H_2O$ (0,005M) ve $(NH_2)_2CS$ (0,01M) tuzları kullanılarak çözeltiler hazırlandı. Kullanılan tuzların gram cinsinden miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Verilen bu değerler 0,15 litrelik çözeltiler içindir. $Cd(CH_3COO)_2 \times 2H_2O$, NH_4CH_3COO , $Co(CH_3COO)_2 \times 4H_2O$ ve $(NH_2)_2CS$ kimyasalları için ayrı beherlerde saf su ile çözeltiler hazırlandı. Hazırlanan çözeltiler 1 saat süreyle karıştırıldı. Numune tutucuya yerleştirilen altlıklar karıştırma işlemi bitinceye kadar saf su içinde bekletildi. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra bütün kimyasallar 150 ml'lik behere konuldu. Sulu amonyak ilave edilmeden hazırlanan çözeltinin pH değeri ölçüldü ve tüm katkı oranları için pH değerinin 7 civarında olduğu belirlendi. pH değerini 11'e çıkartmak için 20 ml sulu amonyak ilave edildi. Bu işlemin ardından ısıtıcı açılarak sıcaklığın kontrollü bir şekilde (dakikada $2^\circ C$) $70^\circ C$ 'ye çıkması sağlandı. Çözeltinin $\sim 55^\circ C$ civarında şeffaflığını kaybederek yavaş yavaş renk değiştirmeye başladığı gözlemlendi. Çözelti sıcaklığı $70^\circ C$ 'ye ulaştıktan sonra sıcaklık artışı durdurularak 15 dakika beklendi. Bu süre sonunda altlıklar çözelti içinden alındı ve saf su ile yıkandı. Sonra 1/5 oranında seyreltilmiş HCl asit yardımıyla altlığın bir yüzü kaplanan ince filminden temizlendi.

Tablo 2. Çözelti için kullanılan kimyasalların gram cinsinden kütleleri

	CdS	Cd _{0,975} Co _{0,025} S	Cd _{0,95} Co _{0,05} S	Cd _{0,925} Co _{0,075} S	Cd _{0,9} Co _{0,1} S
NH ₄ (CH ₃ COO)	0,115623	0,115623	0,115623	0,115623	0,115623
(NH ₂) ₂ CS	0,114174	0,114174	0,114174	0,114174	0,114174
Cd(CH ₃ COO) ₂ ×2H ₂ O	0,199890	0,194893	0,189896	0,184898	0,179901
Co(CH ₃ COO) ₂ ×4H ₂ O	0,000000	0,004670	0,009341	0,014011	0,018681

2.3. Örneklerin Kalınlık Ölçümü

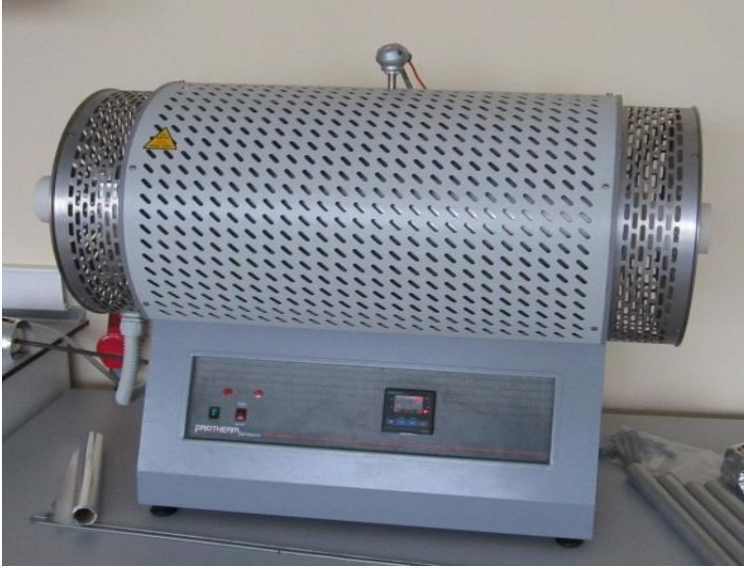
Üretilen $Cd_{1-x}Co_xS$ yarıiletken ince filmlerin kalınlıkları mikro tartma yöntemiyle belirlendi. Film altlığa kaplandıktan sonra altlık kütesinin artması, mikro tartma yönteminin temelini oluşturur. Filmin ortalama kalınlığı,

$$d = \frac{\Delta m}{\rho \times s} \quad (2.3.1)$$

ifadesi ile verilir (Stoessel vd, 1993). Burada Δm , altlık ve altlığın üzerinde biriken film kütesinin toplamı ile temiz altlık kütesinin farkı, s film yüzeyinin alanı, ρ filmin yoğunluğu ve d filmin kalınlığıdır. Mikro tartma yöntemiyle film kalınlığının ölçümünde film yoğunluğunun hacimsel malzemenin yoğunluğuna eşit olduğu kabul edilir. Bu tezde örneklerin yoğunluğu $4,82 \text{ g/cm}^3$ olarak alındı. Bu yöntemin duyarlılığı, terazinin ve film yüzeyin alanına bağlı olup $1-10 \text{ } \mu\text{m}^2$ aralığında sapma gösterebilir.

2.4. $Cd_{1-x}Co_xS$ İnce Filmlerin Tavllanması

Kimyasal banyo yöntemiyle elde edilen ince filmlerden bazıları tavlansın için ayrıldı. Ayrılan bu filmler 473 K, 573 K ve 673 K'de tavlandı. Tavlama işlemi kaba vakum (2×10^{-2} torr) altında silindir tüp fırın yardımıyla yapıldı. Fırın belirlenen sıcaklık değerine dakikada 5°C artış ile çıkarıldı. Daha sonra örnekler 20 dakika hedef sıcaklıkta bekletildi. Bu süre sonunda fırın kapatılarak 30 dakika süre ile sıcaklığın düşmesi için beklenildi. Bu süre sonunda kapaklar açılarak örnekler çıkarıldı. Tavlama işlemi için kullanılan fırın Protherm Marka Fırın Şekil 16'da yer almaktadır.



Şekil 16. Protherm Marka Fırın

2.5. X-Işını Kırınım Analizi

X-ışınları kırınım desenlerinde faydalanılarak bir malzemenin kristal yapısı ve örgü parametreleri hakkında bilgi edinilebilir. Kimyasal banyo yöntemiyle elde edilen ince filmlerin tavlandıktan önce ve sonra x-ışını kırınım analizi yapıldı. Sonra bu işlem için Şekil 17’de gösterilen Rigaku Multiflex marka difraktometresi kullanıldı. Ölçümler esnasında difraktometredeki bakır hedefe 38 kV’luk gerilim ve 28 mA’lik akım uygulanarak elde edilen CuK_α ($\lambda = 1,5408 \text{ \AA}$) x-ışınları kullanıldı. Ölçümler oda sıcaklığında $10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ aralığı boyunca $0,02^\circ$ adımlar ile yapıldı.

Herhangi bir ekstrapolasyon veya iyi bir deneysel teknik olmaksızın, en basit şekilde örgü parametreleri x-ışını kırınım desenlerindeki en yüksek açıdaki pikler yardımıyla bulunabilir. CdS hem kübik hem de hekzagonal yapıda kristalleşebilmektedir. Kübik yapıda kristalleşen numuneler için

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (2.5.1)$$

ifadesi kullanılarak a örgü parametresi bulunabilir. Hekzagonal yapıda kristalleşen numuneler için ise

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (2.5.2)$$

ifadesi kullanılarak a ve c örgü parametreleri bulunabilir. Burada, d düzlemler arası mesafeyi, h, k, l ise Miller indislerini göstermektedir.



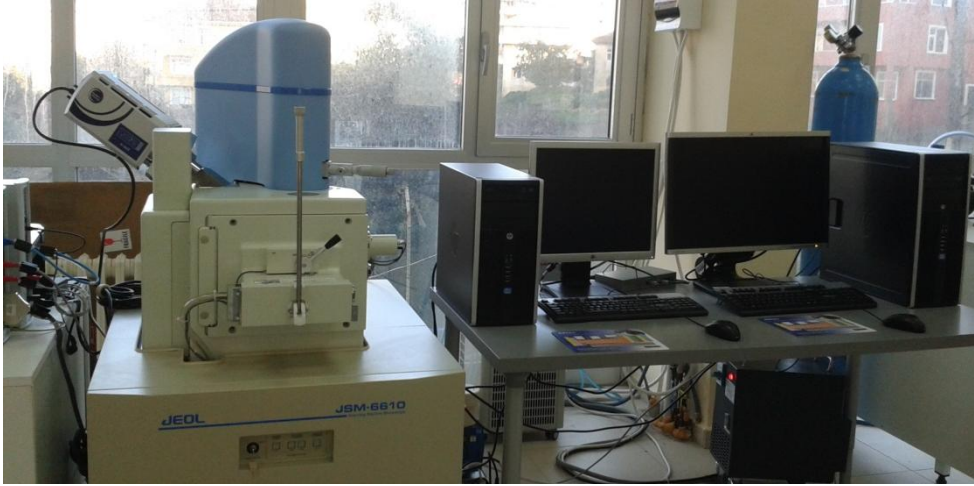
Şekil 17. Rigaku Multiflex model toz kristal difraktometresi

Yapılan çalışmada üretilen örnekler hekzagonal yapıya sahip oldukları için (2.5.2) ifadesi kullanılarak örneklerin örgü parametreleri hesaplandı. Ayrıca tüm örneklerin x-ışını kırınım desenlerinde genellikle (002) yansıma düzlemine ait tek bir pik görüldüğünden bu örnekler için sadece c örgü parametreleri hesaplandı.

2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri

Kimyasal banyo yöntemiyle elde edilen $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerinin tavlama öncesi ve 673 K'de tavlandıktan sonra yüzey şekillerini ve tane boyutlarını incelemek için JEOL JSM-6610 taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikrografları çekildi. Kullanılan elektron mikroskobu Şekil 18'de gösterildi.

Örneklerdeki Cd, Co ve S miktarlarını belirlemek için enerji ayırmalı x-ışını spektroskopisi (EDS) analizi yapıldı. SEM cihazı üzerinde bulunan EDS dedektörü OXFORD INSTRUMENTS INCA x-act markasının 51ADD0013 modelidir (Şekil 18). EDS analizinde kullanılan SEM görüntüleri 10 kV'ta WD 9, SS 63 ve büyütme 10000 olacak şekilde alındı. Tüm örnekler için örnek yüzeyinde farklı noktalar seçilerek EDS ölçümleri yapıldı ve ortalamaları hesaplandı.

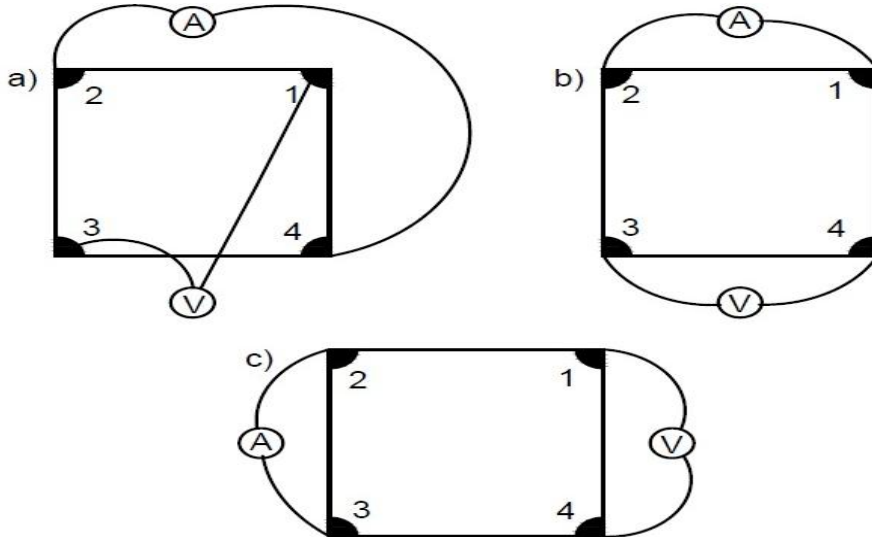


Şekil 18. JEOL JSM-6610 taramalı elektron mikroskobu

2.7. Elektriksel Özelliklerinin Ölçülmesi

2.7.1. Özdirenç Ölçümü

Yarıiletken malzemelerin, özdirenç ölçümlerinden yararlanarak elektriksel özellikleri hakkında bilgi edinilmektedir. Bu çalışmada üretilen filmlerin özdirenç ölçümleri Van Der Pauw yöntemiyle yapıldı. Özdirenç ölçümleri oda sıcaklığında ve karanlık ortamda gerçekleştirildi. Ölçümler için kullanılan kontaklar Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. a) Hal katsıısı ölçümü için kullanılan omik kontaklar b) ve c) Van der Pauw yöntemi için kullanılan omik kontakların şematik gösterimi

Van der Pauw yöntemi serbest formlu düzlemsel plaka şeklindeki örneklerin özdirenç ölçümlerinde geniş olarak kullanılmaktadır. Bu ölçümler için, örneklerin dört

noktasına indiyum ile omik kontaklar yapıldı (genelde örneklerin köşeleri tercih edilir). Yapılan işlemler aşağıda verilmiştir:

- i. 1 ve 4 numaralı kontaklar arasına akım uygulanarak (I_{14}), 2 ve 3 numaralı kontaklar arasındaki gerilim (V_{23}) ölçüldü.
- ii. 4 ve 3 numaralı kontaklar arasına akım uygulanarak (I_{43}), 1 ve 2 numaralı kontaklar arasındaki gerilim (V_{12}) ölçüldü.
- iii. 3 ve 2 numaralı kontaklar arasına akım uygulanarak (I_{32}), 4 ve 1 numaralı kontaklar arasındaki gerilim (V_{41}) ölçüldü.
- iv. 2 ve 1 numaralı kontaklar arasına akım uygulanarak (I_{21}), 3 ve 4 numaralı kontaklar arasındaki gerilim (V_{34}) ölçüldü.

Daha sonra bu işlemler ters besleme altında tekrar edildi. Alınan ölçümler sonucunda sekiz tane direnç değeri elde edilir:

$$R_{21,34} = \frac{V_{34}}{I_{21}}, R_{12,43} = \frac{V_{43}}{I_{12}} \quad (2.7.1.1)$$

$$R_{32,41} = \frac{V_{41}}{I_{32}}, R_{23,14} = \frac{V_{14}}{I_{23}} \quad (2.7.1.2)$$

$$R_{43,12} = \frac{V_{12}}{I_{43}}, R_{21,34} = \frac{V_{21}}{I_{34}} \quad (2.7.1.3)$$

$$R_{14,23} = \frac{V_{23}}{I_{14}}, R_{41,32} = \frac{V_{32}}{I_{41}} \quad (2.7.1.4)$$

Doğru ve ters besleme durumları için hesaplanan direnç değerleri birbirine eşit olmalıdır. Aradaki fark en çok %5 olmalıdır. Elde edilen sekiz direnç değerlerinden faydalanılarak aşağıdaki gibi R_A ve R_B değerleri belirlenir.

$$R_A = \frac{(R_{21,34} + R_{12,43} + R_{43,12} + R_{34,21})}{4} \quad (2.7.1.5)$$

$$R_B = \frac{(R_{32,41} + R_{23,14} + R_{14,23} + R_{41,23})}{4} \quad (2.7.1.6)$$

Van der Pauw teoremine göre direncin bu iki değeri ile örneğin öz direnci arasındaki bağıntı (denklem (2.7.7)) kullanılarak öz direnç değerleri belirlendi.

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \left[\frac{R_A + R_B}{2} \right] f \left(\frac{R_A}{R_B} \right) (\Omega cm) \quad (2.7.1.7)$$

Burada $f(R_A, R_B)$ düzeltme fonksiyonudur.

$$f\left(\frac{R_A}{R_B}\right) = 1 - \left[\frac{R_A - R_B}{R_A + R_B}\right]^2 \left(\frac{\ln 2}{2}\right) - \left[\frac{R_A - R_B}{R_A + R_B}\right]^4 \left[\left(\frac{\ln 2}{2}\right)^2 - \frac{(\ln 2)^3}{12}\right] \quad (2.7.1.8)$$

2.7.2. Hall Katsayısı Ölçümü

Bir yarıiletkende elektrik akımına dik olacak şekilde manyetik alan uygulandığında hem elektrik alan hem de manyetik alana dik olacak şekilde bir Hall alanı oluşmaktadır. Bu Hall alanı nedeniyle yarıiletkende,

$$V_H = R_H \frac{IB}{b} \quad (2.7.2.1)$$

ile verilen bir Hall voltajı oluşur. Burada R_H Hall sabiti, B manyetik alan, I uygulanan akım

ve b örneğin manyetik alan yönündeki boyutudur. n-tipi yarı iletkende ($n \gg p$); $R_H = -\frac{1}{ne}$

, p-tipi yarı iletkende ($p \gg n$); $R_H = +\frac{1}{pe}$ ile verilmektedir. Taşıyıcı tipi belli olan

malzeme için Hall voltajı ölçülerek taşıyıcı konsantrasyonu hesaplanabilir.

$$n = 8 \times 10^{-8} \frac{IB}{qV_H d} \quad (2.7.2.2)$$

Burada n taşıyıcı yoğunluğu (cm^{-3}), V_H Hall voltajı (V), I akım (A), B manyetik alan (Gauss), d yarıiletken ince filmin kalınlığıdır.

Hall voltajındaki hatayı küçültmek için Hall voltajının ölçüldüğü kontaklar arasındaki parazit gerilimleri ortadan kaldırmak gerekir. Bu parazit gerilimler farklı nedenlerden meydana gelebilir. Hall voltajının ölçüldüğü kontaklar eş potansiyelli noktalarda değilse parazit gerilimler oluşabilir. Numunenin homojenliği bozuk ise yine parazit gerilimler oluşabilir. Numuneden akım geçirilen kontaklar arasında taşıyıcıların hareketi ile ilgili parazit gerilimleri oluşabilir. Parazit gerilimlerin çoğunluğu elektrik akımının ve manyetik alanın yönüne bağlıdır ve bu nedenle akımın ve manyetik alanın yönü değiştirilerek parazit gerilimlerin Hall gerilimine etkisi ortadan kaldırılabilir. Bu çalışmada, Hall gerilimini doğru ölçebilmek için akımın ve manyetik alanın yönü dikkate alınarak toplam sekiz ölçüm alındı. Bunlar, V_{13P} , V_{13N} , V_{24P} , V_{24N} , V_{31P} , V_{31N} , V_{42P} ve V_{42N} voltajlarıdır.

$$\begin{aligned} V_D &= V_{42P} - V_{42N}, & V_C &= V_{24P} - V_{24N} \\ V_E &= V_{13P} - V_{13N}, & V_F &= V_{31P} - V_{31N} \end{aligned} \quad (2.7.2.3)$$

Hall voltajı,

$$V_H = V_C + V_D + V_E + V_F \quad (2.7.2.4)$$

ile hesaplanır. Bu tez Hall gerilimi ölçümleri oda sıcaklığında ve karanlıkta gerçekleştirildi.

2.8. Optik Özelliklerin Ölçümü

2.8.1. Optik Geçirgenlik Ölçümü

Optik ölçüm, yarıiletken malzemelerinin bant yapılarını tayin etme yollarının en önemlisini oluşturur. Yarıiletken malzemeler fotonlar ile uyarıldıkları zaman, değerlik bandı ile iletim bandı arasında elektronik geçişler olur. Bu geçişler vasıtasıyla yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığı belirlenir. Yarıiletken malzemelerde optik özellikler hem geçirgenlik eğrilerinden hem de fotoiletkenlik ölçümlerinden belirlenir. Üretilen $Cd_{1-x}Co_xS$ ($0 \leq x \leq 0,1$) yarıiletken ince filmlerin optik özellikleri oda sıcaklığında geçirgenlik ölçümleriyle ($T-\lambda$) belirlendi.

Elde edilen ince filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri PerkinElmer UV/VIS Lambda 35 spektrofotometre (Şekil 20) cihazı kullanılarak 300–1000 nm bölgesinde gerçekleştirildi.

Üretilen yarıiletken ince filmlerin yasak enerji aralığını belirlemek için geçirgenlik ölçümleri ve $\alpha = -\ln\left(\frac{1}{T}\right)\frac{1}{d}$ ifadesi kullanılarak soğurma katsayısı hesaplandı. Burada α soğurma katsayısını, d ince filmin kalınlığını göstermektedir. Doğrudan bant aralıklı yarıiletkenler için soğurma katsayısı ile yasak enerji aralığındaki bağıntı

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (2.8.1.1)$$

ifadesi ile verilir. Burada A sabit, $h\nu$ gelen fotonun enerjisi ve E_g yasak enerji aralığıdır. Örneklerin yasak enerji aralığını belirlemek için $(\alpha h\nu)^2$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı grafiği çizildi. Bu grafikte geçiş bölgesinin olduğu kısımdaki doğrusal kısma ekstrapolasyon yapıldı ve bu ekstrapolasyonun enerji eksenini kestiği nokta yardımıyla örneklerin yasak enerji aralığı belirlendi.



Şekil 20. PerkinElmer UV/ VIS Spectrometer Lamda 35

2.8.2. Fotolüminesans Ölçümü

Fotolüminesans ölçümleri genellikle yarıiletkenlerdeki farklı noktasal kusurlar (boşluk, arayer ve kirlilik atomları gibi) hakkında bilgi elde etmek için kullanılır. Bu çalışmada elde edilen örneklerin fotolüminesans ölçümleri SpektraMax M5 (Şekil 21) spektrofotometre cihazı ile 300–800 nm aralığında gerçekleştirildi. Örneklerin fotolüminesans spektrumu oda sıcaklığında ve 290 nm uyarma dalgaboyu ile alındı.

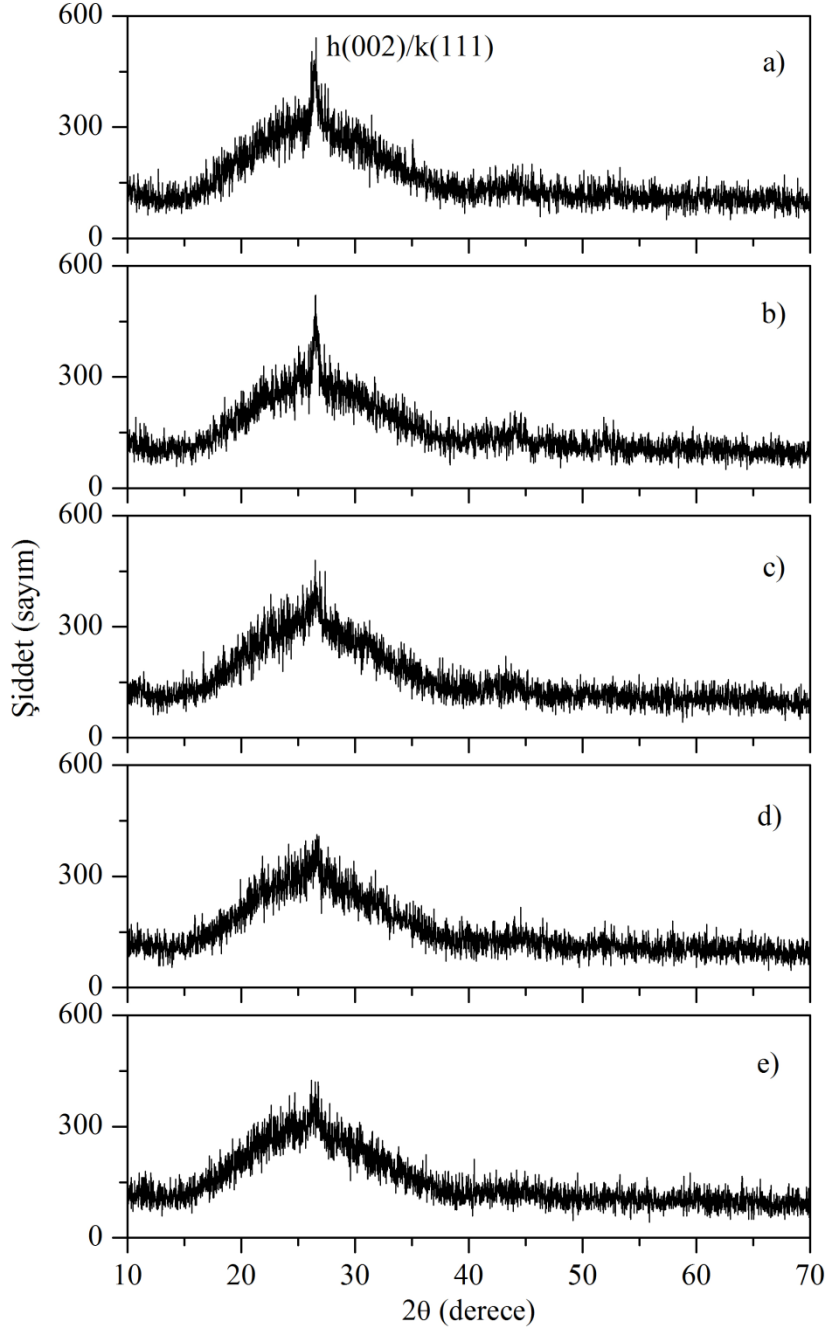


Şekil 21. SpectraMax M5

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Co Katkısının CdS Yarıiletken İnce Filmlerine Etkisi

3.1.1. Yapısal Özelliklerin İncelenmesi



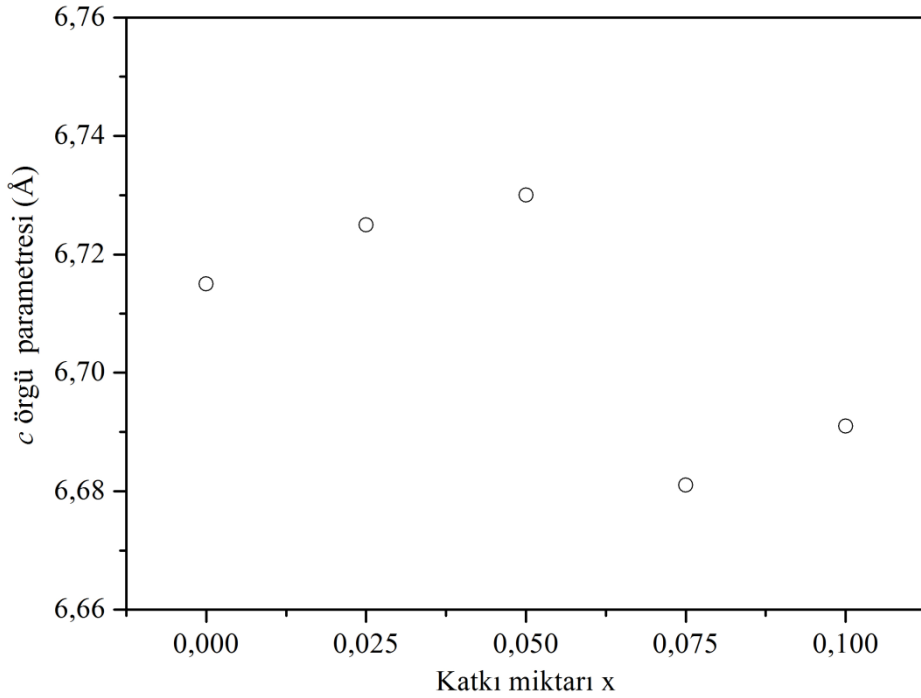
Şekil 22. Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin x-ışını kırınım desenleri a) x = 0, b) x = 0,025, c) x = 0,05, d) x = 0,075 ve e) x = 0,1

Farklı katkı oranlarında hazırlanan Cd_{1-x}Co_xS örneklerin x-ışını kırınım desenleri Şekil 22’de gösterildi. Kimyasal banyo yöntemi ile hazırlanan CdS örneklerinde hegzagonal faz görülebileceği gibi kübik veya bu ikisinin karışımı olan karışık faz da

görülebilmektedir (Jaber vd, 2012). Elde edilen bu çalışmadaki kırınım desenlerinde sadece tek bir pik görüldü. Bu pik hegzagonal yapıda (002) düzlemine karşılık gelirken kübik yapıda yaklaşık olarak aynı kırınım açısında görülen (111) düzlemine karşılık gelmektedir. Kübik ve hegzagonal yapının en şiddetli piklerinin [sırasıyla (111) ve (002)] yaklaşık aynı açılarda ($2\theta = 26,5^\circ$) olması nedeniyle bu örneklerde kristal yapıyı belirlemek zordur. Bununla birlikte, hegzagonal yapıda genellikle (002) pikine ek olarak (100) ve (101) pikleride görülür (Mahdi vd, 2012). Bu piklerin görülmemesi üretilen örneklerin kübik yapıda olabileceğini göstermektedir. Fakat daha sonra tartışılacak olan optik özellikler kısmında örneklerde hem kübik yapıya hem de hegzagonal yapıya ait olan band aralığının görülmesi örneklerin daha muhtemel olarak karışık fazda olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Şekil 22'deki pik h(002)/k(111) olarak işaretlendi. Şekil 22'de gözlemlenen h(002)/k(111) pikinin şiddetinin, Co katkısıyla azaldığı ve $x = 0,05$ katkı oranından sonra bu pikin neredeyse kaybolduğu belirlendi. Bu durum Co katkısıyla kristallenmenin azaldığını göstermektedir. Etemadfard ve arkadaşları benzer sonuçları termal buharlaştırma yöntemi ile hazırlanan $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerinde gözlediler (Etemadfard vd, 2011). Bacaksız ve arkadaşları ise kimyasal püskürtme yöntemi ile hazırladıkları $Zn_{1-x}Co_xO$ ince filmlerinde (002) pik şiddetinin Co katkısıyla azaldığını tespit ettiler (Bacaksız vd, 2008). Tüm örnekler için h(002)/k(111) piki geniş ve yüksek bir gürlüğü piki üzerinde görüldü. Benzer davranış kimyasal banyo yöntemi ile hazırlanan CdS ince film örnekleri için farklı araştırmacılar tarafından da gözlemlendi (Liu vd, 2010; Erkan ve Jin, 2012; Zhou vd, 2013). Örneklerin kırınım deseninde görülen bu geniş tepe yapıda bazı amorf veya nanoyapılı bileşenlerin olduğunu göstermektedir (Jaber vd, 2012; Liu vd, 2010). Bu geniş tepe davranışı, aynı zamanda üretilen ince filmlerin çok ince (152–130 nm) olması nedeniyle cam altlıktan da kaynaklanabilmektedir (Yu vd, 2002).

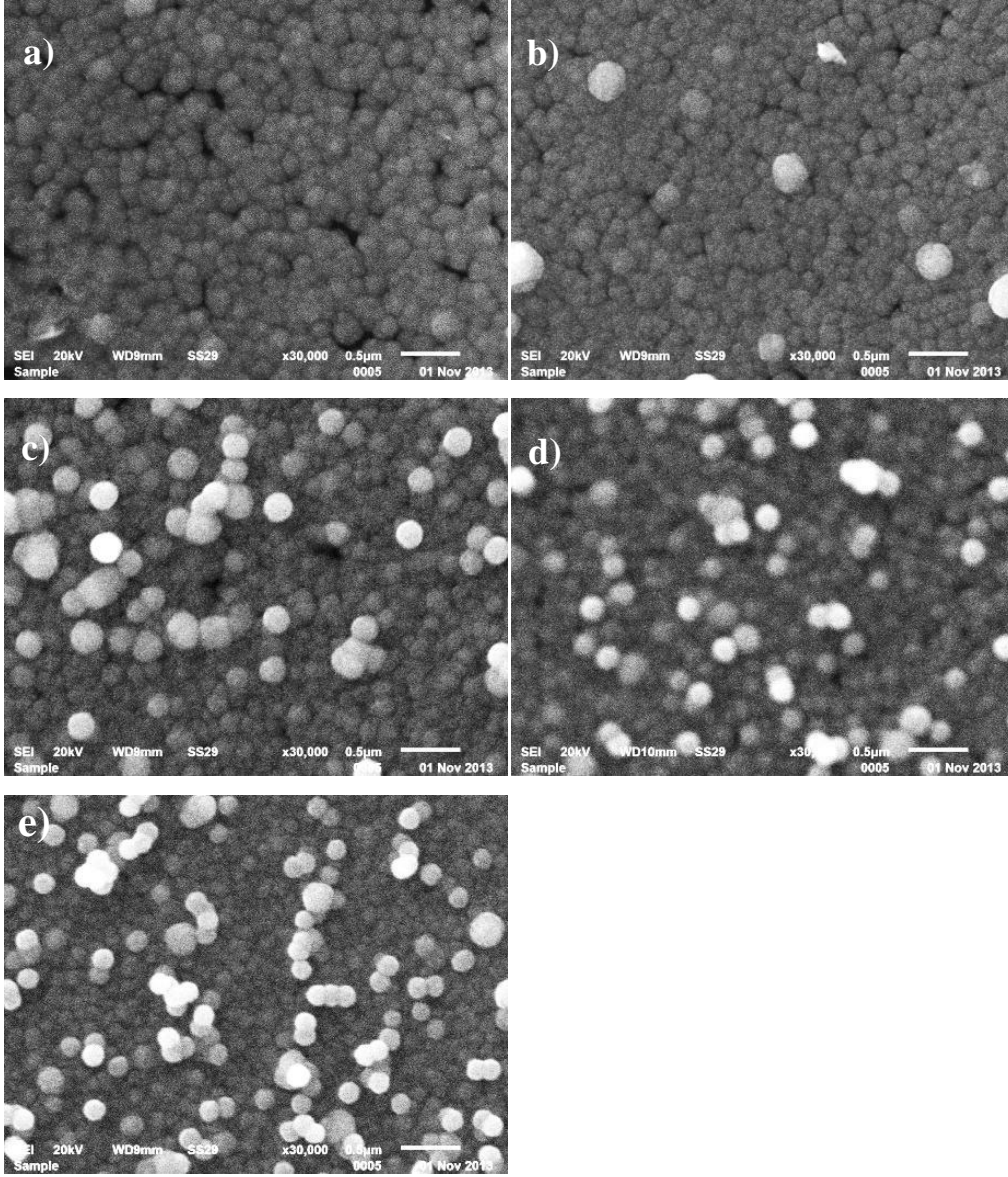
Örneklerin XRD verilerinden faydalanılarak ve örneklerin hegzagonal yapıda olduğu kabul edilerek c örgü parametreleri belirlendi. Elde edilen değerler Şekil 23'te katkı miktarının fonksiyonu olarak çizildi. Katkısız örneğin örgü parametresi 6,715 Å olarak belirlendi. Bu değer bulku değer olan 6,720 Å'a oldukça yakın olduğu görüldü. Co katkısıyla c örgü parametresinin ilk olarak 6,715 Å'dan 6,730 Å'a arttığı, $x = 0,075$ katkı miktarından sonra azalmaya başladığı ve $x = 0,1$ katkı miktarı için 6,691 Å değerine ulaştığı tespit edildi. Co iyonları kristal içinde Cd iyonlarının yerlerine yerleşmesi durumunda beklenen örgü parametresinin azalmasıdır. Çünkü Co^{2+} iyonunu yarıçapı (0,74 Å) Cd^{2+} iyonunun yarıçapından (0,97 Å) küçüktür. c örgü parametresinde gözlenen artışın

nedeninin Co iyonlarının arayer konumlarına yerleşmesi olabileceği düşünülmektedir (Bacaksız vd, 2008). Bununla birlikte, örgü parametresi c , stress, örgü içine farklı iyonik yarıçaplı safsızlıkların girmesi, stokiyostride oluşan kayma gibi pek çok parametreye bağlıdır. Bu çalışmada örgü parametresinde $x = 0,05$ katkı oranından sonra görülen azalmanın kristal yapının bozulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



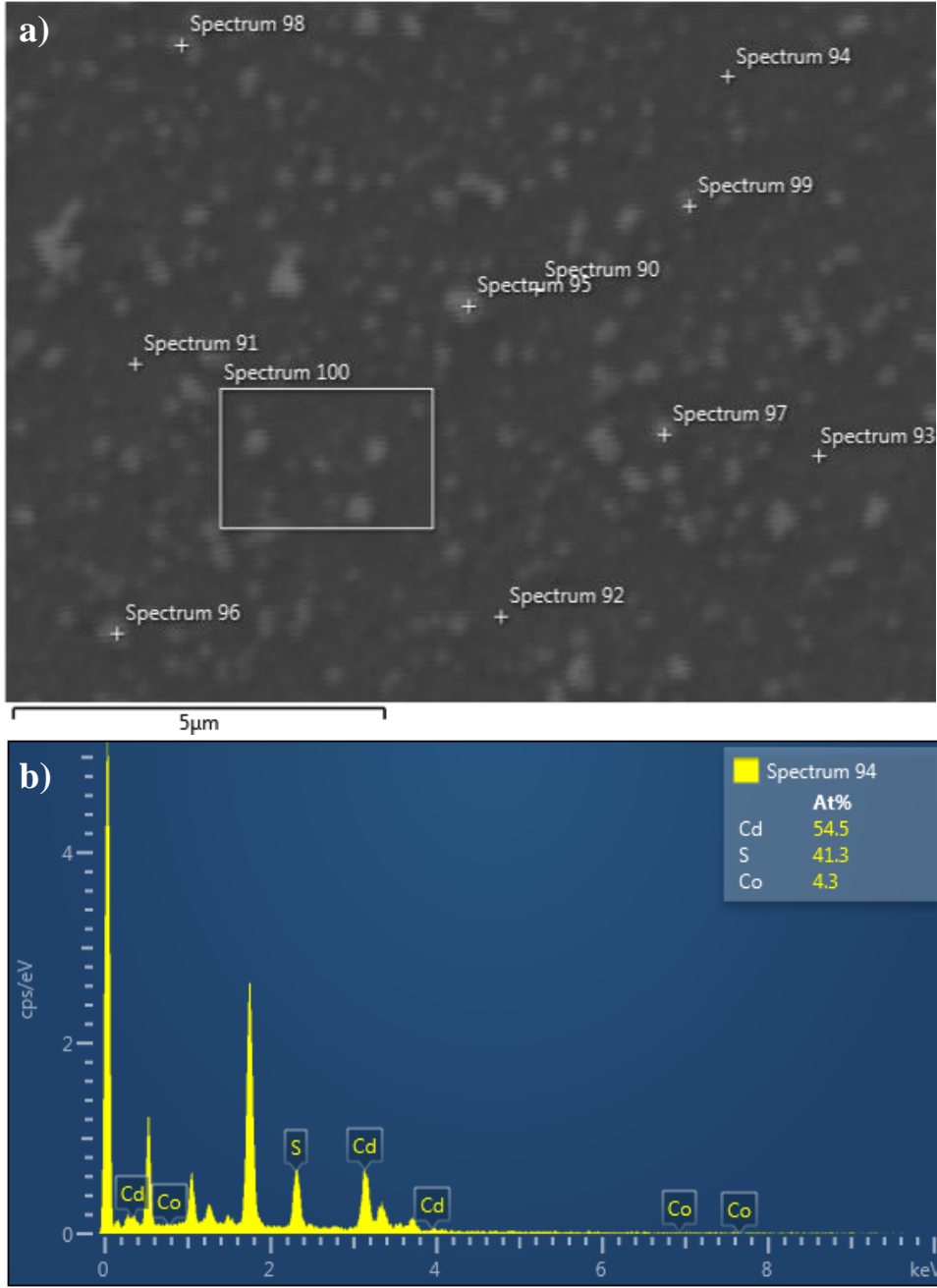
Şekil 23. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin c örgü parametreleri

$Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin yüzey şekilleri taramalı elektron mikroskobu ile incelendi. Elde edilen görüntüler Şekil 24'te verildi. Katkısız örneğin 200 nm civarında tane boyutuna sahip olduğu ve yüzeyinde bazı boşlukların bulunduğu belirlendi. Bu boşluklar kısmen düşük sıcaklıklarda ($50\text{ }^{\circ}C-70\text{ }^{\circ}C$) hazırlanan örneklerde kimyasal reaksiyon ve iyon difüzyon hızının düşük olmasından kaynaklanabilir (Fangyang vd, 2010). Böyle bir durumda yüzeydeki taneler sürekli film oluşturmak için birbiriyle birleşmesi çok yavaş olur ve yüzeyde boşluklar meydana gelir. Kobalt katkısı yapılan örneklerde katkı arttıkça tane boyutunun giderek daha homojen hale geldiği belirlendi. $x = 0,075$ 'e kadar olan örneklerin tane boyutunda belirgin bir değişim olmazken bu katkı oranından sonra tane boyutunun 100 nm civarına azaldığı tespit edildi. Kobalt katkısı arttıkça yüzeyde görülen boşlukların azaldığı bununla birlikte yüzey üzerinde bazı küresel parçacıkların oluştuğu gözlemlendi. Katkı miktarı arttıkça bu parçacıkların çapının azaldığı yoğunluğunun ise arttığı tespit edildi.



Şekil 24. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen yüzey şekilleri a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$

Şekil 25.a'da sadece $x = 0,05$ oranında Co katkılı örneğin EDS analizi için kullanılan SEM görüntüsü verildi. Şekil 25.b, SEM görüntüsü üzerindeki 94 numaralı bölgenin EDS spektrumunu göstermektedir. Örneklerde cam altlıktan gelen Si, O, Na, Mg ve Ca pikleri görüldü. EDS sonuçlarından elde edilen Cd, S ve Co'nun atomik yüzdeleri ile $[Cd+Co]/S$ oranı Tablo 3'te listelendi.



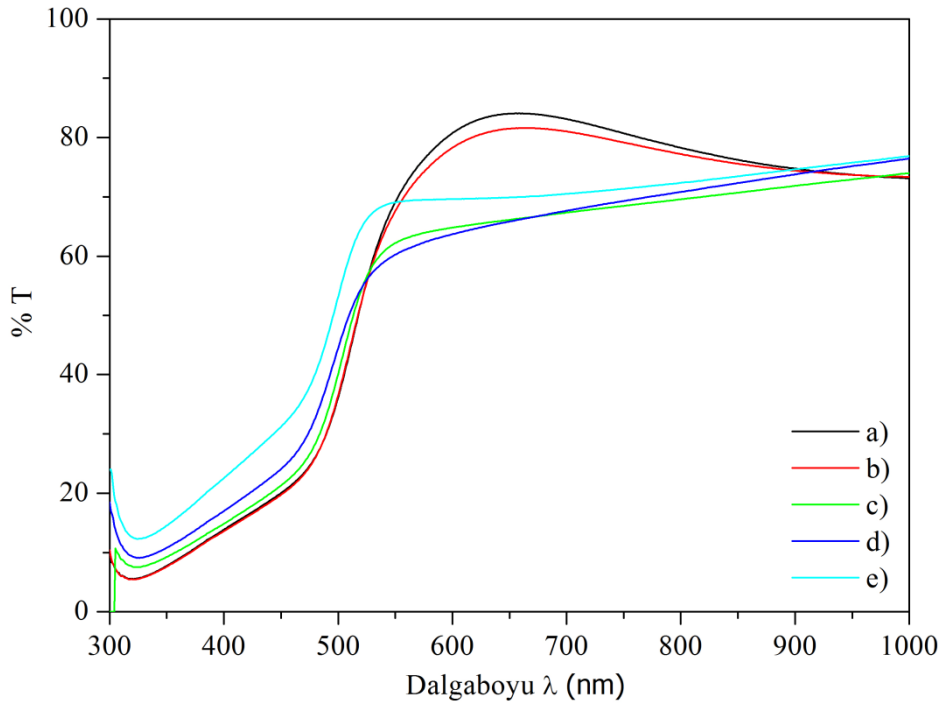
Şekil 25. $x = 0,05$ oranında Co katkısı yapılan örnek için a) EDS analizinde kullanılan SEM görüntüsü ve b) 94 no'lu ölçümün EDS spektrumu

Tablo 3'ten Co katkısındaki artış ile $[Cd+Co]/S$ oranının 1,30'dan 1,48 değerine arttığı görüldü. Bu durum kobalt katkısının bir miktar S atomunun yapıya girmesine engel olduğunu göstermektedir. Tablo 3 incelendiğinde CdS içindeki Co miktarının çözeltideki ile aynı oranda artmadığı görüldü. Bu durum kobaltın CdS içinde çözünübilirliğinin düşük olmasından kaynaklanabilir. Benzer sonuç Mane ve arkadaşları tarafından kimyasal banyo yöntemi ile hazırlanan $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinde görüldü (Mane vd, 2012).

Tablo 3. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örnekleri için Cd, S ve Co atomik yüzdeleri ve $[Cd+Co]/S$ oranı

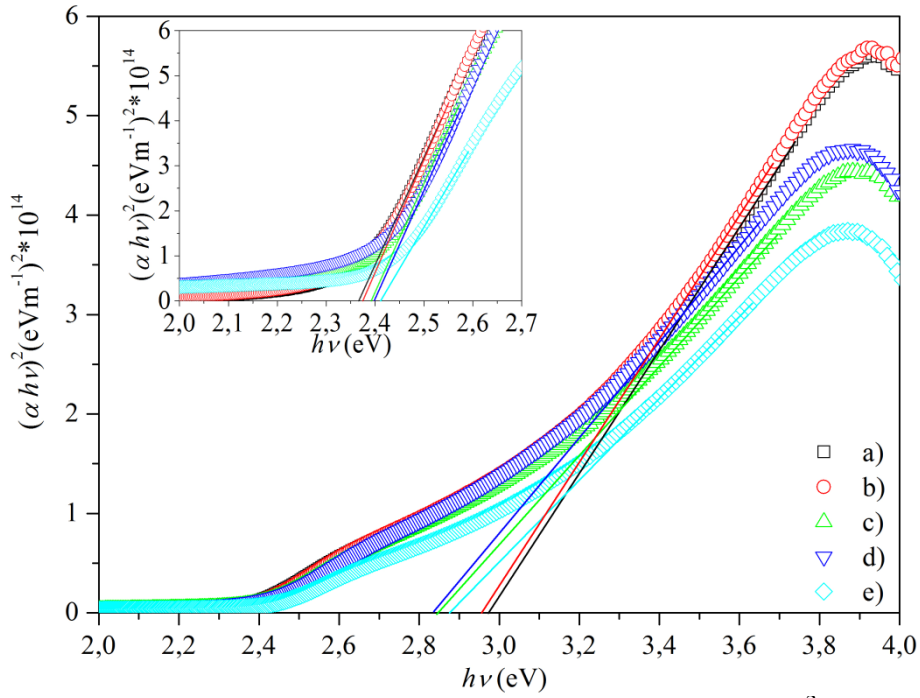
	% Cd	% Co	% S	[Cd+Co]/S
x = 0	56,55	-	43,45	1,30
x = 0,025	56,09	2,45	41,46	1,41
x = 0,05	55,22	4,00	40,78	1,45
x = 0,075	54,76	4,27	40,97	1,44
x = 0,1	53,83	5,87	40,30	1,48

3.1.2. Optik Özelliklerin İncelenmesi



Şekil 26. Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin optik geçirgenlik eğrileri a) x = 0, b) x = 0,025, c) x = 0,05, d) x = 0,075 ve e) x = 0,1

Şekil 26, Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin 300–1000 nm arasında alınan optik geçirgenlik eğrilerini göstermektedir. Kobalt katkılı örneklerin yüksek dalgaboyu bölgesinde (550–1000 nm) optik geçirgenliğinin daha az olduğu, düşük dalgaboyu bölgesinde (300–500 nm) ise optik geçirgenliğinin daha fazla olduğu belirlendi. Ayrıca band kenarı keskinliğinin Co katkısı ile azaldığı tespit edildi. Bu kristalleşmenin Co katkısı ile bozulduğunu göstermektedir. XRD sonuçları bu durumu desteklemektedir. 300–500 nm bölgesinde görülen optik geçirgenlik filmlerde amorf bileşenlerinin olduğunu göstermektedir (Ximello–Quebras vd, 2004). Amorf bileşenlerin varlığı XRD grafiklerinde de belirlenmiştir.

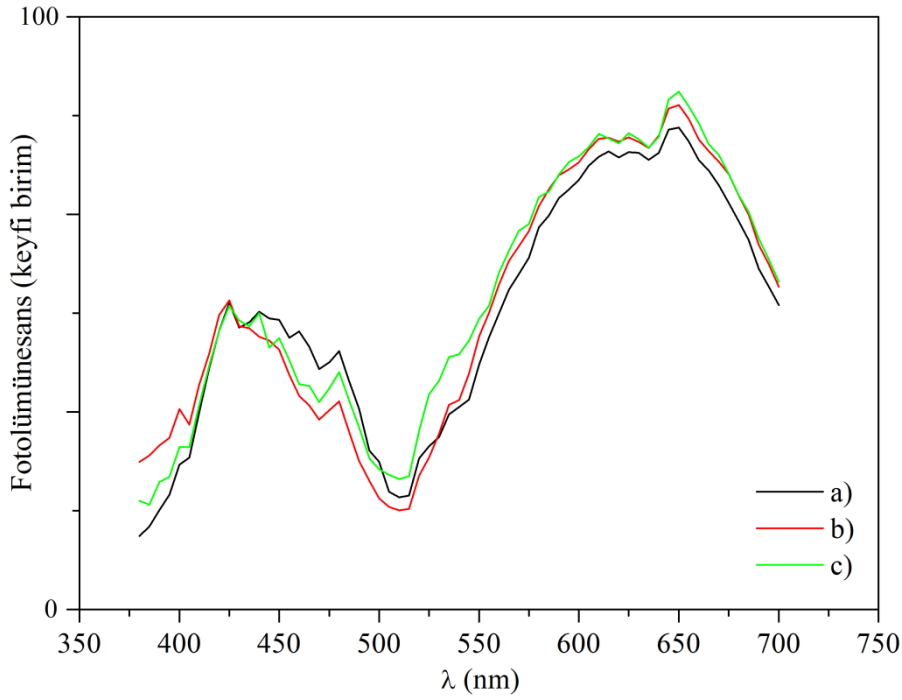


Şekil 27. Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$

Şekil 27, örneklerin $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşı $h\nu$ grafiklerini göstermektedir. Bu şekilden örneklerde düşük enerji bölgesinde alt-bant aralığının olduğu görülmektedir. Ramaiah ve arkadaşları kimyasal banyo yöntemi ile hazırladıkları CdS örnekleri için benzer bir durum gözlediler (Ramaiah vd, 2001). Onlar alt-bant aralığının yapıda bulunan kübik fazdan, yüksek enerjide gözlenen üst-bant aralığının ise yapıdaki hegzagonal fazdan kaynaklandığını belirttiler. Şekil 27'nin içindeki grafik alt-bant aralığı için $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşı $h\nu$ grafiklerini göstermektedir. Elde edilen yasak enerji aralığı değerleri Tablo 4'te listelendi. Kobalt katkısıyla kübik faza ait olan alt-bant aralığı 2,37 eV'tan 2,41 eV'a artarken hegzagonal faza ait üst-bant aralığının ilk olarak 2,97 eV'tan 2,85 eV'a azaldığı sonra $x = 0,1$ katkı oranı için 2,88 eV'a arttığı görüldü.

Tablo 4. Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin alt ve üst bant aralıkları

	Alt-bant aralığı (eV)	Üst-bant aralığı (eV)
$x = 0$	2,36	2,97
$x = 0,025$	2,37	2,96
$x = 0,05$	2,39	2,86
$x = 0,075$	2,40	2,85
$x = 0,1$	2,41	2,88

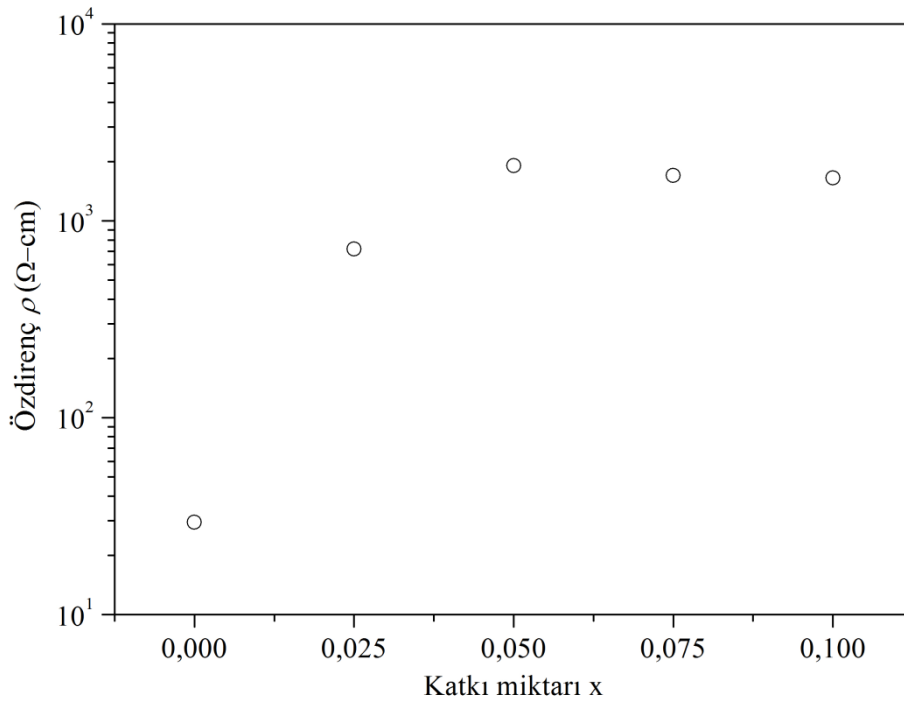


Şekil 28. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin fotolüminesans grafikleri a) $x = 0$, b) $x = 0,05$, c) $x = 0,075$

$Cd_{1-x}Co_xS$ örneklerinin fotolüminesans ölçümleri yapıldı. Şekil 28, sadece $x = 0$, $0,05$ ve $0,1$ katkılı örnekler için fotolüminesans spektrumlarını göstermektedir. Bu grafikten örneklerin iki tane geniş pike sahip oldukları görülmektedir: i) $520-700$ nm arasında ve ii) $380-500$ nm arasında. Polikristallerde fotolüminesans emisyon pikleri genellikle keskin olmaz geniş olur (Lee, 2004). Çünkü pek çok yenidenbirleşim konumları vardır; her bir tane farklı kirlilik yoğunluğuna, farklı yüzey alanına, farklı kusur tipine ve yoğunluğuna sahiptir. Böylece emisyon çizgileri daha geniş olur. Birinci bölge 560 nm'de sarı emisyon, 620 nm'de turuncu emisyon ve 650 nm'de kırmızı emisyon ile ikinci bölge ise 480 nm'de yeşil emisyon ve 425 nm'de mavi emisyon ile açıklanabilir. Sarı emisyon arayer konumlarındaki Cd (I_{Cd}) atomlarının oluşturduğu verici seviyelerinden değerlik bandına olan ışımali geçişler ile ilişkilidir (Chandramohan vd, 2010). Turuncu emisyon $I_{Cd}-V_{Cd}$ (V_{Cd} , Cd boşlukları) Frenkel çiftleri gibi kompleks kusurlardan kaynaklanabilir (Chandramohan vd, 2010). Kırmızı emisyon genellikle kükürt boşlukları (V_S) ve kükürt durumlarından kaynaklanmaktadır (Ji vd, 2011). Yeşil emisyon arayer kükürt (I_S) atomları ile ilişkili olabilir (Aguilar-Hernandez vd, 2006). Mavi emisyon ise tuzaklanmış elektronların verici seviyesinden değerlik bandına geçişlerinden kaynaklanabilir (Goto vd, 1998). Bu tez çalışmasında 425 nm'de ($2,92$ eV) görülen mavi emisyon optik geçirgenlikten elde edilen hegzagonal faza ait yasak band aralığı değerleri ile uyumlu

olduğu için bunun bant'dan band'a olan emisyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte optik geçirgenlikten elde edilen band aralığı Co katkısı ile 2,97 eV'dan 2,85 eV arasında değişmesine rağmen fotolüminesans grafiklerinde bu değişim gözlenmemiştir. Bunun nedeni optik soğurma sabitinin hesaplandığı Tauc denkleminin serbest elektronları dikkate alması fakat elektron-boşluk etkileşimini dikkate almaması olabilir (Tomakin, 2012). Kobalt katkılı örneklerde 520 nm ile 700 nm arasındaki emisyon artarken 380 nm ile 500 nm arasındaki yeşil emisyon azalmaktadır. Mavi emisyon şiddeti ise değişmemektedir. Bu sonuca göre, yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda kobalt katkısının örneklerde I_{Cd} , $I_{Cd}-V_{Cd}$ ve V_s gibi kusurları arttırdığı ve I_s türü kusurları ise azalttığı söylenebilir. EDS analizlerinden elde edilen $[Cd+Co]/S$ oranının 1,30'dan 1,48 değerine artması şeklindeki sonuç bu durumu desteklemektedir.

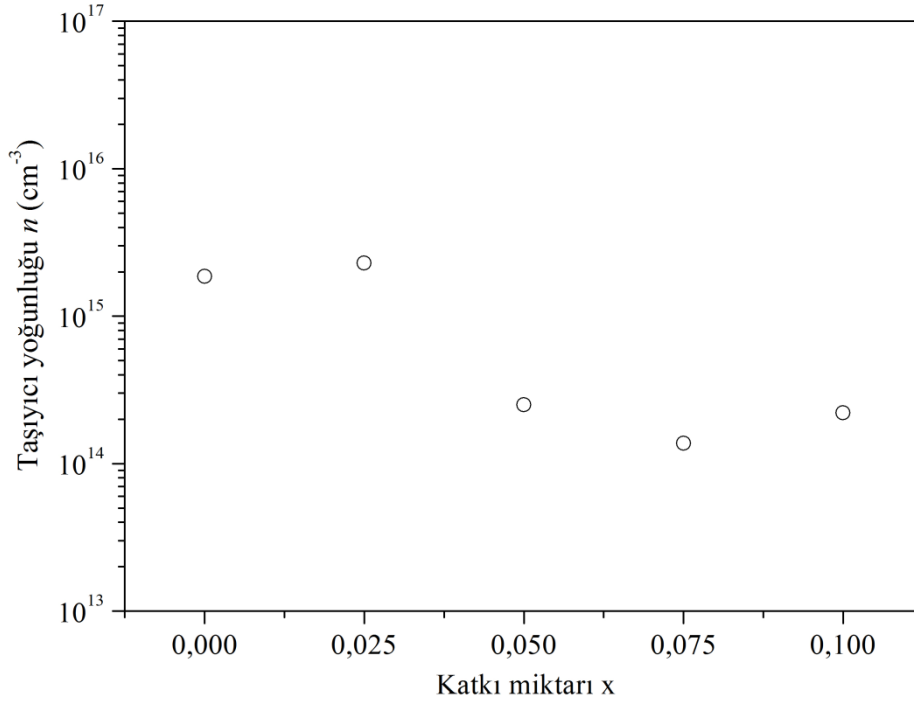
3.1.3. Elektriksel Özelliklerin İncelenmesi



Şekil 29. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin katkıya göre logaritmik ölçekte özdirenç grafiği

$Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin elektriksel (özdirenç ve Hall olayı) ölçümleri oda sıcaklığında ve karanlık ortamda gerçekleştirildi. Özdirenç ölçümlerinden elde edilen değerler Şekil 29'da katkıya göre çizildi. Kobalt katkısı ile özdirençin yaklaşık 30Ω -cm'den $1,7 \times 10^3 \Omega$ -cm'ye arttığı ve yaklaşık bu değerde sabit kaldığı görüldü. Kimyasal banyo yöntemi ile hazırlanan CdS ince film örneklerinin elektriksel özellikleri (özdirenç, taşıyıcı yoğunluğu, mobilite) Cd/S oranı (Cruz vd, 2010), kullanılan tuz (Khallaf vd, 2008), banyo sıcaklığı (Liu vd, 2010), katkı atomu ve miktarı (Altosaar vd, 2005), molarite

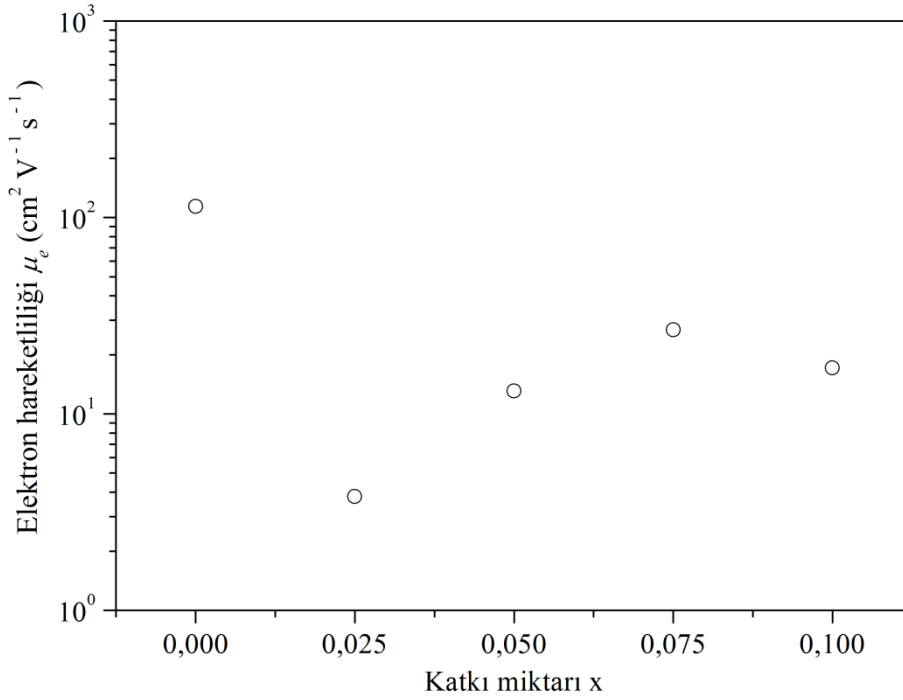
(Sasikala vd, 2000) ve tavlama (Ramaiah vd, 2001), gibi pek çok parametreye bağlıdır. CdS ince film örneklerinin özdirenci, örneklerin tercihli yöneliminin derecesine bağlıdır ve özdirenç genellikle yönelimin azalması ile artar (Ashour vd, 1995; He vd, 2005). Ayrıca ince film kalınlığındaki azalma özdirenci arttırmaktadır (Enriquez ve Mathew, 2003; Oumous ve Hadiri, 2001). Özdirenç ile ilgili bir başka mekanizma ise tane sınırlarından saçılmadır. Tane boyutunun artması ile tane sınırları azalır ve böylece özdirenç de azalır (Tomakin vd, 2011). Yukarıda anlatılan özdirenç ile ilgili parametrelerin bileşimi örnekteki özdirenç davranışını belirleyebilir. Bu çalışmada gözlenen özdirenç artışı kobalt katkısıyla kristallenmenin ve tercihli yönelimin bozulması, kalınlığın azalması ve tane boyutunu azalması gibi özdirenci artıran parametrelerin örnek üzerinde daha baskın olduğunu göstermektedir.



Şekil 30. Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin katkıya göre logaritmik ölçekte taşıyıcı yoğunluğu grafiği

Şekil 30, Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin taşıyıcı yoğunluğunun katkı miktarına göre değişimini göstermektedir. Taşıyıcı yoğunluğu x = 0 ve 0,025 katkılı örnekleri için yaklaşık 2×10¹⁵ cm⁻³ değerinde iken katkı miktarının artmasıyla yaklaşık 2×10¹⁴ cm⁻³ değerine düştüğü tespit edildi. Yukarıda özdirenç ile ilgili yapılan açıklamalarda anlatılan ve birbiri ile yarışan süreçler taşıyıcı yoğunluğunu da etkilemektedir. EDS analizlerine göre Co katkısı ile yapıda kükürt eksikliği oluşmaktadır. Kükürt eksikliğinin CdS örneklerinde verici katkısı gibi davranarak taşıyıcı yoğunluğunu arttırabileceği bilinmektedir. Ancak Co katkısı ile tane boyutunun azalması, kristallenmenin bozulması ve kalınlığın azalması gibi etkiler ise taşıyıcı yoğunluğunu azaltmaktadır (Tomakin vd, 2012).

Sonuç olarak özdirenç ve taşıyıcı yoğunluğu ile ilgili olarak elde edilen verilere göre $Cd_{1-x}Co_xS$ örneklerinde elektriksel özellikleri daha çok kristallenme, tane boyutu ve kalınlık parametrelerine bağlıdır. Bacaksız ve arkadaşları kimyasal püskürtme yöntemi ile elde ettikleri $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinde özdirenç ve taşıyıcı yoğunluğu için benzer davranış gözlediler (Bacaksız vd, 2008).



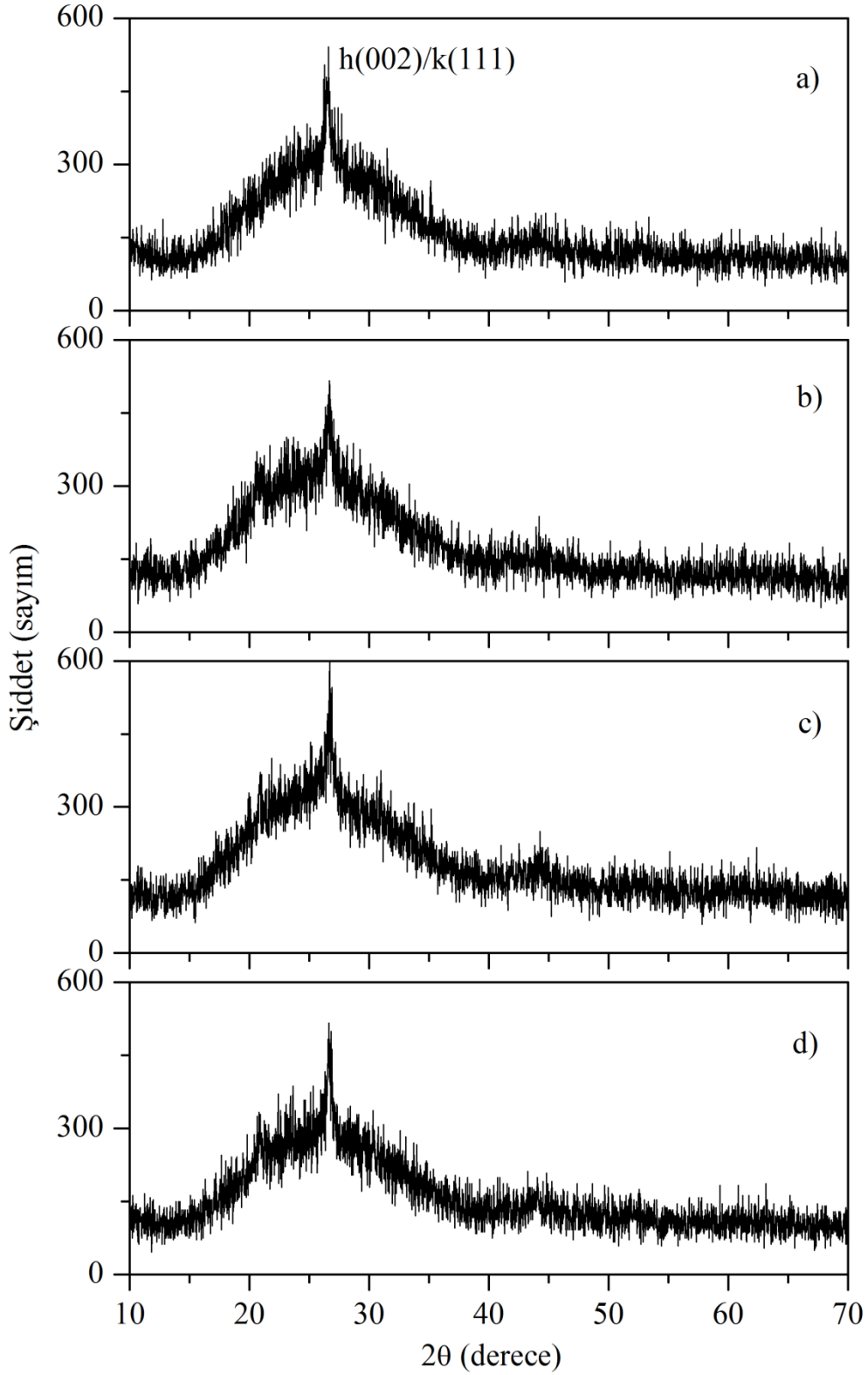
Şekil 31. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin katkıya göre logaritmik ölçekte elektron hareketliliği grafiği

Örneklerin elektron hareketliliği $\mu_e = \frac{1}{\rho n e}$ ifadesi kullanılarak belirlendi. Elde

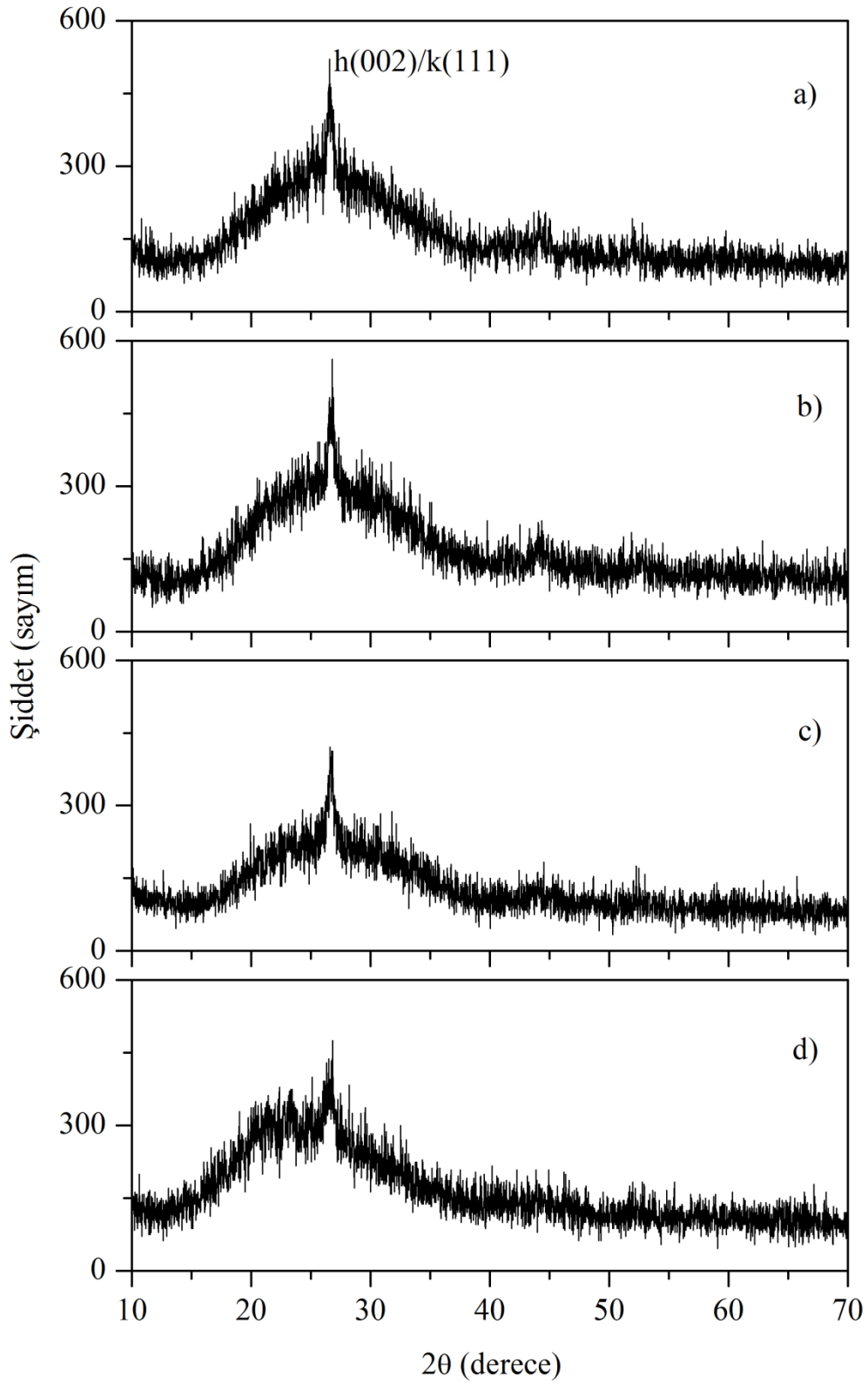
edilen değerler Şekil 31'de katkı yoğunluğuna göre çizildi. Örneklerin elektron hareketliliğinin kobalt katkısıyla ilk olarak yaklaşık $114 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ değerinden $x = 0,025$ katkı oranı için $4 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ değerine azaldığı $x = 0,05$ katkı oranından sonra ise yaklaşık $20 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ değerine doğru arttığı belirlendi. Kristallenmenin bozulmasının, tane boyutunun ve kalınlığın azalmasının elektron hareketliliğini azalttığı bilinmektedir (Tomakin vd, 2012). Dolayısıyla kobalt katkılı örneklerde elektron hareketliliğinin katkısız örneğe göre daha küçük olması özdirenç ve taşıyıcı yoğunluğu sonuçları ile uyumludur. Bununla birlikte elektron hareketliliğinin ilk önce $4 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ değerine azalıp sonra tekrar yaklaşık $20 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ değerine artması yüksek oranda Co katkılı örneklerde yüzeyde görülen boşlukların azalmasından kaynaklanabilir.

3.2. Tavlamanın $Cd_{1-x}Co_xS$ Yarıiletken İnce Filmlerine Etkisi

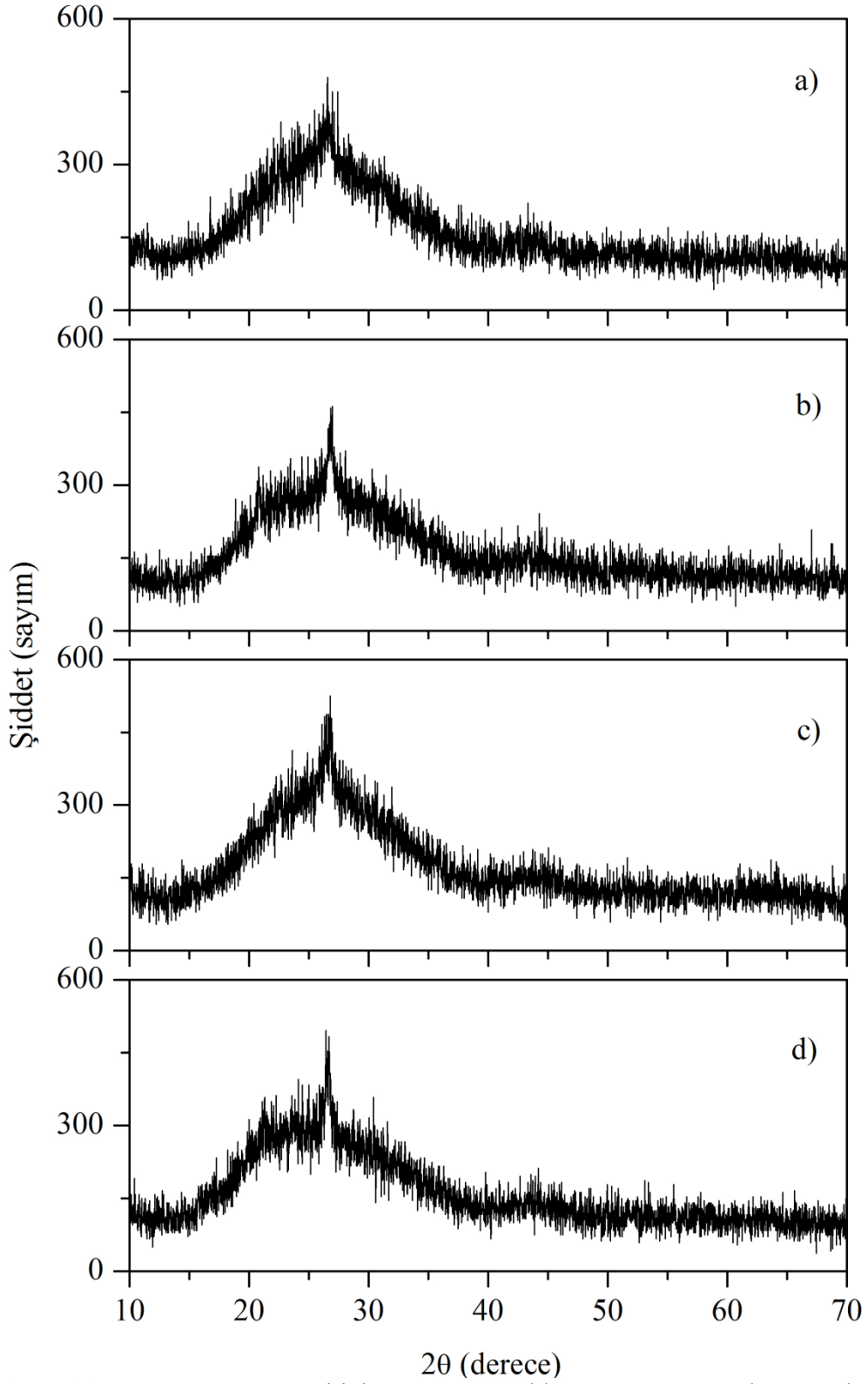
3.2.1. Yapısal Özelliklerin İncelenmesi



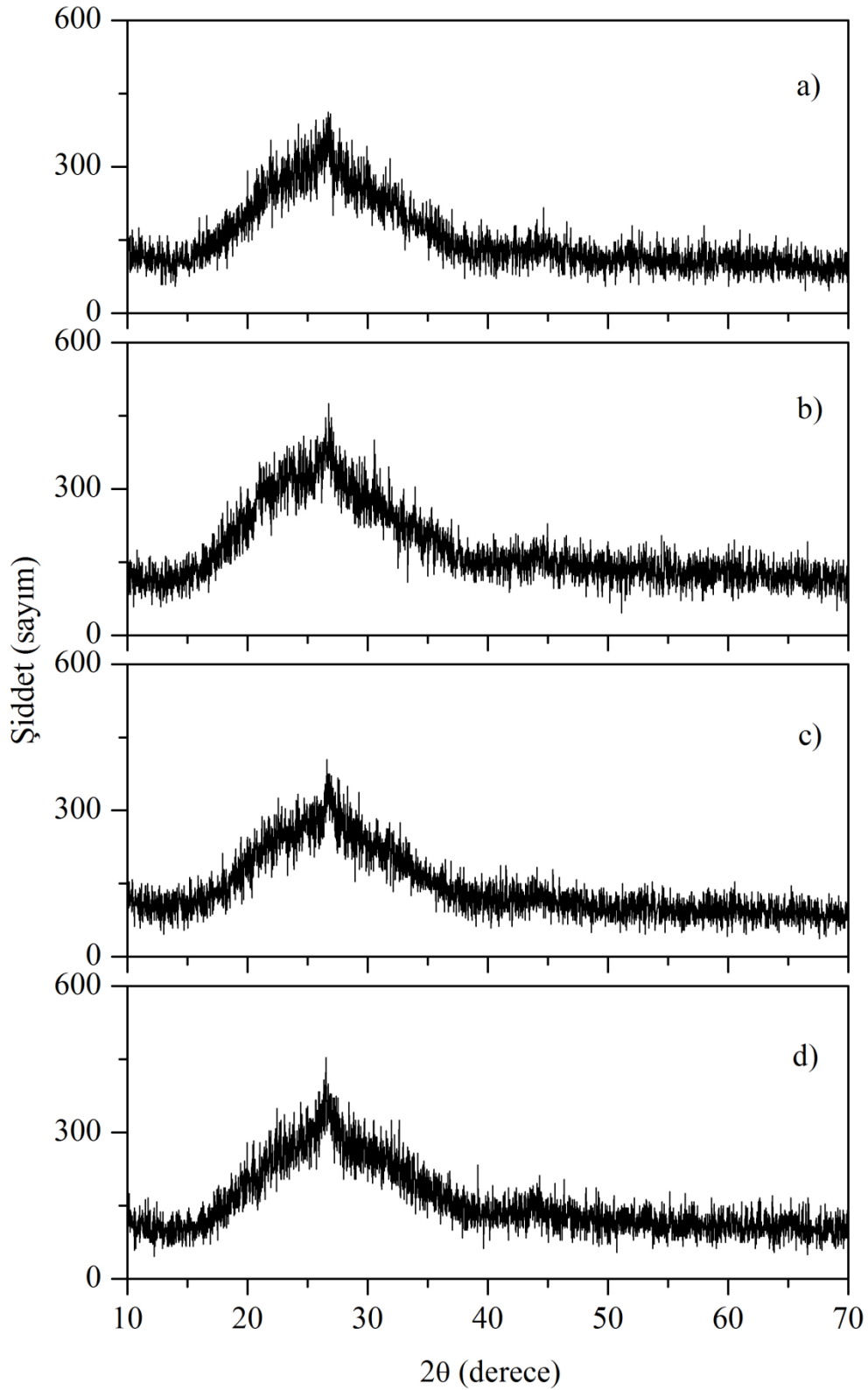
Şekil 32. CdS örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K



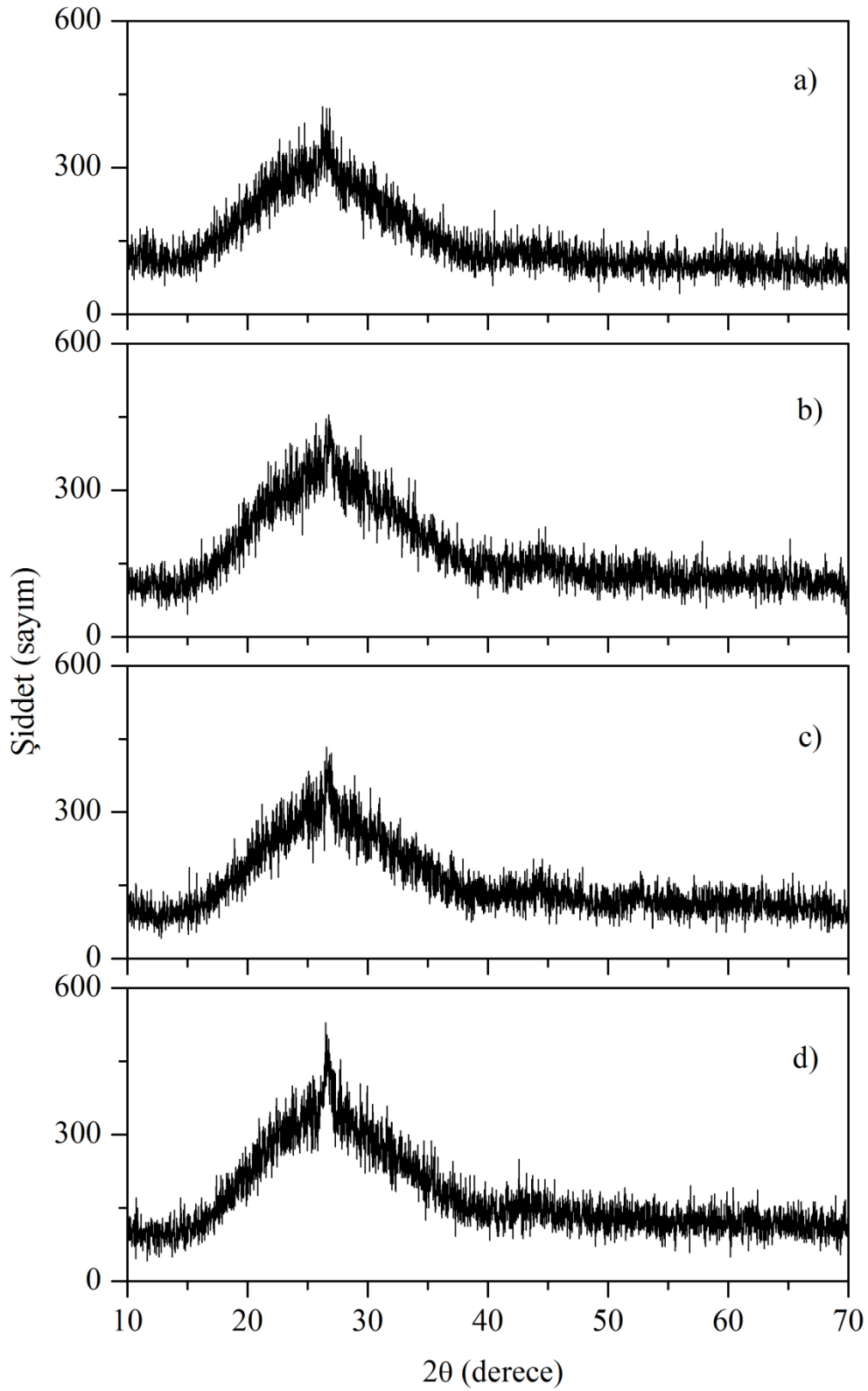
Şekil 33. $\text{Cd}_{0.975}\text{Co}_{0.025}\text{S}$ örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K



Şekil 34. Cd_{0.95}Co_{0.05}S örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K

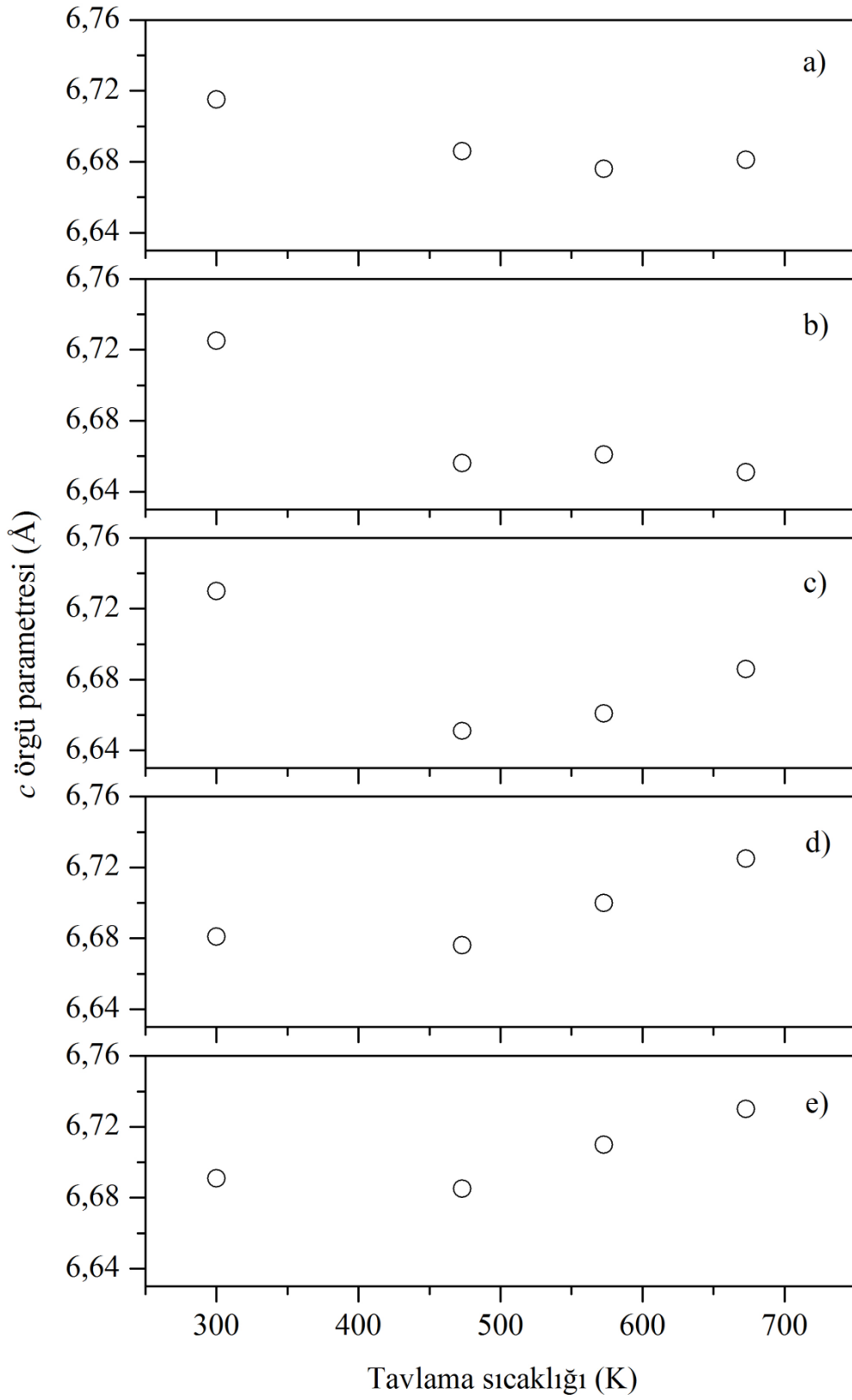


Şekil 35. $\text{Cd}_{0,925}\text{Co}_{0,075}\text{S}$ örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K



Şekil 36. $Cd_{0.9}Co_{0.1}S$ örneği için tavlama sıcaklığına göre x-ışını kırınım deseni a) 300 K, b) 473 K, c) 573 K ve d) 673 K

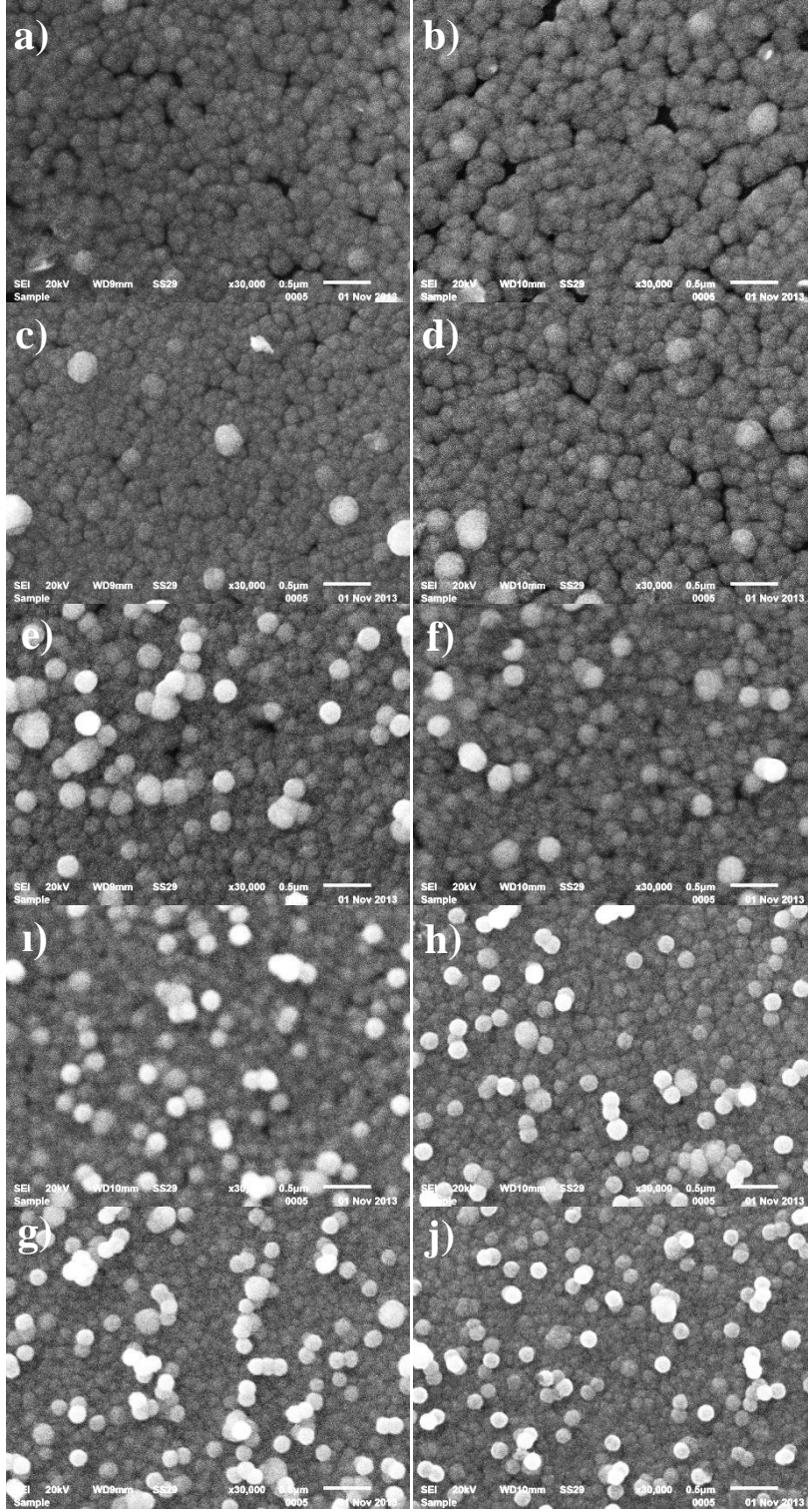
Hazırlanan $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin bazıları 473 K, 573 K ve 673 K'de vakum ortamında 20 dakika tavlandı. Farklı sıcaklıklarda tavlanan $Cd_{1-x}Co_xS$ örnekleri için Şekil 32 –Şekil 36 x-ışını kırınım desenlerini göstermektedir. Tüm örneklerde yine sadece h(002)/k(111) piki görüldü. CdS örneği için h(002)/k(111) pik şiddetinde önemli bir değişim olmadığı, sadece 573 K'de tavlanan örnek için şiddette küçük bir artış olduğu belirlendi (Şekil 32). CdS örneği için Şekil 38.a) ve b)'de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde tavlama sonrası tane boyutunun arttığı görülmektedir. Bu durumda x-ışını kırınım desenindeki pikin daha keskin ve şiddetli olması beklenmektedir. Katkısız CdS örneği için x-ışınlarında beklenen bu değişimin gerçekleşmemesi tavlama sonrası yüzeyde görülen boşlukların yoğunluğunun artmasından kaynaklanabilir. $Cd_{0,975}Co_{0,025}S$ örneği için Şekil 33'de verilen x-ışını kırınım deseni incelendiğinde tavlama ile h(002)/k(111) pik şiddetinin ve keskinliğinin azaldığı tespit edildi. Katkısız örnekte olduğu gibi bu örnekte de tavlama sonrası tane boyutu ve yüzeydeki boşlukların yoğunluğu artmaktadır (Şekil 38.c) ve d)). Dolayısıyla tavlama sonrası x-ışını pik şiddetindeki azalmanın nedeni yüzeydeki boşlukların artması olabilir. $x = 0,05$ oranında Co katkılı $Cd_{0,95}Co_{0,05}S$ örneğinin x-ışını kırınım desenleri incelendiğinde tavlama ile h(002)/k(111) pikinin belirginleşerek şiddetinin arttığı görüldü (Şekil 34). Bu davranışın nedeni, $Cd_{0,95}Co_{0,05}S$ örneğinin tavlama sonrası tane boyutunun bir miktar artması ancak yüzeyde görülen boşlukların önemli ölçüde değişmemesi olabilir (Şekil 38.e) ve f)). Ayrıca tavlansadan önce yapının kısmen amorf olan fazdan tavlama sonrası kristal fazına geçmesi de pik şiddetini arttırmaktadır. $Cd_{0,925}Co_{0,075}S$ ve $Cd_{0,9}Co_{0,1}S$ örneklerinin x-ışını kırınım desenlerinde, $Cd_{0,95}Co_{0,05}S$ örneğindeki benzer olarak tavlama ile h(002)/k(111) pikinin belirginleşerek şiddetinin arttığı görüldü. Fakat bu değişimin $x = 0,05$ oranında Co katkılı örnekteki kadar fazla olmadığı belirlendi. Bu durum yüksek oranda Co katkısının kristallenme sürecini olumsuz etkilediğini göstermektedir. $Cd_{0,925}Co_{0,075}S$ ve $Cd_{0,9}Co_{0,1}S$ örneklerinin SEM görüntülerine (Şekil 38.g) ve j)) bakıldığında, örneklerin hem tane boyutunda hem de yüzeydeki boşluk yoğunluğunda önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla tavlama sonrası XRD'de görülen değişimin nedeni sadece örneklerin kısmen amorf yapıdan kristal yapıya hale gelmesi olabilir.



Şekil 37. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre c örgü parametreleri a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$

Farklı sıcaklıklarda tavlanan örneklerin c örgü parametreleri XRD verilerinden faydalanılarak belirlendi. Elde edilen değerler tüm örnekler için Şekil 37’de tavlama sıcaklığının fonksiyonu olarak çizildi. Katkısız CdS örneğinin örgü parametresinin 6,715 Å değerinden yaklaşık olarak 6,68 Å değerine azaldığı ve bu değerde sabit kaldığı Şekil 37.a’da görülmektedir. Benzer davranış $x = 0,025$ oranında Co katkılı örnekte görüldü. Bu örneğin örgü parametresinin yaklaşık 6,73 Å değerinden 6,66 Å değerine azaldığı ve bu değerde sabit kaldığı belirlendi.

Vegard yasasına göre, hegzagonal CoS’in c örgü parametresi (5,14 Å) hegzagonal CdS’in örgü parametresinden (6,72 Å) daha küçük olması nedeniyle Co katkılı örneklerde örgü parametresinin daha küçük olması beklenmektedir. Bu nedenle, $x = 0,025$ oranında Co katkılı örneğin örgü parametresinin tüm tavlama sıcaklıkları için katkısız örneğe göre daha küçük olması Co atomlarının örgü noktalarına yerleşmesinden kaynaklanabilir. $x = 0,05$ oranında Co katkılı örneğin örgü parametresinin tavlama sıcaklığına göre daha farklı davrandığı Şekil 37’den görülmektedir. Bu örneğin örgü parametresi ilk olarak yaklaşık 6,73 Å değerinden 6,65 Å değerine azaldı ve sonra tavlama sıcaklığı arttıkça 6,69 Å değerine arttı. Daha önce anlatıldığı gibi örgü parametresi c pek çok parametreye bağlıdır. Dolayısıyla $x = 0,05$ oranında Co katkılı örnek için tavlama sıcaklığı değiştikçe örgü parametresini etkileyen parametrelerin de değiştiği anlaşılmaktadır. $x = 0,075$ ve 0,1 oranında kobalt katkılı örneklerin örgü parametreleri 473 K’de tavlama sonrası değişmezken tavlama sıcaklığı arttıkça örgü parametreleri 6,73 Å değerine doğru arttı. Bu durum yüksek katkı oranları için örgü parametresini arttıran etkenlerin daha baskın olduğunu göstermektedir.



Şekil 38. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlamadan önceki [a), c), e), g), ı)] ve 673 K'de tavlandıktan sonraki [b), d), f), h), j)] taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen yüzey şekilleri $x = 0$ için a) ve b), $x = 0,025$ için c) ve d), $x = 0,05$ için e) ve f), $x = 0,075$ için g) ve h), $x = 0,1$ için ı) ve j)

$Cd_{1-x}Co_xS$ örneklerinin tavlansmadan önceki ve 673 K'de tavlandıktan sonraki SEM görüntüleri Şekil 38'da verildi. Katkısız ve $x = 0,025$ oranında Co katkılı örnekler için

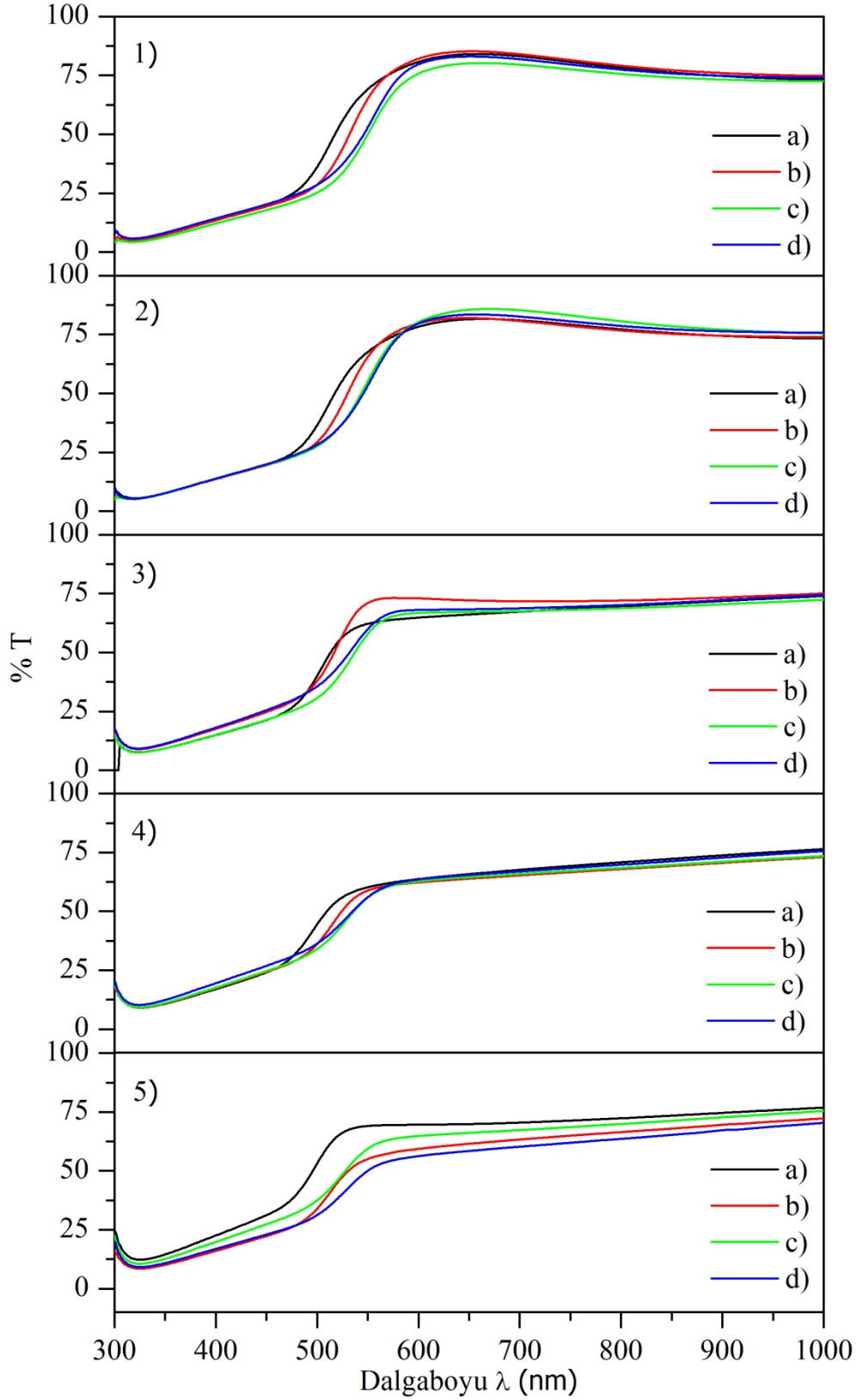
tavlama sonrası tane boyutu ile birlikte yüzeydeki boşluk yoğunluğunun da arttığı belirlendi. $x = 0,05$ oranında Co katkılı örnek için tavlama ile tane boyutu artarken yüzeydeki boşluk yoğunluğunda önemli bir değişimin olmadığı görüldü. Bununla birlikte $x = 0,025$ ve $0,05$ katkılı örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyde görülen küresel parçacık yoğunluğunun tavlama ile azaldığı tespit edildi. Daha yüksek katkılı $Cd_{0,925}Co_{0,075}S$ ve $Cd_{0,9}Co_{0,1}S$ örnekleri için hem tane boyutunun hem de yüzeydeki boşluk ve küresel parçacık yoğunluğunun önemli ölçüde değişmediği görüldü. Elde edilen sonuçlardan yüksek oranda Co katkılı ($x = 0,075$ ve $0,1$) CdS örneklerinin yüzey şekillerinin tavlama işleminden çok fazla etkilenmediği anlaşıldı.

Tablo 5. 673 K’de tavllanmış $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin Cd, S ve Co’nun atomik yüzdeleri ve $[Cd+Co]/S$ oranı

	% Cd	% Co	% S	$[Cd+Co]/S$
$x = 0$	55,65	-	44,35	1,25
$x = 0,025$	54,33	2,58	43,09	1,32
$x = 0,05$	53,15	4,32	42,53	1,35
$x = 0,075$	52,92	4,54	42,54	1,35
$x = 0,1$	51,71	5,99	42,30	1,36

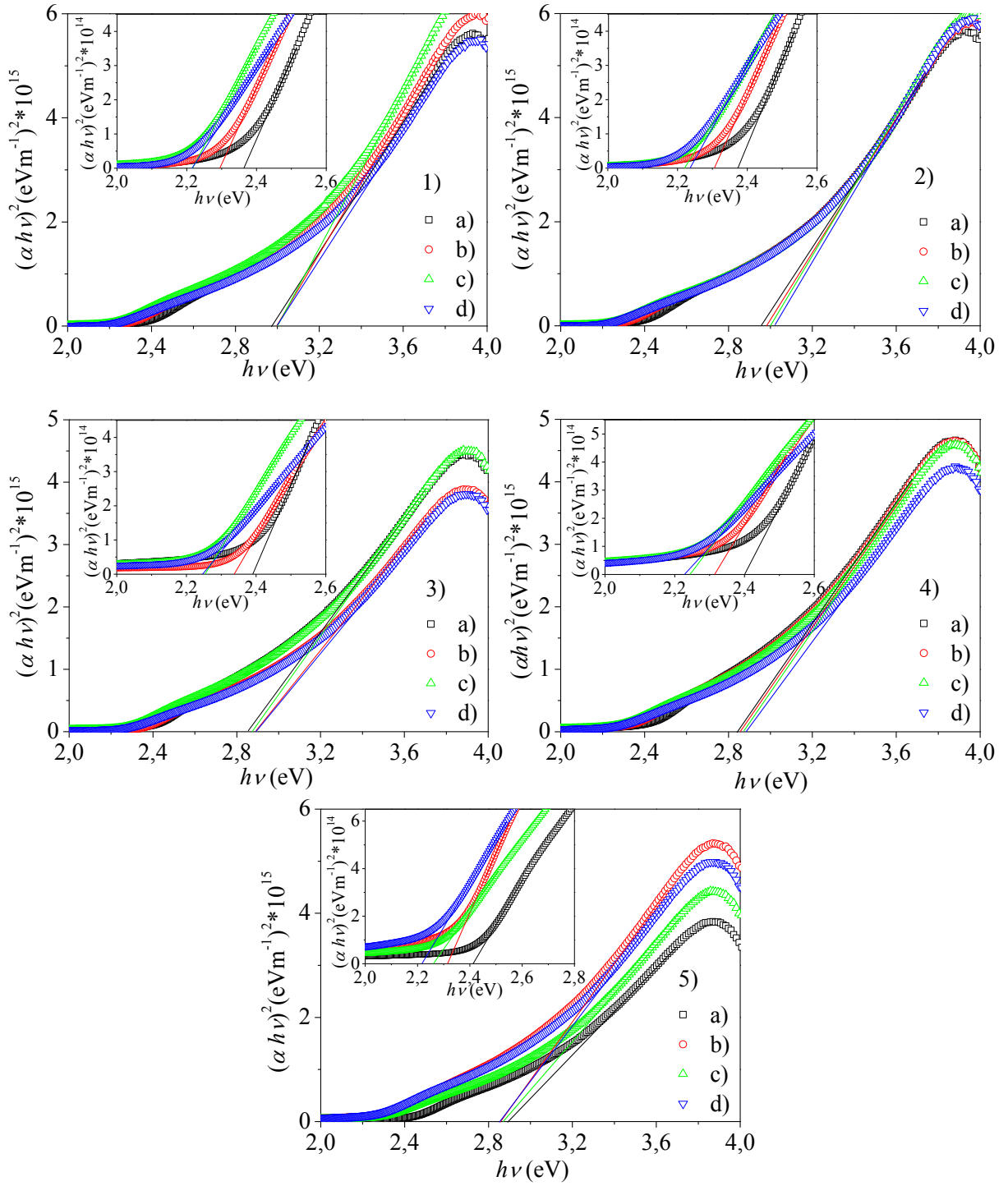
673 K’de tavllanmış $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örnekleri için Cd, S ve Co’nun atomik yüzdeleri ve $[Cd+Co]/S$ oranı Tablo 5’de listelendi. Tablo 3 ve Tablo 5 incelendiğinde $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sonrası $[Cd+Co]/S$ oranının azaldığı belirlendi. Bu durum tavlama işleminin örneklerin bileşim oranını iyileştirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte $[Cd+Co]/S$ oranında görülen azalmanın katkısız örnekte daha az olduğu belirlendi. Tavllanmış örneklerde, tavlananmışlara benzer olarak CdS içindeki Co miktarının çözeltideki ile aynı oranda artmadığı görüldü. Bu durum kobaltın CdS içinde çözünürlüğünün düşük olmasından kaynaklanabilir.

3.2.2. Optik Özelliklerin İncelenmesi



Şekil 39. 1) $x = 0$, 2) $x = 0,025$, 3) $x = 0,05$, 4) $x = 0,075$ ve 5) $x = 0,1$ katkılı örnekler için a) tavlanmamış, b) 473 K'de, c) 573 K'de ve de) 673 K'de tavlandıktan sonraki optik geçirgenlik eğrileri

Şekil 39, farklı sıcaklıklarda tavlanan $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örnekleri için optik geçirgenlik eğrilerini göstermektedir. Tüm örneklerde tavlama sonrası band kenarı geçişinin yüksek dalgalılarına doğru kaydığı görüldü. Ayrıca $x = 0,05$ katkı oranına kadar örneklerin band kenarı geçiş keskinliğinde önemli bir değişimin olmadığı $x = 0,05$ katkı oranından sonra tavlama ile band kenarı geçiş keskinliğinin azaldığı belirlendi. $x = 0,1$ katkılı örneğin dışında hem düşük hem de yüksek dalgalılarındaki optik geçirgenlik değerlerinde önemli bir değişim olmadı.

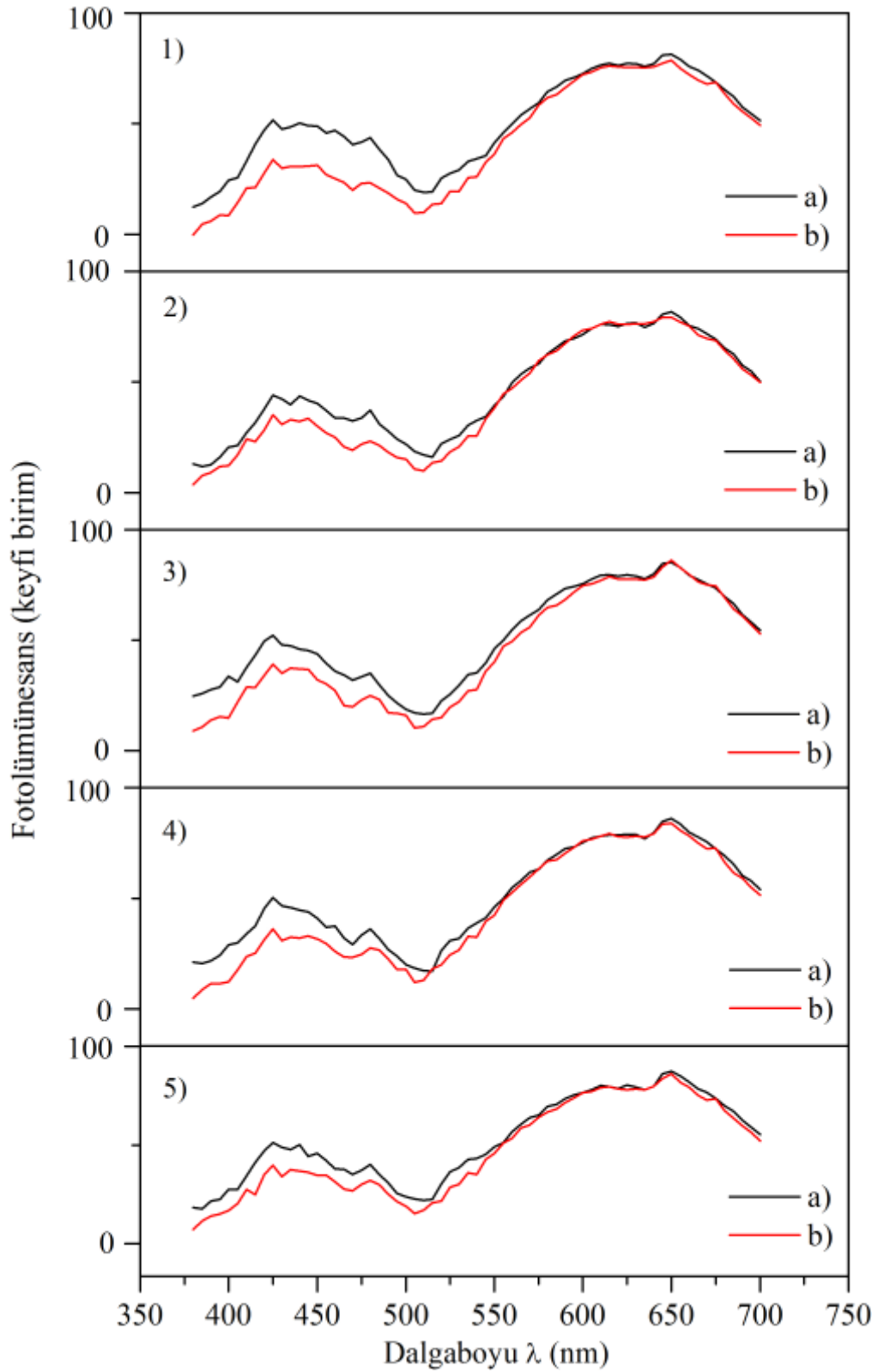


Şekil 40. 1) $x = 0$, 2) $x = 0,025$, 3) $x = 0,05$, 4) $x = 0,075$ ve 5) $x = 0,1$ katkılı örnekler için a) tavlanmamış, b) 473 K'de, c) 573 K'de ve de) 673 K'de tavlandıktan sonraki $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^2$ grafikleri

Tablo 6. Cd_{1-x}Co_xS ince film örneklerinin tavlama sonrası alt ve üst bant aralıkları

	Alt-bant aralığı (eV)			Üst-bant aralığı (eV)				
	473 K	573 K	673 K	473 K	573 K	673 K		
x = 0	2,3	2,29	2,22	2,22	2,97	3,00	3,00	3,00
x = 0,02	2,3	2,31	2,24	2,22	2,96	2,98	3,00	3,00
x = 0,05	2,3	2,34	2,26	2,24	2,86	2,89	2,88	2,89
x = 0,07	2,4	2,31	2,24	2,23	2,85	2,86	2,87	2,88
x = 0,1	2,4	2,31	2,36	2,22	2,88	2,86	2,87	2,86

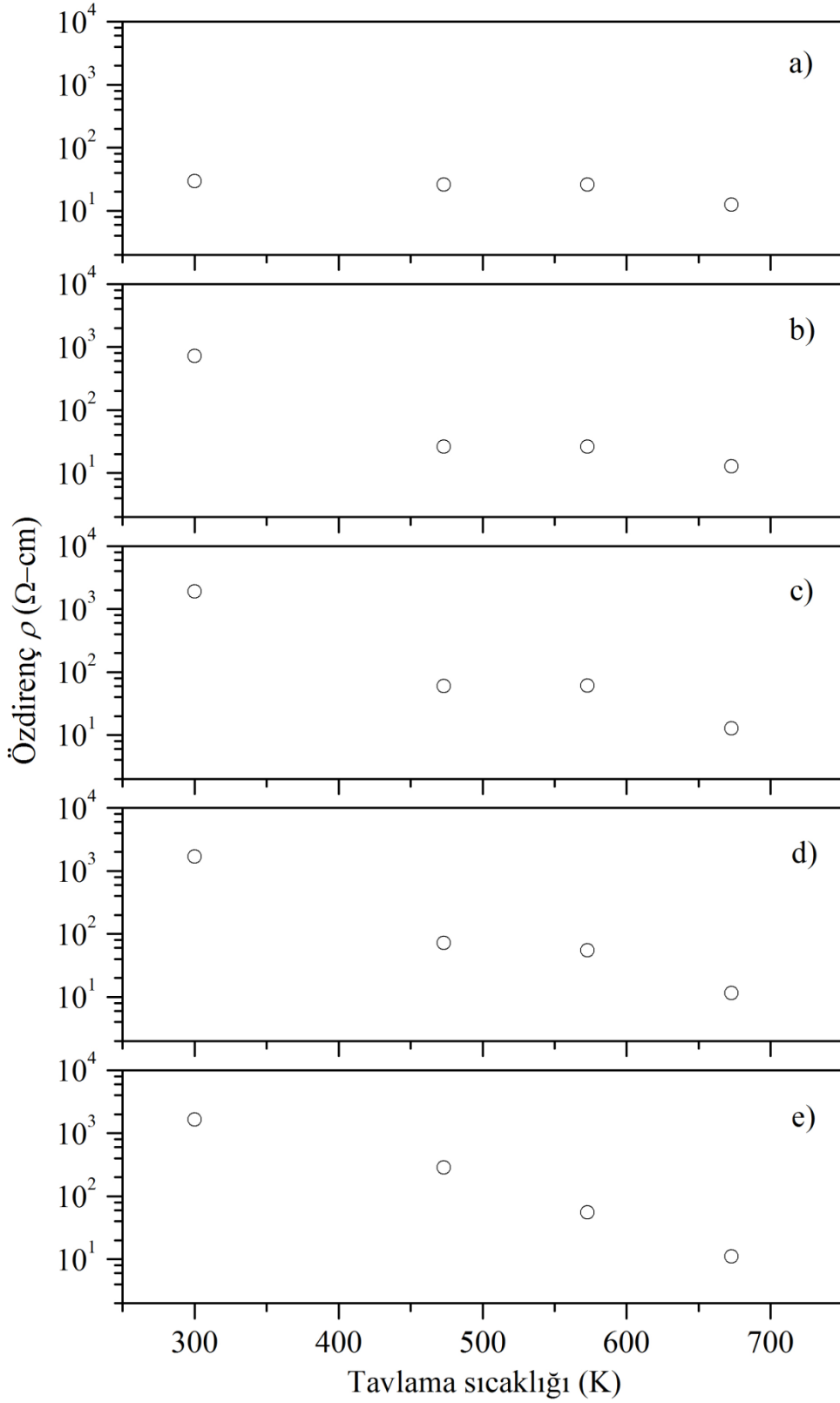
Şekil 40, farklı Co kaktı oranlarında üretilen ve değişik sıcaklıklarda tavlanan CdS ince film örnekler için geçirgenlik verilerinden faydalanılarak hesaplanan $(\alpha h\nu)^2$ 'nin foton enerjisine göre değişimini göstermektedir. Şekil 40'ın içindeki grafikler alt-bant aralığı için çizilen $(\alpha h\nu)^2$ 'ye karşı $h\nu$ grafiklerini göstermektedir. Bu şekil yardımıyla örneklerin alt-bant ve üst-bant aralıkları belirlendi. Elde edilen yasak enerji aralıklarının değerleri Tablo 6'da listelendi. Tavlama sıcaklığı arttıkça örneklerin alt-bant aralığının azaldığı belirlendi. Hegzagonal faza ait üst-bant aralığı ise, Cd_{0,9}Co_{0,1}S örneği dışında tavlama ile bir miktar arttı. Tablo 6'dan Cd_{0,9}Co_{0,1}S örneği için üst-bant aralığının azaldığı görüldü.



Şekil 41. 1) $x = 0$, 2) $x = 0,025$, 3) $x = 0,05$, 4) $x = 0,075$ ve 5) $x = 0,1$ katkılı örnekler için a) tavlınmamış ve b) 673 K'de tavlandıktan sonraki fotoluminesans grafikleri

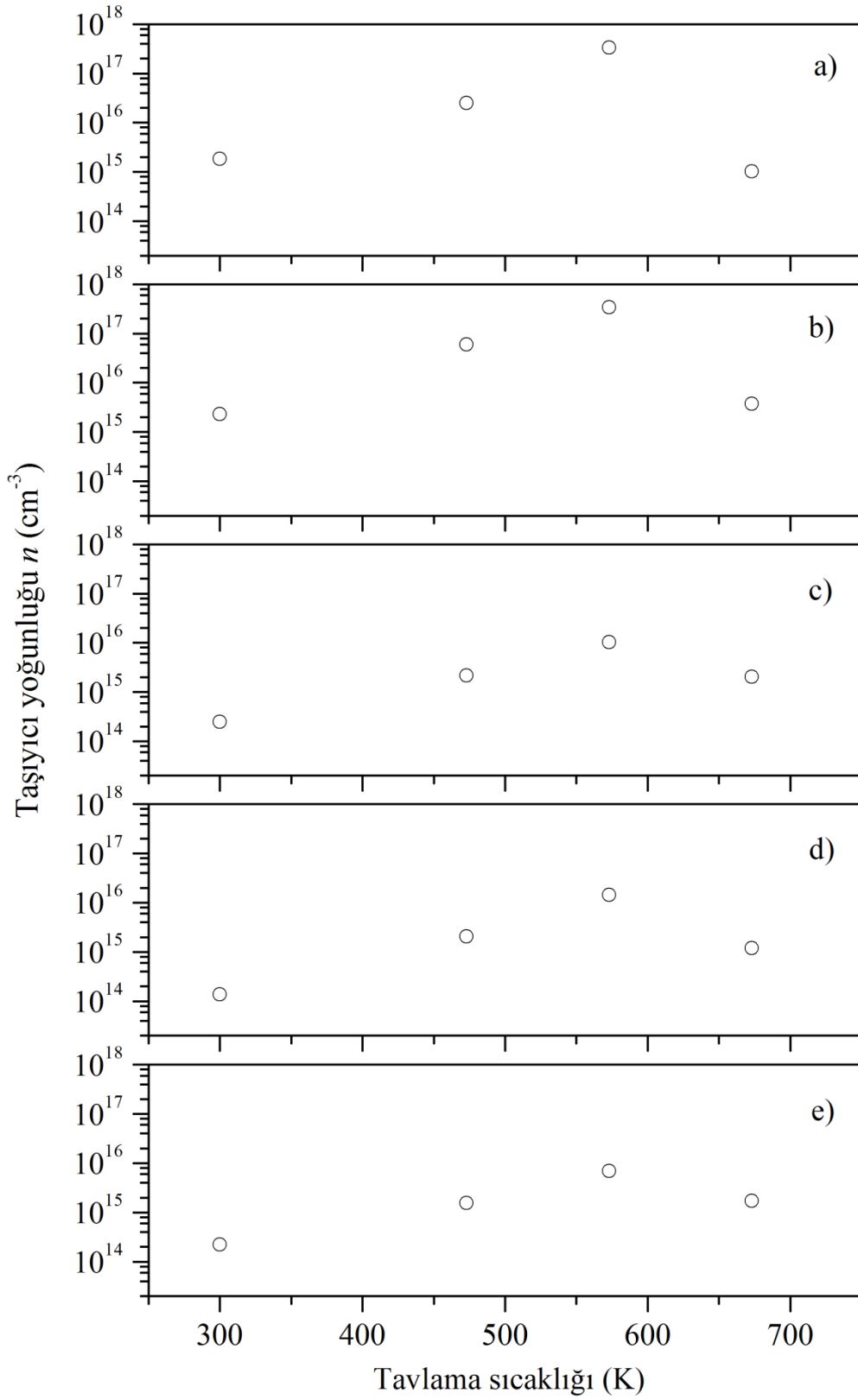
Şekil 41, $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlandıktan önceki ve 673 K'de tavlandıktan sonraki fotoluminesans ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Tüm örneklerde tavlama sonrası mavi, yeşil ve sarı bölgeler etrafındaki emisyonun azaldığı görüldü. Daha önce yapılan açıklamalarda 560 nm civarında olan sarı emisyonunu arayer konumlarındaki Cd (I_{Cd}) atomlarının oluşturduğu verici seviyelerinden değerlik bandına olan ışımali geçişler ile ve 480 nm civarında olan yeşil emisyonun arayer kükürt (I_S) atomları ile ilişkili olabileceği belirtildi. Mavi emisyon ise tuzaklanmış elektronların verici seviyesinden değerlik bandına veya bant'dan band'a olan emisyonundan kaynaklanabilmektedir. Tavlama sonrası elde edilen bu sonuçlar ince filmlerde I_{Cd} , I_S ve band arasındaki diğer verici türü kusurların azaldığını göstermektedir. Yapılan EDS analizlerinde tavlama sonrası tüm örneklerde $[Cd+Co]/S$ oranının küçülmesi bu durumu desteklemektedir.

3.2.3. Elektriksel Özelliklerin İncelenmesi



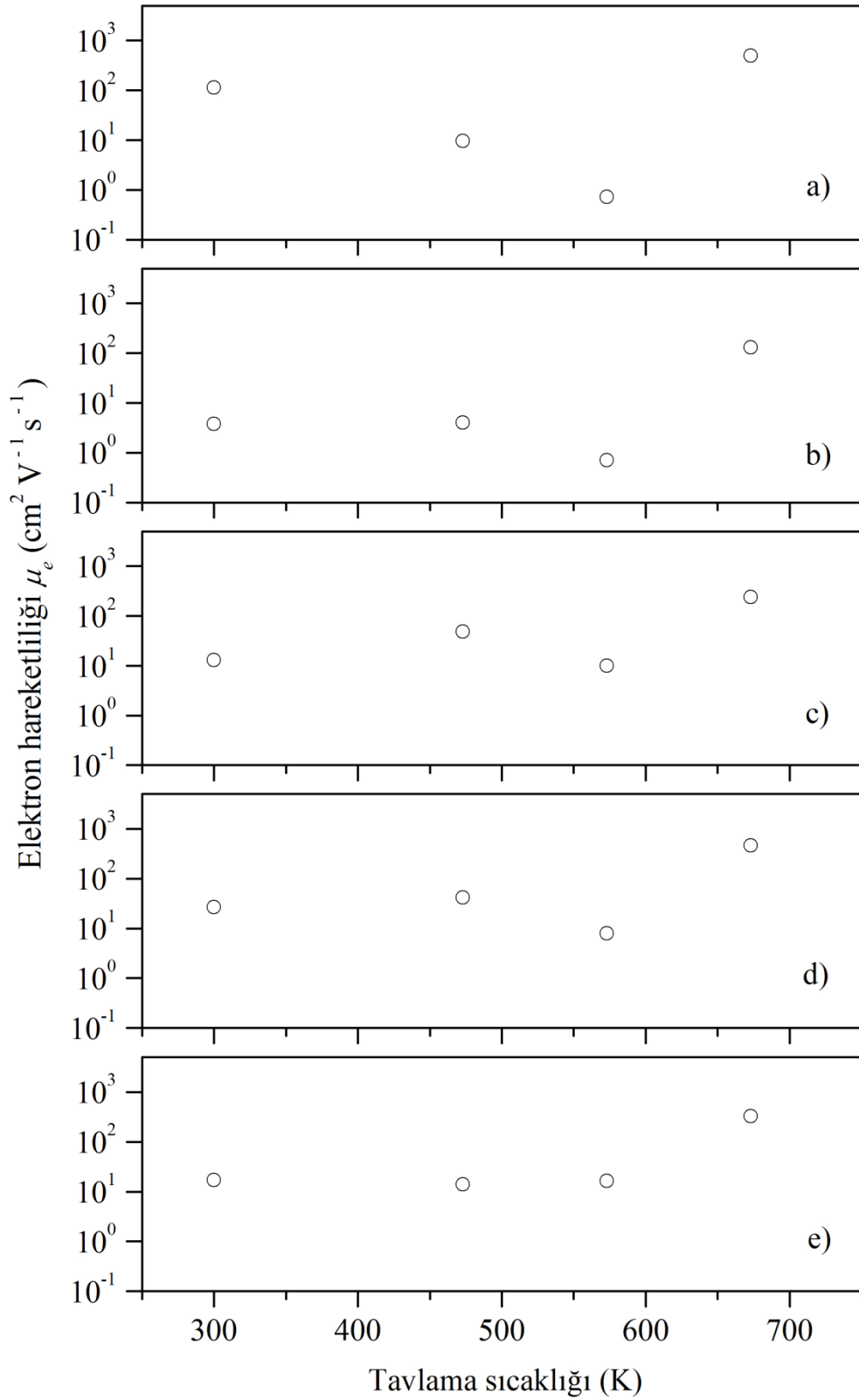
Şekil 42. $\text{Cd}_{1-x}\text{Co}_x\text{S}$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre logaritmik ölçekte öz direnç grafiği a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$

Farklı sıcaklıklarda tavlanan $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin elektriksel özellikleri incelendi. Şekil 42, tavlama sıcaklığına göre öz direnç değerlerini göstermektedir. Tavlama ile kobalt katkılı örneklerin öz direnci yaklaşık $10^3 \Omega\text{-cm}$ mertebesinde 11–13 $\Omega\text{-cm}$ civarına azaldı. Katkısız örneğin öz direncinin ise tavlama sonrası 29,5 $\Omega\text{-cm}$ değerinden 12,5 $\Omega\text{-cm}$ değerine azaldığı görüldü. Yarıiletken örneklerde elektron yoğunluğunun ve elektron hareketliliğinin artmasının öz direnci azalttığı bilinmektedir. Daha sonra anlatılacağı gibi $Cd_{1-x}Co_xS$ örneklerinde tavlama ile hem taşıyıcı yoğunluğunun hem de elektron hareketliliğinin artması öz direncin azalmasına neden olabilir. Ayrıca tane boyutunun ve kristallenmenin artması da öz direncin azalmasına neden olabilmektedir.



Şekil 43. $\text{Cd}_{1-x}\text{Co}_x\text{S}$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre logaritmik ölçekte taşıyıcı yoğunluğu grafiği a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$

$Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sonrası taşıyıcı yoğunluğunun grafiklerini Şekil 43 göstermektedir. Bu şekil incelendiğinde tüm örneklerin taşıyıcı yoğunluğunun tavlama ile ilk olarak bir miktar arttığı sonra tekrar azaldığı görülmektedir. Katkısız ve $x = 0,025$ oranında Co katkılı örnekler için 673 K'de tavlama sonrası elde edilen taşıyıcı yoğunluğu değerinin tavlamadan önceki değerine yakın olduğu diğer örneklerde ise 673 K'de tavlandıktan sonra elde edilen taşıyıcı yoğunluğu değerlerinin ilk değerden daha büyük olduğu belirlendi. Bu farkın nedeni yüksek oranda kobalt katkılı örneklerde tavlama ile hem kristallenmenin iyileşmesi hem de yüzeydeki boşluk yoğunluklarının azalması olabilir.



Şekil 44. $\text{Cd}_{1-x}\text{Co}_x\text{S}$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre logaritmik ölçekte elektron hareketliliği grafiği a) $x = 0$, b) $x = 0,025$, c) $x = 0,05$, d) $x = 0,075$ ve e) $x = 0,1$

Şekil 44, $Cd_{1-x}Co_xS$ ince film örneklerinin tavlama sıcaklığına göre elektron hareketliliğini göstermektedir. Katkısız CdS örneğinin elektron hareketliliğinin tavlama ile ilk olarak $114 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ değerinden $0,72 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ değerine azaldığı daha sonra tekrar artarak $492 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ değerine ulaştığı görüldü. Kobalt katkılı örneklerde ise 673 K 'e kadar olan tavlama sıcaklıkları için elektron hareketliliğinin önemli ölçüde değişmediği bu sıcaklıktan sonra ise arttığı belirlendi. Tüm örnekler için 673 K 'de tavlama sonrası elektron hareketliliğinde görülen artış, EDS ve fotoluminesans sonuçlarına göre kusur yoğunluğu azalmasından kaynaklanabilir. Buna ek olarak kısmen amorf yapıda olan yüksek oranda kobalt katkılı örneklerin tavlama sonrası kristallenmeleri de elektron hareketliliğini arttırabilir. Çünkü amorf yapılı malzemelerde yük taşıyıcıları daha fazla saçılırlar.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında kimyasal banyo yöntemi ile elde edilen $Cd_{1-x}Co_xS$ yarıiletken ince filmlere Co katkı miktarının ve tavlama sıcaklığının etkisi araştırıldı. Üretilen filmlerin kalınlıklarının Co katkısı ile 152 nm'den 130 nm'ye azaldığı belirlendi. Örneklerin x-ışını kırınım desenlerinde sadece tek bir pik görüldü. Bu pikin kübik yapıda (111) düzlemine hegzagonal yapıda ise (002) düzlemine ait olduğu belirlendi. Pik şiddetinin Co katkısı ile azaldığı ve $x = 0,05$ katkı oranından sonra bu pikin neredeyse kaybolduğu görüldü. Tavlama sonrası $Cd_{1-x}Co_xS$ örneklerinde herhangi yeni bir pik görülmedi. Bununla birlikte yüksek oranda Co katkılı örneklerde tavlama sonrası $h(002)/k(111)$ pikinin belirginleştiği tespit edildi. Örgü parametresi c 'nin Co katkısıyla c örgü parametresinin ilk olarak 6,715 Å'dan 6,730 Å'a arttığı, $x = 0,075$ katkı miktarından sonra azalmaya başladığı ve $x = 0,1$ katkı miktarı için 6,691 Å değerine ulaştığı tespit edildi. Tavlama sonrası $x = 0, 0,025$ ve $0,05$ oranında Co katkılı örnekler için örgü parametresi azalırken diğer örneklerin örgü parametreleri arttı.

Co katkılı örneklerin SEM görüntülerinde katkı miktarı arttıkça tane boyutunun yaklaşık 200 nm'den 100 nm değerine azaldığı görüldü. Co katkısıyla örneklerin yüzeyinde görülen boşluk yoğunluğunun azaldığı ve bununla birlikte örneklerin yüzeyi üzerinde bazı küresel parçacıkların oluştuğu tespit edildi. Tavlama sonrası $x = 0, 0,025$ ve $0,05$ oranında Co katkılı örneklerin tane boyutu artarken diğer örneklerin tane bptunda önemli bir değişim olmadığı görüldü.

Optik geçirgenlik eğrilerinden Co katkılı örneklerin yüksek dalgaboyu bölgesinde optik geçirgenliğin daha az, düşük dalgaboyu bölgesinde ise daha fazla olduğu belirlendi. Elde edilen filmlerde alt-bant aralığı ve üst-bant aralığı iki yasak bant aralığı gözlemlendi. Alt-bant aralığı Co katkısı ile 2,36 eV'tan 2,41 eV'a artmakta, üst-bant aralığının ise 2,97 eV'tan 2,87 eV'a azaldığı ve $x = 0,1$ katkı oranında 2,88 eV olduğu belirlendi.

Üretilen filmlerin öz direnç değerleri katkıya göre incelendiğinde, kobalt katkısı 30 $\Omega\text{-cm}$ 'den $1,7 \times 10^3 \Omega\text{-cm}$ 'ye arttığı belirlendi. Tavlama sonrası örneklerin öz direnci 11–13 $\Omega\text{-cm}$ civarına azaldı. Taşıyıcı yoğunluğu $x = 0$ ve $x = 0,025$ katkılı örneklerde değişmezken ($\sim 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) katkı oranının artışı ile taşıyıcı yoğunluğunun ($\sim 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$) azaldığı görüldü. Elektron hareketliliği incelendiğinde ilk olarak yaklaşık $114 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ değerinden $x = 0,025$ katkı oranında yaklaşık $4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ azalıp sonra tekrar $20 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 'e arttığı tespit edildi.

Bu tez çalışmasında yapılan incelemelere ek olarak aşağıdaki çalışmalar yapılabilir:

- i. $Cd_{1-x}Co_xS$ ince filmlerin manyetik davranış gösterip göstermediğinin araştırılması için gerekli manyetik ölçümler (M–H ve M–T) yapılmalıdır.
- ii. Co atomlarının CdS yapısında örgü noktalarına veya arayer konumlarına yerleşme durumlarının belirlenmesi için gerekli ölçümler (XPS analizi) yapılmalıdır.
- iii. Tamamen hegzagonal yapıya sahip $Cd_{1-x}Co_xS$ örneklerinin elde edilmesi için numunelerin farklı ortamlarda (argon, azot, kükürt gibi) tavlansak yapısal özellikleri incelenmelidir.

5. KAYNAKLAR

- Aguilar–Hernandez, J., Sastré–Hernández, J., Pérez, R.M., Puente, G.C., García, M.C. and López, J.O., 2006.** Photoluminescence studies of CdS thin films annealed in CdCl₂ atmosphere. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 6, 704–712.
- Ahmad, F.R., Yakimov, A., Davis, R.J., Her, J–H., Courneye, J.R. and Ayenseu N.M., 2013.** Effect of thermal annealing on the properties of cadmium sulfide deposited via chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 535, 166–170.
- Altosaar, M., Ernits, K., Krustok, J., Varema, T., Raudoja, J. and Mellikov, E., 2005.** Comparison of CdS films deposited from chemical baths containing different doping impurities. *Thin Solid Films*, 480–481, 147–150.
- Ariza–Calderon H., Lozada–Morales, R., Zelaya–Angel, O., Mendoza–Alvarez, J.G. and Banos, J., 1996.** Photoluminescence measurements in the phase transition region for CdS thin film. *J. Vac. Sci. Technol. A.*, 14, 4, 2480–2482.
- Ashour, A., ElKadry, N. and Mahmoud, S.A., 1995.** On the electrical and optical properties of CdS films thermally deposited by a modified source. *Thin Solid Films*, 269, 1–2 117–120.
- Bacaksız, E., Tomakin, M., Altunbaş, M., Parlak, M. and Çolakoğlu, T., 2008.** Structural, optical and magnetic properties of Cd_{1–x}Co_xS thin films prepared by spray pyrolysis. *Physica B*, 403, 19–20 3740–3745.
- Bouchenaki, C., Ullrich, B., Zielenger, J.P., Nguyen Cong, H. and Chartier, P., 1991.** Preparation characterization and bistable photoconductivity properties of thin CdS layers. *Journal of the Optical Society of America B*, 8, 3, 691–700.
- Cafer, T., 2000.** Yarıiletkenler. 29–36 s. *Katıların Elektronığı*, 2000, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım–Yayın merkezi, ISBN: 975–461–266–8, 233 s.
- Chandramohan, S., Kanjilal, A., Sarangi, S. N., Majumder, S., Sathyamoorthy, R. and Som, T., 2009.** Implantation–assisted Co–doped CdS thin films: Structural, optical, and vibrational properties. *Journal of Applied Physics*, 106, 063506
- Chandramohan, S., Kanjilal, A., Sarangi, S.N., Majumder, S., Sathyamoorthy, R., Hong, C.H. and Som, T., 2010.** Effect of substrate temperature on implantation doping of Co in CdS nanocrystalline thin films. *Nanoscale*, 2, 7, 1155–1159.
- Cruz, J.S., Pérez, R.C., Delgado, G.T. and Angel, O.Z., 2010.** CdS thin films doped with metal–organic salts using chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 518, 7, 1791–1795.
- Dietl, D., Ohno, H., Matsukura, F., Cibert, J. and Ferrand, F., 2000.** Zener model description of ferromagnetism in Zinc–Blende magnetic semiconductors. *Science*, 287, 5455, 1019–1022.

- Dikici, M., Mayıs 2012.** Enerji Bandları. 307–310 s. Katılmal Fiziği. Mayıs 2012 (2. Baskı), Serkan Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş., ISBN: 9789750219191, 424 s.
- Enriquez, J.P. and Mathew, X., 2003.** Influence of the thickness on structural, optical and electrical properties of chemical bath deposited CdS thin films. *Sol Energy Mater. Sol. Cells*, 76, 3, 313–322.
- Erkan, M.E. and Jin, M.H.C., 2012.** Effect of flow dynamics on the growth kinetics of CdS thin films in chemical bath deposition. *Materials Chemistry and Physics*, 133, 2–3, 779–783.
- Etemadfard, S., Ghazi, M.E. and Ehsan, M.H., 2011.** Study of structural and optical properties of thin films prepared by thermal evaporation method. *Chalcogenide Letters*, 8, 7, 411–417.
- Ezumi, H. and Keitoku, S., 1993.** Influence of pulse width on CdS film Prepared by YAG laser ablation. *Japanese Journal of Applied Physics*, 32, 1783–1786.
- Fangyang, L., Yanqing, L., Jun L., Wang, B., Sanshuang, K., Zhian, Z., Jie, L. and Yexiang, L., 2010.** Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 493, 1–2, 305–308.
- Feigelson, R.S., N'Diaye, A., Yin, Shaiw–Yih. and Bube, R.H., 1977.** II–VI Solid films by spray pyrolysis. *Journal of Applied Physics*, 48, 7, 3162–3164
- Ferekides, C.S., Marinskiy, D., Viswanathan, V., Tetali, B., Palekis, V., Selvaraj, P. and Morel, D.L., 2000.** High efficiency CSS CdTe solar cells. *Thin Solid Films*, 361–362, 520–526.
- Goto, F., Shirai, K. and Ichimura, M., 1998.** Defect reduction in electrochemically deposited CdS thin Films by annealing in O₂. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 50, 147–153.
- He, Z., Zhao, G., Weng, W., Du, P., Shen, G. and Han, G., 2005.** The difference between the transverse and in–plane resistivity of vacuum evaporated cadmium sulfide (CdS) thin films. *Vacuum*, 79, 1–2, 14–18.
- Herrero, J., Gutiérrez, M.T., Guillén, C., Doña, J.M., Martínez, M.A., Chaparro, A.M. and Bayón, R., 2000.** Photovoltaic windows by chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 361–362, 28–33.
- Hu, T., Zhang, M., Wang, S., Shi, Q., Cui, G. and Sun, S., 2011.** CdS:Co diluted magnetic semiconductor nanocrystals: synthesis and ferromagnetism study. *CrystEngComm*, 13, 5646–5649
- Jaber, A.Y., Alamri, S.N. and Aida, M.S., 2012.** CdS thin films growth by ammonia free chemical bath deposition technique. *Thin Solid Films*, 520, 9, 3485–3489.

- Ji, X., Li, H., Cheng, S., Wu, Z., Xie, Y., Dong, X. and Yan, P., 2011.** Growth and photoluminescence of CdS and CdS:Mn nanoribbons. *Materials Letters*, 65, 17–18, 2776–2778.
- Jinesh., K.B., Wilson, K.C., Thampi, S.V., Kartha, S.C., Vijayakumar, K.P., Abe, T. and Kashiwaba, Y., 2003.** How quantum confinement comes in chemically deposited CdS—A detailed XPS investigation. *Physica E*, 19, 303–308.
- Kamruzzaman, M., Luna, T R., Podder, J. and Anowar, M.G.M., 2012.** Synthesis and characterization of $Cd_{1-x}Co_xS$ thin films prepared using the spray pyrolysis technique. *Semiconductor Science And Tecnology*, 27, 3.
- Kamruzzaman, M., Luna, T. R. and Podder, J., 2011.** Elemental, structural and optical properties of $Cd_{1-x}Co_xS$ thin films prepared by spray pyrolysis technique. *Innovative Systems Design and Engineering*, 2, 5, 117–124.
- Khallaf, H., Oladeji, I.O., Chai, G. and Chow, L., 2008.** Characterization of CdS thin films grown by chemical bath deposition using four different cadmium sources. *Thin Solid Films*, 516, 7306–7312.
- Kwok, H.S., Zheng, J.P., Witanachchi, S., Mattoks, P., Shi, L., Ying, Q.Y., Wang, X.W. and Shaw, D.T., 1988.** Growth of highly oriented CdS thin films by laser-evaporation deposition. *Applied Physics Letters*, 52, 13, 1095–1097.
- Lee, J., 2004.** Raman scattering and photoluminescence analysis of B-doped CdS thin Films. *Thin Solid Films*, 451–452, 170–174.
- Liu, F., Lai, Y., Liu, J., Wang, B., Kuang, S., Zhang, Z., Li, J. and Liu. Y., 2010.** Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 493, 1–2, 305–308.
- Mahdi, M.A., Hassan, Z., Ng, S.S., Hassan, J.J. and Mohd Bakhori, S.K., 2012.** Structural and optical properties of nanocrystalline CdS thin films prepared using microwave-assisted chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 520, 3477–3484.
- Mane, S.T., Kamble, S.T., Lendave, S.A. and Deshmukh, L.P., 2012.** Aqueous alkaline chemical bath deposition of $Cd_{1-x}Co_xS$ thin films. *Materials Letters*, 67, 1, 373–375.
- Mariappan, R., Ponnuswamy, V., Ragavendar, M., Krishnamoorthi, D. and Sankar, C., 2012.** The effect of annealing temperature on structural and optical properties of undoped and Cu doped CdS thin films. *Optik*, 123, 12, 1098–1102.
- Metin, H. and Eren, R., 2003.** Annealing studies on grown CdS thin films. *Journal of Crystal Growth*, 258, 141–148.
- Muthusamy, M. and Muthukumaran, S., 2013.** Effect of deposition time on optical, structural and photoluminescence properties of $Cd_{0.6}Co_{0.4}S$ thin films by chemical bath deposition method. *J. Mater Sci: Mater Electron*, 24, 2277–2286.

- Oumous, H. and Hadiri, H., 2001.** Optical and electrical properties of annealed CdS thin films obtained from a chemical solution. *Thin Solid Films*, 386, 1, 87–90.
- Quevedo–Lopez, M.A., Ramirez–Bonb, R., Orozco–Teran, R.A., Mendoza-Gonzalez, O. ve Zelaya–Angel, O., 1999.** Effect of a CdS interlayer in thermochromism and photochromism of MoO₃ thin films. *Thin Solid Films*, 343–344, 202–205.
- Ramaiah, K.S., Pilkington, R.D. Hill, A.E., Tomlinson, R.D. and Bhatnagar, A.K., 2001.** Structural and optical investigations on CdS thin films grown by chemical bath technique. *Materials Chemistry and Physics*, 68, 1–3 , 22–30.
- Romeo, N., Bosio, A., Canevari, V. and Podesta, A., 2004.** Recent progress on CdTe/CdS thin film. solar cells. *Solar Energy*, 77, 795–801.
- 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 Materials & Solar Cells*, 62, 3, 275–293.
- Sathyamoorthy, R., Sudhagar, P., Balerna, A., Balasubramaniam, C., Bellucci, S., Popov, A.I. and Asokanf, K., 2010.** Surfactant–assisted synthesis of Cd_{1-x}Co_xS nanocluster alloys and their structural, optical and magnetic properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 493, 1–2, 240–245.
- Stoessel, C.H., (Stoessel, C.H., Bunshah, R.F. Prakash, S. and Fetterman, H.R., 1993.** Thin Film Processing of High–T_c Superconductors. *J. Superconductivity*, 6, 1–15.
- Thambidurai, M. Muthukumarasamy, N., Velauthapillai, D., Agilan, S. and Balasundaraprabhu, R., 2012.** Impedance spectroscopy and dielectric properties of cobalt doped CdS nanoparticles. *Powder Technology*, 217, 1–6.
- Tomakin M., 2012.** Structural and optical properties of ZnO and Al–doped ZnO microrods obtained by spray pyrolysis method using different solvents. *Superlattices and Microstructures*, 51, 3, 372–380.
- Tomakin, M., Altunbaş, M., Bacaksız, E. and Polat, İ., 2011.** Preparation and characterization of new window material CdS thin films at low substrate temperature (<300 K) with vacuum deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 14, 2, 120–127.
- Tomakin, M., Altunbaş, M., Bacaksız, E. and Çelik, Ş., 2012.** Current transport mechanism in CdS thin films prepared by vacuum evaporation method at substrate temperatures below room temperature. *Thin Solid Films*, 520, 7, 2532–2536.
- Ullrich, B., Sakai, H., Dushkina, N.M., Ezumi, H., Keitoku, S. and Kobayashi, T., 1998.** The Influence of the laser fluence on the transmission features of thin CdS films formed by laser ablation. *Microelectronic Engineering*, 43–44, 695–700.
- Ximello–Quiebras, J.N., Contreras–Puentes, G., Aguilar–Hernandez, J., Santana–Rodriguez, G. and Readigos, A.C., 2004.** Physical properties of chemical bath deposited CdS thin films. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 82, 1–2, 263–268.

Yu, Z., Du, J., , Guo, S., Zhang, J. and Matsumoto, Y., 2002. CoS thin films prepared with modified chemical bath deposition. *Thin Solid Films*, 415, 1–2, 173–176.

Zhou, L., Hu, X. and Wu, S., 2013. Effects of deposition temperature on the performance of CdS films with chemical bath deposition. *Surface & Coatings Technology*, 228, 1, 171–174.

ÖZGEÇMİŞ

30.08.1989 yılında Muğla'nın Fethiye ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kınıclar Köyü Akbük Mahallesi İlköğretim okulunda tamamladı. 2006 yılında lise eğitimini Fethiye- Kemer Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında Rize Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2011 yılında bölüm birincisi olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitimine başladı ve halen yüksek lisansına devam etmektedir.