T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ag KATKILI In_2S_3 YARIİLETKENİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ, OPTİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Reyhan BİÇAK

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2014

T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ag KATKILI In_2S_3 YARIİLETKENİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ, OPTİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Reyhan BİÇAK

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2014

Yrd. Doç. Dr. Maharram ZARBALİ danışmanlığında, Reyhan BİÇAK'ın hazırladığı "Ag Katkılı In_2S_3 Yarıiletkeninin Sol-Jel Yöntemi ile Üretilmesi, Optiksel ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi" konulu bu çalışma 11/07/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İMZA

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Maharram ZARBALİ .....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN.....

Üye: Prof. Dr. Ahmet KILIÇ.....

Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
3. KURAMSAL TEMELLER 8
3.1. Yarıiletkenlerin Genel Özellikleri 8
3.2. Yarıiletkenlerin Türleri 11
3.2.1. Saf Yarıiletkenler 11
3.2.2. Katkılı Yarıiletkenler 13
3.2.2.1. n Tipi Yarıiletken 13
3.2.2.2. p Tipi Yarıiletken 15
3.3. Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri 17
3.4. Yarıiletkenlerin Yasak Enerji Aralığına Etki Eden Faktörler 22
3.4.1. Sıcaklığın Yarıiletkenin Yasak Enerji Aralığına Etkisi 22
3.4.2. Yarıiletkenin Yasak Enerji Aralığına Kusur Konsantrasyonun Etkisi 24
3.5. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri 24
3.5.1. Yarıiletkenlerde Optik Soğurma 24
3.5.2. Temel Soğurma Olayı 25
3.5.3. Yarıiletkenlerde Band Geçişi 27
3.5.3.1. Direkt Band Geçişi 27
3.5.3.2. İndirekt Band Geçişi 29
3.6. İnce Film 32
4. MATERYAL ve YÖNTEM 33
4.1. Giriş 33
4.2. Üretim 33
4.2.1. Sol-jel Kaplama Sistemi 33
4.2.2. Altlıkların (taban malzemenin) Hazırlanması 34
4.2.3. Kaplama İşlemi 35
4.2.4. Tavlama İşlemi 36
4.2.5. In_2S_3 Çözeltilerinin Hazırlanması 37
4.2.6. Kaplama İşleminin Yapılması 39
4.3. Ölçümler 40
4.3.1. Kalınlık Ölçümü 40
4.3.2. X-Işını Kırınım Analizi (XRD) 42
4.3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 44
4.3.4. UV Spektrometresi 46
5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 47
5.1. Giriş 47
5.2. In_2S_3 ve Ag Katkılı In_2S_3 Yarıiletkenlerinin X-Işını Kırınım Analizi Sonuçları 47
5.3. In_2S_3 ve Ag Katkılı In_2S_3 Yarıiletkenlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları 57
5.4. In_2S_3 ve Ag Katkılı In_2S_3 Yarıiletkenlerinin Optik Özellikleri 61
5.4.1. Tavlama Sıcaklığının Optiksel Geçirgenliğe Etkisi 61
5.4.2. Gümüş Oranının Optiksel Geçirgenliğe Etkisi 65
5.4.3. Tavlama Sıcaklığının Optik Soğurma Üzerindeki Etkisi 68
5.4.4. Gümüş Oranının Optik Soğurma Üzerindeki Etkileri 72
5.4.5. Tavlama Sıcaklığının Optik Bant Aralığına Etkileri 74
5.4.6. Gümüş Oranının Optik Bant Aralığına Etkileri 79
6. SONUÇ ve ÖNERİLER 84
KAYNAKLAR 87
ÖZGEÇMİŞ 89

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ag KATKILI In_2S_3YARIİLETKENİNİN SOL-JEL YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ, OPTİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Reyhan BİÇAK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Maharram ZARBALİ
Yıl: 2014, Sayfa: 89

In_2S_3, III-VI grubu bir yarıiletken malzemedir. Geniş yasak enerji aralığına sahip olduğundan dolayı optoelektronikte ve fotovoltaik aygıt üretiminde oldukça önemlidir. Bu çalışmada sol-jel daldırma yöntemi ile In_2S_3 ve Ag katkılı In_2S_3 yarıiletkenleri oluşturuldu. Tavlama sıcaklığının ve gümüş (Ag) katkı oranlarının etkileri X-ışını kırınım analizi (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), UV spektrometresi ölçüm yöntemi ile incelendi. UV spektrometresi sonuçlarına göre tavlama sıcaklığı artıkça optik bant aralığı önce bir artış daha sonra azalma görülmektedir. In_2S_3 yarıiletkenlerinin tavlama sıcaklıklarına göre ortalama optik bant aralığı 2,66~ 2,89 eV aralığında belirlendi. Gümüş olanının değiştirilmesiyle optik bant aralığının azaldığı görülmektedir. Ag katkılı yarıiletkenlerin gümüş oranları artıkça ortalama optik bant aralığı 2.50 ~ 2,71 eV aralığında belirlendi. Tavlama sıcaklığını arttıkça filmlerin optiksel geçirgenliğinin arttığı gözlenmiştir. Ag katkı oranı artıkça filmlerin optiksel geçirgenliği % 1 gümüş katkılı yarıiletkende arttığı gözlenmiştir. Tavlama sıcaklığı arttıkça In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmalarında bir artış, optimum noktadan sonra optiksel soğurmanın azaldığı gözlendi. Gümüş ile katkılandırdığımız yarıiletkenlerin gümüş oranı artıkça optiksel soğurmanın önce arttığı daha sonra azaldığı görülmektedir.Sol-jel yöntemi ile hazırlanan In_2S_3 yarıiletkenlerinin ortalama kalınlıkları ~323 nm'dır.

ANAHTAR KELİMELER: Sol-jel yöntemi, Ag katkılı In_2S_3

ABSTRACT

Msc Thesis

INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Ag DOPED In_2S_3 SEMİCONDUCTOR PREPARED BY USİNG THE SOL-GEL METHOD

Reyhan BİÇAK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assist. Prof. Dr.Maharram ZARBALİ
Year:2014, Page: 89

In_2S_3 belongs to group III-VI semiconductors material. Because of In_2S_3 has a wide band gap, it is important in optoelectronics and photovoltaic device fabrication. In this study In_2S_3 semiconductors were prepared by sol-gel dip coating method. It was observed with UV spectrometre measure heat method, centementation heat and silver (Ag) addition effection, X-ray diffraction analysis (XRD), scaning electron microscope (SEM). According to UV spectrometer result, band gaps of the In_2S_3 semiconductors are between 2,66-2,89 eV. It was seen decreasing of optic band interval with changing that become silver. When silver addition half conductives increases its silver measure, average optic band interval is assinged by being 2.50- 2.71 eV. When centementation heat increases, it is seen increasing of optical permeability of films. When Ag addition measure increases, it was observed to increasing optical permeability of films % 1 silver addition half conductive also. When centementation heat increaser, in optical becoming cold of half conductive is observed decreasing of optical becoming cold is observed increasing after optimum point. When silver measure increased was seen the half conductive that we added with silver, the firstly optical becoming cold is increasing, lastly it is decreasing average thickness. In_2S_3 half conductive that prepared with sol-gel method is 323 nm.

KEY WORDS: Sol-gel method, Ag doped In_2S_3

TEŞEKKÜR

Danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Maharram ZARBALİ ‘a yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Bütün üniversite eğitiminde maddi manevi desteğini esirgemeyen bilgisiyle her zaman bana ışık tutup beni cesaretlendiren hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selami PALAZ’ a şükranlarımı sunarım. Laboratuar çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında ve bu tez çalışmamda yanımda olup beni destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Metal (a) Yarıiletken (b) ve Yalıtkan (c) bant diyagramı 10
Şekil 3.2. Silisyum kristalinin arsenik atomuyla (a) ve bor atomuyla (b) katkılandırılması 13
Şekil 3.3. Enerji bant diyagramında donör enerji seviyesinin gösterimi 14
Şekil 3.4. Enerji bant diyagramında akseptör enerji seviyesinin gösterimi 16
Şekil 3.5. a) saf yarıiletken; b) n-tipi yarıiletken; c) p-tipi yarıiletken gösterimi 17
Şekil 3.6. Yarıiletkenlerde temel absorpsiyon spektrumu 26
Şekil.3.7. Bir yarıiletkende direkt bant geçişinin şematik gösterimi 28
Şekil.3.8. Bir yarıiletkende indirekt band geçişinin şematik gösterimi 30
Şekil 4.1. PTL-HT-Dip Coater cihazı 34
Şekil 4.2. PTL-HT-Dip Coater cihazında cam altlığın takıldığı bölüm 35
Şekil 4.3. Tavlama işlemi için kullanılan yatay fırın 36
Şekil 4.4. Welch Rietschle Thomas Cihazı 37
Şekil 4.5. Bandelin Sonorex cihazı (ultrasonik banyo) 39
Şekil 4.6. J.A. WoollamCo.,Inc. Spektroskopik Elipsometre 40
Şekil 4.7. Bragg yansımasının gösterimi 42
Şekil 4.8. Rikagu Ultima III x-ışını difraktometresinde 44
Şekil 4.9. ZeissEvo 50 taramalı elektron mikroskobunu (SEM) 45
Şekil 4.10. Perkin Elmer 45 UV-VIS spektrometresi 46
Şekil 5.1. Saf In_2S_3-1 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a)300^0 C, (b)350^0 C, (c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 48
Şekil 5.2. Ag-In_2S_3- 2 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C,(c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 49
Şekil 5.3. Ag-In_2S_3-3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C,(c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 50
Şekil 5.4. Ag-In_2S_3-4 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C,(c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 51
Şekil 5.5. Ag-In_2S_3-5 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C,(c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 52
Şekil 5.6. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 53
Şekil 5.7. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 54
Şekil 5.8. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 55
Şekil 5.9. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 56
Şekil 5.10. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) 1004 kez büyütülmüş, (b) 2509 kez büyütülmüş filmler 57
Şekil 5.11. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-2 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 0,5 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 0,5 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler 58
Şekil 5.12. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-3 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 1 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 1 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler 58
Şekil 5.13. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-4 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 1,5 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 1,5 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler 59
Şekil 5.14. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-5 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 2 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 2 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler 60
Şekil 5.15. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 61
Şekil 5.16. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-2 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 62
Şekil 5.17. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-3 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 62

Şekil 5.18. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-4 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 63
Şekil 5.19. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 64
Şekil 5.20. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (300^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 65
Şekil 5.21. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (350^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 66
Şekil 5.22. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (400^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 66
Şekil 5.23. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (450^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 67
Şekil 5.24. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 68
Şekil 5.25. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-2 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 69
Şekil 5.26. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-3 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 69
Şekil 5.27. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-4 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 70
Şekil 5.28. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 71
Şekil 5.29. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (300^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 72
Şekil 5.30. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (350^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 73
Şekil 5.31. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (400^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 73
Şekil 5.32. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (450^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 74
Şekil 5.33. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 75
Şekil 5.34. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-2 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 76
Şekil 5.35. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-3 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 77
Şekil 5.36. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-4 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 78
Şekil 5.37. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-5 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler 79
Şekil 5.38. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (300^0 C), (a)% 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 80
Şekil 5.39. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (350^0 C), (a)% 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 81
Şekil 5.40. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (400^0 C), (a)% 0 Ag katkılı, (b)% 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 82
Şekil 5.41. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (450^0 C), (a)% 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler 83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Bazı element ve bileşik yarıiletkenler (Sze, 1985) 9
Çizelge 4.1. Saf In_2S_3 (In_2S_3-1) çözeltisinde kullanılan kimyasallar 37
Çizelge 4.2. In_2S_3 Çözeltilerinde kullanılan kimsayalların miktarı 37
Çizelge 4.3. Ag-In_2S_3 çözeltisinde kullanılan kimyasallar 38
Çizelge 4.4. Ag-In_2S_3 çözeltisinde kullanılan gümüş oranları 38
Çizelge 5.1. In_2S_3-1 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları 75
Çizelge 5.2. Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları 76
Çizelge 5.3. Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları 77
Çizelge 5.4. Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları 78
Çizelge 5.5. Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları 79
Çizelge 5.6. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları (300^0 C tavlanmış) 80
Çizelge 5.7. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları (350^0 C tavlanmış) 81
Çizelge 5.8. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları (400^0 C tavlanmış) 82
Çizelge 5.9. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları (450^0 C tavlanmış) 83

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketiminin hızla artmasına paralel olarak alışıla gelen enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükeneceği bilimsel bulgularla ispatlanmış bir gerçektir. Enerji bugün dünya ülkelerinin en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Tükenmekte olan doğal enerji kaynakları nedeniyle dünya yeni enerji kaynakları arayışı içindedir. Bilindiği gibi kömür ve petrol gibi enerji kaynaklarının ömürleri sınırlıdır. Ayrıca; fosil yakıtların kullanımından dolayı her gün enerji kaynaklı küresel ısınmanın arttığı da bir gerçektir. Elde edilen veriler ışığında enerji ihtiyacımız için alternatif çözümler aranmaktadır.

Özellikle 70'li yıllardaki petrol şokundan sonra, enerji kaynağının, ulusal kalkınma açısından taşıdığı kritik önem, daha açık bir biçimde hissedilmiştir. Çünkü enerji; sanayileşmenin, sosyal ve ekonomik gelişmenin önemli girdilerinden birisidir. Bu nedenle, sanayileşen ve gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçları da sürekli olarak artış göstermektedir. Böylece günümüzde enerji; üzerinde en çok durulan konulardan biri haline gelmiştir.

Fosil vb. yakıtların çevreye verdikleri zararlardan ve kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı alternatif temiz enerji kaynakları ve enerji türleri araştırılmaktadır. Bu enerjilertürlerihidroelelektrik enerji, nükleer enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi şeklinde sıralanabilir.

Hidroelektrik enejisinin kurulumu aşamasında doğaya ve tarihi dokulara zarar vermektedir. Rüzgar enerjisiden sadece belli bölgelerde faydalanılmaktadır. Nükleer enerji çok yüksek enerjisinden dolayı cazip görünsede radyoaktif yan ürünleri ve santrallerinde meydana gelecek bir kaza sonucu canlılara ve bitkilere vereceği zarardan dolayı pek tercih edilmemektedir.
Sıraladığımız enerji kaynakları arasında temiz, çevreye ve canlılara zarar vermeyen güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin en önemli özelliği tükenmeyen, sürekli bir enerji

kaynağı olmasıdır. Güneş enerjisinin bu özelliğinden dolayı yapılan bilimsel çalışamaların çoğu güneş enerjisine yöneliktir. Bu durumda güneş enerjisinden yararlanmayı gündeme getirmiş ve güneş pili üzerinde yapılan çalışmalar ince film araştırmalarını geliştirmiştir.

Güneş pillerinde geniş kullanım alanı bulan yarıiletken filmler üzerindeki çalışmalar artmıştır. Bugünün teknolojisinde önemli bir yere sahip olan ince filmler çok eski yıllardan günümüze çeşitli yöntemlerle elde edilmekteydi. İlk önceleri metal ince filmleri cam ve seramikler üzerinde dekorasyon olarak kullanılmıştır. Daha sonraları gümüş tuzları kullanılarak cam yüzeyler üzerinde gümüş filmleri elde edilmiştir. 19. yüzyıldan itibaren artan bilimsel çalışmalarla beraber ince film elde etme yöntemleri çoğalmıştır.

Güneş enerjisi çok farklı alanlarda kullanılmasına rağmen en önemli özelliği elektrik üretiminde kullanılabilinmesidir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizin de özellikle elektrik enerjisi talebi yıllar itibari ile artış göstermektedir. Bilimin ilerlemesi ve teknolojideki baş döndürücü hızdaki gelişmeler enerji sorununu da beraberinde getirmiştir. Enerjinin optimum değerlerde kullanma zorunluluğu çalışmaları değişik enerji kaynakları bulmaya zorlamaktadır. Malzemelerde yenilikler ve keşifler, yüksek kalitede malzemelerin üretilmesine odaklanmaktadır. Malzeme özelliklerini ve performansını belirleyen parametreler arasında, sadece bileşim değil, uygun üretim yöntemleri ile yapı ve/veya mikro yapının kontrolü de yer almaktadır. Teknolojik uygulamalarda yarıiletkenlerin önemi oldukça büyüktür. Elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, yarıiletkenlerin özelliklerinin daha iyi bilinmesi ile mümkün olmuştur ve böylece teknolojik gelişmeler hız kazanmıştır. İnce filmler, hacimli malzemelerin yüzeyine kaplandığında onlara tek başına sağlayamadıkları birçok özellik kazandırdığından optik, elektronik, manyetik, kimyasal ve mekanik alanlarını ilgilendiren endüstrilerde ileri teknoloji malzemeleri olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca çok katmanlı üretildiklerinde tamamen farklı bir şekilde, yeni malzemeler gibi davrandıklarından elektronik devre elemanı olarak kullanılabilirler. In_2S_3, CdS ve üçlü bileşikler yarıiletken ince filmler, gaz sensörleri, ışık yayan diyotlar, optik fiberler ve fotovotaik güneş pilleri için uygun özelliklere

sahip olduğundan dolayı son yıllarda oldukça cazip hale gelmiştir. Bu yarıiletken ince filmlerin ilginç karakteristikleri ve ilgili uygulamaları tanecik büyüklüğü, kristalleşme, yasak enerji aralığı ve özdirenç gibi birkaç faktör nedeniyle etkin hale gelmektedir. Parçacık büyüklüğünün değişmesi yarıiletkenin elektrik özellikle de yasak enerji aralığına etki etmektedir. Son yıllarda çeşitli yöntemlerle elde edilen yarıiletken ince filmler, katıların yapısı ve fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Başta güneş enerjisi sistemleri olmak üzere, elektronik devre elemanlarında kullanılan yarıiletken ince filmlerin optik, elektrik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi teknoloji açısından büyük önem arz etmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İndiyum sülfür In_2S_3 optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı farklı alanlarda yaygın olarak kullanılan önemli yarıiletkenlerdir. İndiyum (In) kolaylıkla bulunabilen, düşük erime sıcaklığına sahip III-A grubu elementidir. Atom numarası 49, atom ağırlığı 114,818 g/mol'dür. In gümüş-beyaz renkte yumuşak bir metal olup kadmiyum gibi kolaylıkla kesilebilir, genellikle alaşımlarda kullanılan bir metaldir. Sülfür (S) VI-A grubu elementi olup, atom numarası 16, atom ağırlığı 32 g/mol'dür.

In_2S_3 III-VI grubu yeşil renkte bir yarıiletken malzeme olup erime noktası 1050^0 C, yoğunluğu 4,45 g/cm^3'tür. In_2S_3 2.8 eV yasak enerji aralığına, yüksek soğurma katsayısına sahip ve son yıllarda kadmiyum sülfür (CdS) ile yapılan güneş pili uygulamalarında kadmiyum (Cd) zehirli olmasından dolayı, CdS'ün yerine tercih edilen bir yarıiletken malzemedir. Literatürde Ag katkılı In_2S_3 bulunmasına rağmen Sol-jel yöntemi ile Ag katkılı In_2S_3 ince filmleri ilk defa bu çalışmada yapılmış olup literatür taraması bulunmamaktadır. In_2S_3 ince filmleri ile ilgili literatür taraması aşağıda verilmiştir.

Barreau et al.(2000) In_2S_3 yarıiletken ince filmlerini fiziksel buharlaştırma metoduyla cam, SnO_2, In_2O_3, ve ZnO taban malzeme üzerine büyüttüler. Bu filmlerin yasak enerji aralığını 2.8 eV olarak buldular ve oksijen gazı altında 673 K de yapılan tavlama sonucunda yasak enerji aralığının oksijenin varlığından dolayı 2.9 eV'a arttığını belirttiler. Bhira et al.(2000) β-In_2S_3 yarıiletken ince filmlerini kimyasal püskürtme tekniğini kullanarak büyüttüler. Yaptıkları soğurma ölçümleri neticesinde yasak enerji aralığını 2.1 eV olarak hesapladılar. N. Barreau et al. (2001) In_2S_3 ince filmlerini vakum altında buharlaştırma tekniği ile büyüttüler. Büyütülen bu filmleri sırasıyla 623, 723 K sıcaklıklarında tavladılar ve direk yasak enerji aralığını yaklaşık olarak 2.8 eV buldular. Bulunan bu yasak enerji aralığının, β-In_2S_3 tek kristalinin

yasak enerji aralığından yüksek olmasını oksijenin varlığına dayandırdılar. Yasak enerji aralığının ve kırıcılık indisinin (n) tavlama sıcaklığından bağımsız olduğunu ifade ettiler. Elde edilen bu filmlerin optik özelliklerinden dolayı CdS, Cu(In, Ga)Se_2 güneş pilleri için çok uygun bir malzeme olacağını ifade ettiler.

Seyam (2001) İndiyum sülfür ince filmlerini 473 K taban sıcaklığındaki quartz ve cam taban malzemeler üzerine termal buharlaştırma tekniği ile büyüttü. Filmlerim amorf yapıda ve indirek yasak enerji aralığına (1.94 eV) sahip olduğunu ifade ettiler. Theresa et al.(2003) İndiyum sülfür ince filmlerini kiyasal püskürtme tekniğini kullanarak elde ettiler. Numuneleri farklı taban malzemeler üzerine farklı In/S oranları için büyüttüler. Aldıkları soğurma ölçümleri neticesinde yasak enerji aralığının In/S aranı 2/1 den 2/8'e değişiyorken 2.81 eV'den 2.64 eV'ye azaldığını tespit ettiler ve bunun sebebini In/S oranı az iken oksijenin fazlaca etkili olmasından dolayı olduğu yorumunu yaptılar. Pahtan et al. (2005) In_2S_3 ince filmlerini SILAR metoduyla cam yüzeyi üzerine büyüttüler. Soğurma ölçümleri ile yasak enerji aralığı değerini tespit ettiler. Yapılan bu ölçümler sonucunda yasak enerji aralığı 2.7 eV olarak buldular. Timoumini et al.(2005) In_2S_3 yarıiletken ince filmlerini termal buharlaştırma tekniğini kullanarak cam taban malzemesi üzerine büyüttüler. Yaptıkları optik ölçümleri sonunda yasak enerji aralığını 2.0 eV ile 2.2 eV arasında buldular. Calixto-rodriguez et al. (2005) Kimyasal püskürtme tekniği ile büyüttükleri İndiyum Sülfür ince filmlerinin fotovoltaik uygulamalarda kullanılabilirliğini araştırmak için bu filmlerin optoelektronik özelliklerini araştırdılar. X-ışını kırınım verilerinden taban malzeme sıcaklığının kristalleşmeyi etkilediğini ve In/S=1/8 ve taban malzeme sıcaklığı 250^0 C den 400^0 C' ye artıyorken yasak enerji aralığı (Eg) nin 2.2 eV den 2.67 eV a arttığını tespit ettiler. Bununla birlikte In/S=1 ve taban malzeme sıcaklığı 450^0 C iken filmlerin n-tipi elektriksel iletkenlik gösterdiğini, karanlıkta alınan elektriksel iletkenliğin 1 $(\Omega cm)^{-1}$ ve yasak enerji aralığının 2.04 eV olduğunu buldular ve böylece büyütülen bu filmlerin bu şartlar altında fotovoltaik heteroeklem cihazlar için pencere malzemesi olarak büyük bir kullanım potansiyeline sahip olduklarını belirttiler. Yoosuf et al. (2005) β-In_2S_3 ince filmlerini H_2S gazı

altında metalik indiyumun buharlaştırılmasıyla elde ettiler. Sülfürizasyon zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak bu filmlerde yapısal, optik ve elektriksel özellikleri incelediler. Sülfürizasyon sıcaklığı ve 300^0 C'den 600^0 C'ye artıyorken yasak enerjiaralığının 1.9 eV dan 2.5 eV'a artığını tespit ettiler. Jayakrishnan et al. (2005) yaptıkları çalışmada kimyasal püskürtme tekniği ile büyütülen β-In_2S_3 yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji aralığını 2.67 eV buldular. Shazly et al. (1998) termal buharlaştırma yöntemi ile elde ettikleri In_2S_3 ince filmlerinin kristal özellik göstermedikleri ancak 423 K'de tavlandıktan sonra tetragonal yapıda kristalleştiklerini gösterdiler. Kamoun et al. (1998) InS ince filmlerin $y=[In^{+3}] / [S^{-2}]$ olmak üzere y oranını 0.43 ten 0.6 ye değiştirerek büyüttükleri filmlerden aldıkları X-ışını kırınımı sonucunda filmlerin polikristal şeklinde kristalleştiğini ve y oranı artıkça kırıcılık indisi (n) ve soğurma katsayısı (α) nın azaldığını tespit ettiler. En iyi kristalleşmenin y=0.6 oranında bununda β-In_2S_3 bileşeni olduğunu ve (220) doğrultusunda kübik yapıda kristalleştiğini tespit ettiler. Bhira et al. (2000) β-In_2S_3 yarıiletken ince filmlerini kimyasal püskürtme tekniğini kullanarak büyüttüler. X-ışını kırınımı ve yüzey taramalı elektron mikroskobu analizi sonucunda filmlerin en iyi (400) düzleminden yansıma verdiğini ve yüzeyin son derece homojen bir yapıya sahip olduğunu belirttiler. Timoumini et al. (2005) ve Barreau et al. (2000) sırasıyla In_2S_3 ince filmleri üzerinde yaptıkları X-ışını kırınımı ölçümleri sonucunda filmlerin (109), (206), (306) ve (103) düzlemlerinden yansıma verdiklerini ve böylece filmlerin kübik yapıda kristalleştiğini ifade ettiler. 250^0 C tavlandıktan sonra en iyi yönelimin (109) düzleminde olduğunu belirttiler ve (109) düzlemlerinden yansıma elde ettiler ve bu filmlerin kübik yapıda kristalleştiğini ifade ettiler. Bütün filmlerin yüzey taramalı elektron mikroskobu ile resmi çekildi ve her bir filmin yüzeyinin son derece homojen olduğu ve herhengi bir çatlak veya kırığa rastlanmadığını gözlemlediler. Bhira et al. (2000) β-In_2S_3 yarıiletken ince filmlerini kimyasal püskürtme tekniğini kullanarak büyüttüler. X-ışını kırınımı ve yüzey taramalı elektron mikroskobu analizi sonucunda filmlerin en iyi (400) düzleminden yansıma verdiğini ve yüzeyin son derece homojen bir yapıya sahip olduğunu belirttiler. Chen et al. (2005) X-ışını kırınım verileri sonucu In_2S_3 ince filmlerinin a=7.615 A^0 ve c=32.322 A^0 örgü parametrelerine sahip olduğunu ve tetragonal yapıda kristalleştiklerini tespit ettiler. Sandoval-Paz et al.(2005) büyüttükleri In_2S_3

filmlerinin optik ve yapısal özelliklerini tavlama sıcaklığına bağlı olarak araştırdılar. Deneysel sonuçların büyütülen filmlerin hem karışık kübik α hem de β kristal fazlarını gösterdiğini çok az filmlerinde tetragonal yapıda olduklarını tespit ettiler.

Tavlama işleminin kübik yapıya tetragonal yapıya dönüştürdüğünü, direk ve indirek olmak üzere iki tane yasak enerji aralığının olduğunu gösterdiler. Jayakrishnan et al. (2005) yaptıkları çalışmada kimyasal püskürtme tekniği ile büyütülen β-In_2S_3 yarıiletken ince filmlerinde yaptıkları X-ışını kırınımı sonucunda filmlerin (220) düzleminden yansıma vediklerini tespit ettiler. Asenjo et al. (2005) In_2S_3 yarıiletken ince filmlerini Molibden taban malzeme üzerine elektrokimyasal yolla büyüttüler. Filmlerin sarımtırak bir renkte olduklarını ve X-ışını kırınım verilerinin tetragonal yapıda kristalleştiklerini tespit ettiler. H.M. Pahtan et al. (2005) In_2S_3 ince filmlerini SILAR metoduyla cam yüzeyi üzerine büyüttüler. X-ışını kırınımı metoduyla In_2S_3 ince filmlerinin rhombohedral yapıda büyüttüklerini tespit ettiler.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Yarıiletkenlerin Genel Özellikleri

Elektriksel ve optik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan sınıflandırmaya göre katılar; iletkenler, yalıtkanlar ve yarıiletkenler olmak üzere üç grupta toplanırlar. Bu farklı özelliklerin nedenleri; katıyı oluşturan atomların dış yörüngelerindeki elektron sayısı, kristal yapıdan gelen periyodiklik ve Pauli İlkesi' dir. En genel tanımlarla; iletken, elektriği iyi ileten maddelere; yalıtkan, elektriği iyi iletemeyen maddelere denir. Yarıiletkenler ise; özdirençleri sıcaklıkla hızlı bir şekilde azalan, iletken cisimlerden daha az, fakat yalıtkanlardan daha çok elektriği ileten maddelerdir. Yarıiletkenler, katıların en ilginç ve önemli sınıfını oluşturur. Bunlar, metallerden yalıtkanlara uzanan bölgeyi kapsayan geniş bir olaylar zincirini sergilerler ve geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Yarıiletkenlerin özdirençleri oda sıcaklığında 10^{-2}-10^{9} ohm.cm aralığına yayılır. Bu aralık; iyi iletkenler (10^{-6} ohm. cm) ve yalıtkanlar (10^{14}-10^{20} ohm.cm) arasındaki bölgeye düşer. Mutlak sıfır sıcaklığında (0° K) yarıiletken maddelerin saf ve mükemmel kristalleri yalıtkan özellikleri gösterir. Yarıiletkenlerin iletkenliği genellikle sıcaklığa, ışığa, manyetik alana ve yapılarındaki yabancı atom miktarına duyarlıdır. İletkenliklerindeki bu özellik yarıiletkenleri elektronik uygulamalarda önemli bir malzeme haline getirmiştir. Çizelge 3.1.'de bazı element ve bileşik yarıiletkenler verilmiştir.

Diğer katılarda olduğu gibi yarıiletkenlerde de elektronlar sadece belirli bantlardaki enerjilere sahip olabilirler. Enerji bantlarının her biri farklı kuantum durumları ile ilgilidir ve düşük enerjili (çekirdeğe yakın olan) durumların çoğu doludur. Bu durumlara valans bandı denir. Atomlardaki valans elektronlarının uyarılma düzeylerinden oluşan bant serbest veya iletim bandı olarak adlandırılır. İletim ve valans bantlarının arasında yasak bant bulunmaktadır. Ec, iletim bandındaki elektronların en küçük enerjisidir. Bu enerji düzeyine iletim bandının dibi denir.

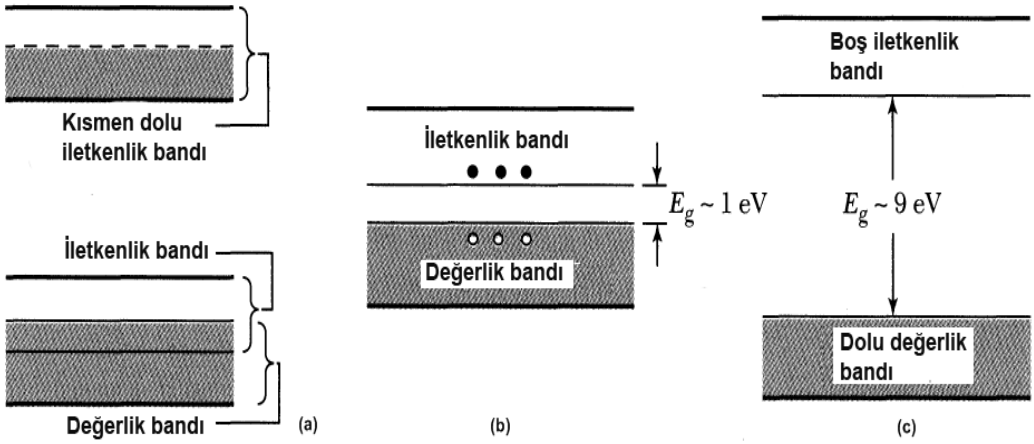
E_v, valans bandındaki elektronların en büyük enerjisidir ve bu enerji düzeyi valans bandının tavanı olarak adlandırılır. İletim bandının dip ve valans bandının tavan enerjilerinin farkı $E_c - E_v = E_g$ yarıiletkenin yasak enerji bant genişliğini karakterize eder. Kusursuz ve katkısız yarıiletkenlerde 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. Yarıiletkenler ve yalıtkanlarda metallerden farklı olarak genel durumda valans bandı neredeyse tamamen doludur.

Çizelge 3.1. Bazı element ve bileşik yarıiletkenler (Sze, 1985)

Element	**IV-IV bileşikleri**	**III-V bileşikleri**	**II-VI bileşikleri**	**IV-VI bileşikleri**
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge		AlSb	CdSe	PbTe
		BN	CdTe	
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnTe	
		InAs		
		InP		
		InSb		

Yarıiletkenlerdeki elektronlar valans bandından bant genişliğine bağlı olarak uyarılabilir. Yalıtkanlar ile yarıiletkenler arasındaki fark bant aralığının genişliğinden kaynaklanır. Bir yarıiletkenin sıcaklığı mutlak sıfırın üstüne çıkartıldığında elektronların bir kısmı valans bandından iletim bandına geçecek enerjiye ulaşırlar. İletim bandına geçen elektronlar valans bandında işgal edilmemiş elektron boşlukları (holler) bırakırlar. Hem iletim bandındaki elektronlar hem de valans bandındaki holler elektriksel iletkenliğe katkıda bulunurlar. Holler tek başlarına hareket edemezler ancak komşu elektronlar bu holleri doldurarak geride yeni bir hol oluştururlar. Bu şekilde holler pozitif yüklü parçacıklar gibi davranırlar. Şekil 3.1'de iletkenlerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların enerji bant diyagramları görülmektedir.

Yarıiletkenlerde atomlar arasındaki bağlar kısmen güçlüdür. Bu yüzden termal titreşim bazı bağları kırabilir. Bir bağ kırıldığında serbest bir elektronla birlikte serbest bir boşluk oluşur. Şekil 3.1b'de görüldüğü gibi yarıiletkenin bant aralığı yalıtkanın ki kadar geniş değildir (örneğin silisyum için bant aralığı 1.12 eV dur). Bundan dolayı bazı elektronlar geride boşluklar bırakarak değerlik bandından



Şekil 3.1. Metal (a) yarıiletken(b) ve yalıtkan (c) bant diyagramı

iletkenlik bandına geçebilirler. Bir elektrik alan uygulandığında elektronlar ve boşluklar kinetik enerji kazanarak elektrik iletimini sağlarlar.

İletkenlerde ise değerlik bandı ile iletkenlik bandı bir birleri ile örtüşmektedir. Bu yüzden iletkenlerin bant aralığı yoktur ve bir elektrik alan altında çabucak elektrik iletirler.

3.2. Yarıiletkenlerin Türleri

Yarıiletkenler günümüzde elektronik endüstrisinde, bilimsel çalışmalarda, enerji üretiminde ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarıiletkenlerden faydalanılarak yapılan düzenekler arasında; diyotlar, foto-diyotlar, transistörler, güneş pilleri, detektörler, termistörler, fotoseller, modülatörler sayılabilir. Bu düzenekleri elde etmek için kullanılacak olan uygun özelliklere sahip yarıiletkenler, çoğu zaman doğal bir şekilde bulunmazlar. Bu yüzden yarıiletkenlerin bazı işlemlerden geçirilerek, bir takım özelliklerinin değiştirilmesi gerekir. Örneğin yarıiletken düzenekler p-n eklemi içerirler. Bir p-n eklemi elde edebilmek için çoğunluk yük taşıyıcısı holler olan p-tipi yarıiletkenler ile çoğunluk yük taşıyıcısı elektronlar olan n-tipi yarıiletkenler elde edilip, bunlar birbirine eklenmelidirler. Çünkü p-n eklemi, mono kristal (tek kristal) yarıiletkenin iletkenliğinin bir tipten başka bir tipe değiştiği bölgedir. P-tipi ve n-tipi iletkenliğe sahip yarıiletkenler uygun katkılama işlemleriyle elde edilebilirler.

Çok saf, yani içinde hemen hemen hiç yabancı atom bulundurmayan yarıiletkenlere has yarıiletkenler denir (Kittel, 1996; Erol, 2001). Periyodik cetvelin IV. grubunda yer alan silisyum (Si), germanyum (Ge) gibi elementler içerisine III. ve V. gruptan bir atom katılması işlemine katkılama denir. Bu şekilde elde edilen elektriksel ve optik özellikleri değişen maddelere has olmayan ya da katkılı yarıiletken denir. Katkılama işlemiyle p-tipi ve n-tipi iletkenliğe sahip yarıiletkenler elde edilir (Oral, 1979; Kavcar, 2001).

3.2.1. Saf yarıiletkenler

Saf yarıiletkenlerde termal titreşim sonucu elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına uyarılırlar ve değerlik bandında eşit miktarda boşluk bırakırlar. İletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu;

$$n = N_C \exp\left[-\frac{E_C - E_F}{kT}\right] \tag{3.1}$$

ile verilmektedir. Burada E_C iletkenlik bandının taban enerji seviyesi, E_F Fermi seviyesi, k Boltzman sabiti, T sıcaklık ve N_C iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur. Değerlik bandındaki boşluk yoğunluğu ise;

$$p = N_V \exp\left[-\frac{E_F - E_V}{kT}\right] \tag{3.2}$$

ile verilmektedir. Burada ise E_v değerlik bandının tavan enerji seviyesi, N_v ise değerlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur. Elektronların yoğunluğu n ve boşlukların yoğunlu p olmak üzere saf yarıiletkenlerde,

$$n = p = n_i \tag{3.3}$$

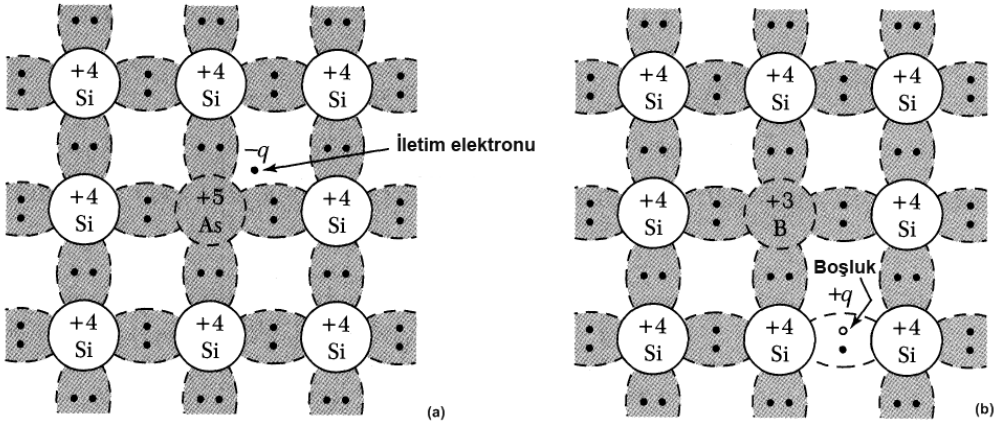
yazılabilir. Buradaki n_i saf taşıyıcı yoğunluğudur. Saf yarıiletkenlerin Fermi seviyesi denklem 3.1 ve 3.2 den;

$$E_F = E_I = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{kT}{2}\ln\left[\frac{N_V}{N_C}\right] \tag{3.4}$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_i saf yarıiletkenin Fermi seviyesidir ve oda sıcaklığında yasak bant aralığının ortasına çok yakındır.

3.2.2. Katkılı yarıiletkenler

Yarıiletkenlerin çoğunluğunda oda sıcaklığında iletkenlik katkı atomlarınınetkisiyle değişir. İletkenliği katkılarla belirlenen yarıiletkenlere katkılı yarıiletkendenir. Yüksek sıcaklıklarda katkıyla belirlenen iletkenlik saf iletkenliğe geçebilir.

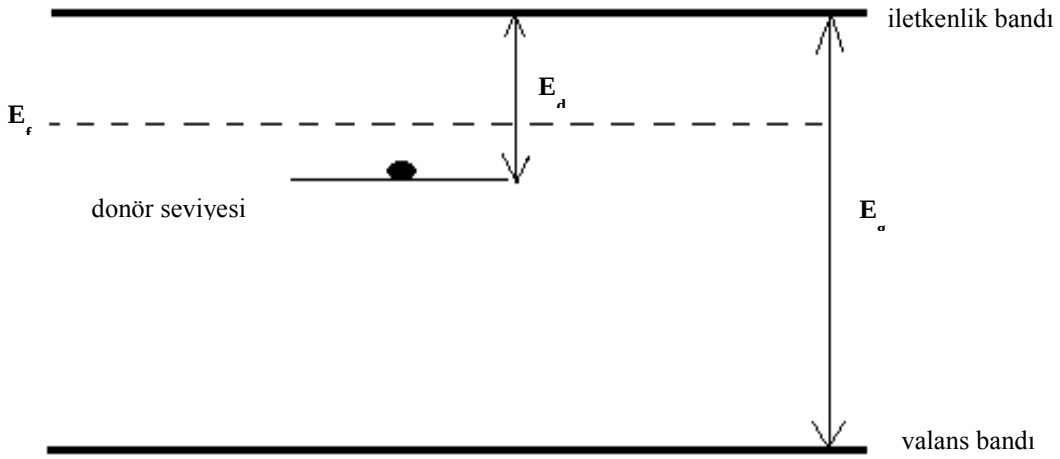


Şekil 3.2. Silisyum kristalinin arsenik atomuyla **(a)** ve bor atomuyla **(b)**katkılandırılması

3.2.2.1. n tipi yarıiletkenler

n-tipi yarıiletken elde etmek için yarıiletkenler donör (verici) atomlarıyla katkılanırlar. Periyodik tablonun IV. Grubunda bulunan Si ve Ge elementlerinden birine, V. Grup atomlarından birinin (As, N, Sb, P oabilir) uygun bir yöntemle katılmasıyla bu tip bir katkılama yapılabilir. Ge' a büyütme sırasında, 10^{-7} oranında As katılması örnek olarak verilir. Bu durumda; As'nin beş valans elektronundan dördü, Ge'un dört valans elektronuyla kovalent bağ yapar. As'nin geriye kalan V. Valans elektronu bağ yapamaz. Fakat As atomuna çok zayıf bir elektriksel kuvvetle bağlı olduğundan; çok küçük enerjilerle iyonlaşarak, kristal içerisinde serbest hareket

edebilir. Böylece Ge atomu fazladan bir elektron kazanmış olur. Bundan dolayı As ‘ye donör (elektron verici) atomu denir.



Şekil 3.3. Enerji bant diyagramında donör enerji seviyesinin gösterimi

Donör atomlarının yarıiletken içerisinde bulundukları enerji sevilerine donör enerji seviyesi denir (Ökten, 1994). Enerji bant diyagramındaki yeri şekil 3.3.’da görüldüğü gibi olan ve E_d ile ifade edilen donör enerji seviyesi,

$$E_d = \left(\frac{1}{\varepsilon_r}\right)^2 \left(\frac{m_e^*}{m_e}\right) E_H \qquad (3.5)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada; ε_r yarıiletkenin bağıl dielektrik sabitini, m_e^* elektronun etkin kütlesini, m_e elektronun kütlesini ve E_H Hidrojen için iyonlaşma enerjisini ifade eder. Donör enerji seviyesi iletkenlik bandına çok yakın olduğundan; bu seviyedeki donör atomları, çok küçük bir enerjiyle iyonlaşarak iletkenlik bandına geçerler. Bu şekilde iletkenlik bandında elektron sayısı artmasına karşılık, valans bandında holler oluşmaz. Böylece elde edilen n-tipi yarıiletkenlerde, çoğunluk yük

taşıyıcıları elektronlar (n_n) ve azınlık yük taşıyıcıları da hollerdir (p_n). Elektronların elektriksel iletkenliğe katkısı hollerden daha fazladır (Kittel, 1996; Erol, 2001).

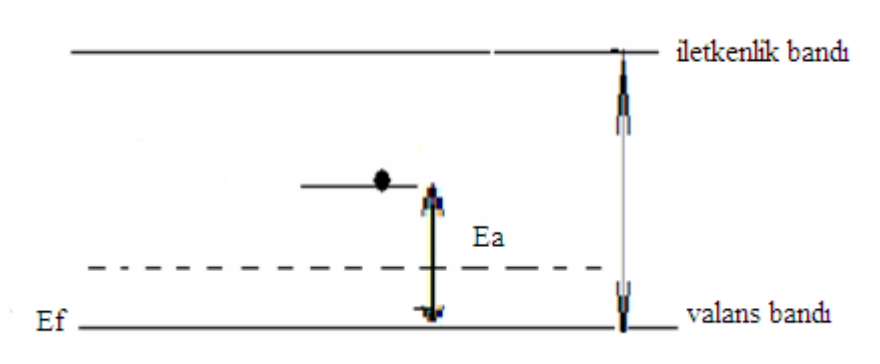
3.2.2.2. p-tipi yarıiletkenler

p-tipi yarıiletken elde etmek için yarıiletkenler akseptör atomlarıyla katkılanırlar. Periyodik tablonun IV. Grubunda bulunan Ge, Si elementlerinden birine; III. Grup atomlarından birinin (Al, B, In, Ga olabilir) uygun bir yöntemle katılmasıyla bu tip bir katkılama yapılabilir. Si'a büyütme sırasında In katılması örnek olarak verilebilir. Bu durumda In' un üç valans elektronu, Si'un dört valans elektronunun üçü ile kovalent bağ yapar. In'un bağlarını tamalayabilmasi için Si atomlarının birinden bir elektron alması ve bu elektronun geldiği yerde bir hol oluşturması söz konusudur. Her katkı atomuna karşılık, valans bandında bir hol oluşur. In atomları Si'dan elektron aldığından, bunlara akseptör (alıcı) atomları denir.

Akseptör atomlarının yarıiletken içersinde bulundukları enerji seviyesine akseptör enerji seviyesi denir (Ökten, 1994). E_α ile ifade edilen akseptör enerji seviyesi,

$$E_a = \left(\frac{1}{\varepsilon_r}\right)^2 \left(\frac{m_h^*}{m_h}\right) E_H \tag{3.6}$$

bağıntısı ile tanımlanır ve enerji bant diyagramında Şekil 3.8. da gösterilir. Donör enerji seviyesini veren (3.1) bağıntısından farklı olarak, burada m_h^* holün etkin kütlesini ve m_h de holün kütlesini ifade eder.



Şekil 3.4. Enerji bant diyagramında akseptör enerji seviyesinin gösterimi

Akseptör enerji seviyesi, valans bandına çok yakındır. Bu seviyede bulunan akseptör atomları, bağlarının tamamlayabilmek için valans bandından elektron alırlar. Valans bandından akseptör enerji seviyesine geçen her elektron, valans bandında bir hol oluşturmasına karşın; iletkenlik bandındaki elektron sayısı artmaz. Böylece elde edilen p-tipi yarıiletkenlerde, çoğunluk yük taşıyıcıları holler (p_p) ve azınlık yük taşıyıcıları da elektronlardır. Hollerin elektriksel iletkenliğe katkısı elektronlardan daha fazladır (Kittel,1996; Erol, 2001)

Belirli bir sıcaklıkta hem has yarıiletkenlerde, hem de katkılı yarıiletkenlerde; elektron ve hol yoğunlukları çarpımı sabittir. Buna göre has yarıiletkenler için,

$$n_0 p_0 = n_i^2 \tag{3.7}$$

ve katkılı yarıiletkenler için de;

$$n_n p_n = p_p n_p = n_i^2 \tag{3.8}$$

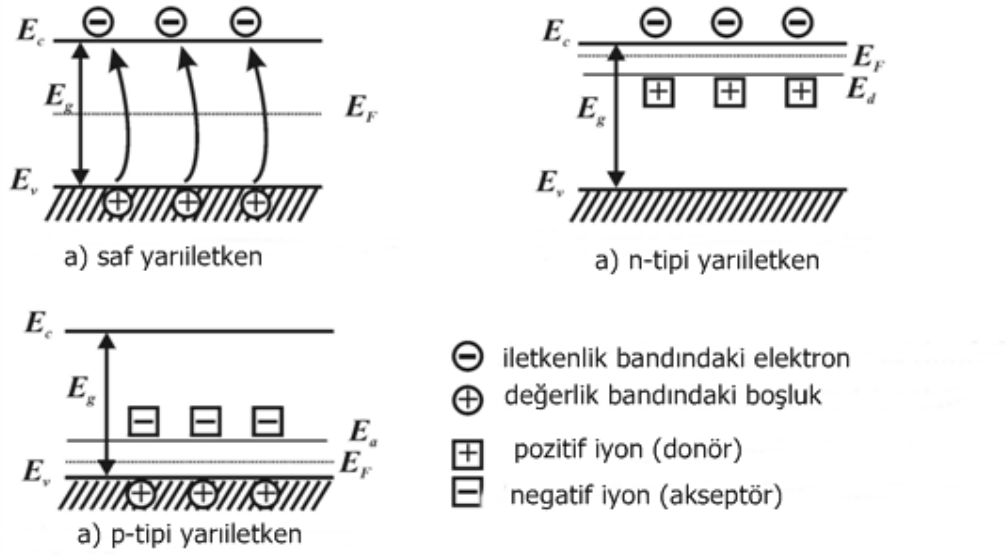
bağıntısı yazılabilir. Yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının çarpımları sabittir, fakat toplamları sabit değildir (Şekil 3.5).

3.3. Yarıiletkenlerin Elektriksel Özellikleri

Elektriksel iletkenlik, elektriksel özdirencin tersidir. Birim elektrik alan başına akım yoğunluğu olarak tanımlanan elektriksel iletkenlik σ,

$$\sigma = \frac{|\vec{J}|}{|\vec{E}|} = \frac{J}{E} \tag{3.9}$$

bağıntısı ile verilir. Burada J akım yoğunluğunu, E ise elektrik alanın değerini gösterir.



Şekil 3.5. a) saf yarıiletken; b) n-tipi yarıiletken; c) p-tipi yarıiletkengösterimi

İletkenlik, serbest yüklerin madde içerisindeki hareketinin bir ölçüsü olduğundan; serbest yüklerin hareketliliği, yani mobiliteleri özdirenci etkileyen bir parametredir. Mobilite, yüklü bir taneciğin birim elektrik alan başına kazandığı hıza denir. Hızı v olan bir tanecik, şiddeti E olan bir elektrik alanın etkisi altındaysa; mobilitesi

$$\mu = \frac{|\vec{v}|}{|\vec{E}|} = \frac{v}{E} \tag{3.10}$$

bağıntısı ifade edilir. Mobilitenin birimi m^2/Vs ' dir. Bu tanıma göre elektronların ve hollerin mobilitelerini ayrı ayrı yazmak mümkündür. Mobilite tanımına göre μ_e elektronların mobilitesi,

$$\mu_e = \frac{|\vec{v}_e|}{|\vec{E}|} = \frac{v_e}{E} \tag{3.11}$$

ve hollerin mobilitesi μ_h,

$$\mu_h = \frac{|\vec{v}_h|}{|\vec{E}|} = \frac{v_h}{E} \tag{3.12}$$

bağıntısı ile verilir. (3.11) bağıntısındaki $\vec{v}_e$ elektronların hızını, (3.12) bağıntısındaki $\vec{v}_h$ ise hollerin hızını göstermektedir. Toplam mobilite, elektronların ve hollerin mobiliteleri toplamına eşit olduğuna göre,

$$\mu = \mu_e + \mu_h = \frac{v_e}{E} + \frac{v_h}{E} \tag{3.13}$$

bağıntısına eşit olur.

Bir yarıiletkene elektrik alan uygulandığında, serbest yükler belirli hızlarla sürüklenmeye başlar. Böylece yarıiletkende bir sürüklenme akımı oluşur. Yarıiletkene uygulanan elektrik alan $\vec{E}$ ise; $\vec{J}$ ile ifade edilen toplam akım yoğunluğu, elektronların oluşturduğu $\vec{J}_e$ akım yoğunluğu ile hollerin oluşturduğu $\vec{J}_h$ akım yoğunluğunun toplamıdır. Buna göre toplam akım yoğunluğu,

$$\vec{J} = \vec{J}_e + \vec{J}_h = -qn\vec{v}_e + qp\vec{v}_h \tag{3.14}$$

bağıntısı ile verilir. Burada ; -q, n ve $\vec{v}_e$ sırasıyla, elektronların yükleri, yoğunlukları ve sürüklenme hızlarıdır. Benzer şekilde; q, p, $\vec{v}_h$ de, sırasıyla hollerin yükleri, yoğunlukları ve sürüklenme hızlarıdır.

Elektronların ve hollerin mobilite bağıntılarından yola çıkılarak, elektronların ve hollerin sürüklenme hızlarını veren bağıntılara ulaşmak mümkündür. Buna göre, elektronların sürüklenme hızı,

$$\mu_e = \frac{v_e}{E} \Rightarrow v_e = \mu_e E \tag{3.15}$$

ve hollerin sürüklenme hızı,

$$\mu_h = \frac{v_h}{E} \Rightarrow v_h = \mu_h E \tag{3.16}$$

bağıntısı ile verilir. (3.15) ve (3.16) bağıntıları, (3.14) bağıntısında $\vec{v}_e$ ve $\vec{v}_h$ yerine konulursa akım yoğunluğu,

$$\vec{J} = \vec{J}_e + \vec{J}_h = q\left(n\mu_e + p\mu_h\right)\vec{E} \tag{3.17}$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu bağıntı, (3.9) bağıntısında J yerine konulursa, yarıiletkenin iletkenliği için,

$$\sigma = q\left(n\mu_e + p\mu_h\right) \tag{3.18}$$

bağıntısına ulaşılır. Görüldüğü gibi bir yarıiletkenin iletkenliği, yük taşıyıcılarının yoğunluklarına ve mobilitelerine bağlıdır.

Has bir yarıiletkende, elektron yoğunluğu hol yoğunluğuna eşit olduğundan elektriksel iletkenlik σ_i,

$$\sigma_i = qn_i\left(\mu_e + \mu_h\right) \tag{3.19}$$

bağıntısına eşit olur. Has bir yarıiletkendeki toplam taşıyıcı yoğunluğ n_i, sıcaklığın fonksiyonu olarak;

$$n_i(T) = 2\left(\frac{2\pi\left(\mu_e^* + \mu_h^*\right)^{1/2} kT}{h^2}\right)^{3/2} e^{-E_g/2kT} \tag{3.20}$$

bağıntısı ile verilir. Burada μ_e^* ve μ_h^* sırasıyla; elektronların ve hollerin etkin kütleleri, k Boltzmann sabiti, h Planck sabiti , E_g ise yarıiletkenin yasak enerji aralığıdır. (3.20) bağıntısı, (3.19) bağıntısında n_i yerine yazıldığında has yarıiletkenlerin iletkenliği için;

$$\sigma_i = 2q\left(\mu_e + \mu_h\right)\cdot\left(\frac{2\pi\left(\mu_e^* + \mu_h^*\right)^{1/2} kT}{h^2}\right)^{3/2} e^{-E_g/2kT} \tag{3.21}$$

bağıntısı elde edilir. (3.18) bağıntısına göre bir yarıiletkenin özdirenci ρ için;

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q\left(n\mu_e + p\mu_p\right)} \tag{3.22}$$

bağıntısı bulunur. Yarıiletken n-tipi ise elektron yoğunluğu hol yoğunluğundan çok çok büyük olacağından (n>>p), (3.18) bağıntısındaki $p\mu_h$ ifadesi ihmal edilir. Böylece n-tipi bir yarıiletken için özdirenç bağıntısı,

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_h} \tag{3.23}$$

olarak verilir.

3.4. Yarıiletkenlerin Yasak Enerji Aralığına Etki Eden Faktörler

Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığını değiştiren etkenlerden bazıları şunlardır:

1- Sıcaklık
2- Kusur konsantrasyonu
3- Magnetik alan
4- Elektrik alan
5- Basınç

Bu etkilerden sadece sıcaklık ve kusur konsantrasyonunun yasak enerji aralığı üzerine olan etkisi incelenecektir.

3.4.1. Sıcaklığın Yarıiletkenin Yasak Enerji Aralığına Etkisi

Sıcaklık artıkça kristal örgünün titreşimi artar ve kristal örgüsü genişler. Çoğu yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı küçülür. Bu ise soğurmanın uzun dalga boylu bölgeye kaymasına sebep olur. Bunun dışında sıcaklığın artmasıyla birlikte kristaldeki elektron-fonon etkileşmesi artar. Yasak enerji aralığının sıcaklığa bağlılığı aşağıdaki ifade ile verilir (Varshni 1967):

$$\frac{dE_g}{dT} = \left(\frac{dE_g}{dT}\right)_p + \left(\frac{dE_g}{dT}\right)_{e-f} \tag{3.24}$$

Bu ifadedeki ilk terim sabit basıncın etkisini temsil etmektedir. Basınçla kristalde bir bozulma meydana gelecektir ve kristal örgüsü değişecektir. Bunun sonucunda da yasak enerji aralığı değişecektir. (3.24) denklemindeki ilk terim:

$$\left(\frac{dE_g}{dT}\right)_p = 2b\left(\pm C_n \pm C_p\right) \tag{3.25}$$

Burada C_n elektronların C_p ise boşlukların kristalde bozulma sabitleridir. Kristalde basınç iki şekilde meydana gelmektedir;

1- Dışardan uygulanan basınç
2- Kristal örgüsü içerisinde oluşan basınç

Enerjinin sıcaklığa bağlılığı, Debye sıcaklığından düşük sıcaklık bölgesinde

$$E_g(T) = E_{go} - a\frac{T^2}{T+\theta} \tag{3.26}$$

denklemi ile verilir (Varshni 1967). Buradaki $\alpha = dE_g / dT$, θ, debye sıcaklığı, E_{go} mutlak sıfırda yasak enerji aralığının değeridir. $T > \theta$ olduğunda yasak enerji aralığı sıcaklığa kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Elektron-fonon etkileşmesi fazladır ve değerce negatiftir. Düşük sıcaklıklarda E_g sabittir ve sıcaklığa bağlı değildir.

3.4.2. Yarıiletkenin Yasak Enerji Aralığına Kusur Konsantrasyonunun Etkisi

Dejenere olmuş yarıiletkenlerin temel soğurma spektrumunun hesaplanması çok zordur. Çünkü;

$$N^{1/3}a_o \gg 1, \quad a_o = \frac{4\pi\varepsilon\hbar^2}{m_o e^2} \tag{3.27}$$

kusur merkezlerinin konsantrasyonunun (N) çok büyük olması şarttır. Bandların serbest taşıyıcılarla dolması sonucunda soğurma spektrumunun kenarı kısa dalga boylu bölgeye kayar. Buna Burstein-Moss etkisi denir (Burstein; Moss 1954). Eğer yarıiletkenlerde hem akseptör hem de donör seviyeleri varsa, diğer bir ifadeyle birbirini kompanse eden seviyeler mevcut ise ve bu seviyeler band meydana getiriyorsa o zaman kompanse oranının derecesinin değişmesi ile soğurma eğrisinin kenarının uzun dalga boylu bölgeye kayması mümkündür. Dejenere olmuş yarıiletkenlerde yukarıda anlatılanların dışında; band kenarının bozulmasından dolayı optik geçişlerin ihtimali değişir. Bunun çok veya az olması ihtimal dahilindedir.

3.5. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

3.5.1. Yarıiletkenlerde Optik Soğurma

Yarıiletkenlerin band yapılarını belirlemek için en yaygın belki de en basit metot, optik soğurma yöntemidir. Soğurma, yarıiletkene gelen elektromagnetik dalga ile maddedeki elektrik yüklerinin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan enerji kaybı olayıdır. Soğurma işleminde enerjisi belli bir foton bir elektronu düşük enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. Bu yüzden bu spektrumdan mümkün olan tüm geçişler, yarıiletkenin yasak enerji ve bant tipi hakkında bilgi

verebilir. Kalınlığı x olan bir materyal üzerine elektromagnetik dalga etki ettiğinde, soğurma,

$$I = I_o e^{-\alpha x} \tag{3.28}$$

bağıntısı ile verilir. Burada;

I_0 , materyale gelen elektromagnetik dalganın şiddeti

I, x kalınlıklı materyalden geçen elektromagnetik dalganın şiddeti

α, lineer absorbsiyon kat sayısını gösterir.

Eğer absorbsiyon L(hv) ışık şiddetindeki azalma hızına göre tanımlanırsa α(hv) kat sayısı,

$$a(hv) = \frac{1}{L(hv)} \frac{d[L(hv)]}{dx} \tag{3.29}$$

ile ifade edilir. Denklem (3.25)'den görüldüğü gibi lineer absorpsiyon kat sayısı büyüdükçe materyali geçen ışın şiddeti de o kadar azalacaktır (Pankove, 1971).

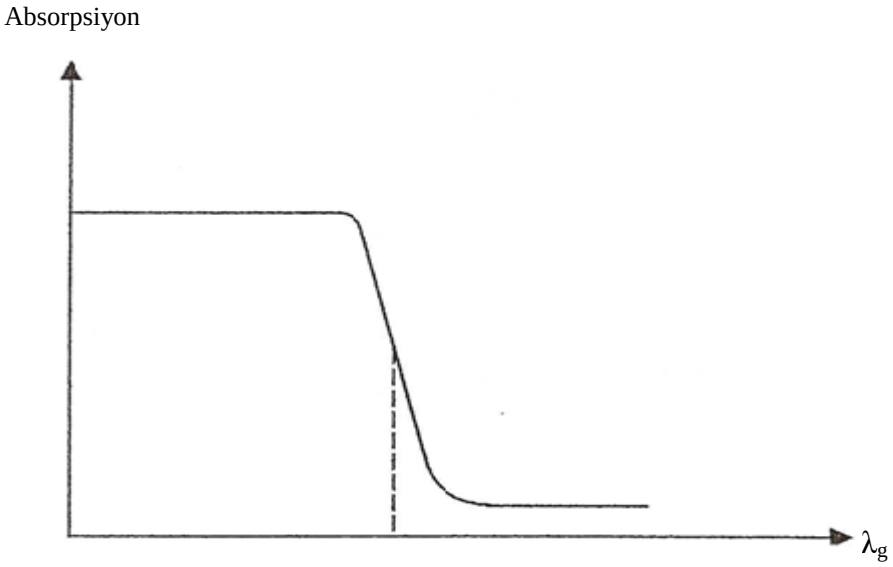
3.5.2. Temel Soğurma Olayı

Temel soğurma olayı bandtan geçişi temsil eder. Temel soğurma, soğurmada hızlı bir artış olarak kendini gösterir ve bu yarıiletken enerji aralığının belirlenmesinde kullanılır. Temel soğurma olayında bir elektron materyale gelen ışından bir foton absorplayarak valans bandından iletim bandına geçer. Bunun için fotonun enerjisi yasak enerji aralığına en az eşit veya ondan büyük olması gerekir.

Bu nedenle gelen fotonun frekansı v,

$$V \geq E_g / h \quad \text{veya} \quad V \geq V_0 \tag{3.30}$$

olmalıdır. $V \geq E_g / h$ frekansı soğurma sınırı olarak adlandırılır. Yarıiletken için temel soğurma spektrumu Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Yarıiletkenlerde temel absorpsiyon spektrumu

Şekil 3.6'da görüldüğü gibi ($\lambda_g = hc / E_g$) dalga boyuna yakın dalga boylarından itibaren soğurmada sürekli bir artış gözlenir ve λ_g den sonra bir denge değerine ulaşır.

Yarıiletken materyal λ_g dalga boyundan küçük dalga boylarında kuvvetli bir soğurucu, büyük dalga boylarında hemen hemen geçirgen özellik gösterir. Bu iki bölgeyi ayıran sınır temel soğurma sınırı olarak adlandırılır. Yarıiletkenlerde temel soğurma sınırında direkt ve indirekt olmak üzere iki tür geçiş olayı vardır.

3.5.3. Yarıiletkenlerde Bant Geçişleri

Yarıiletkenlerde band geçişleri, valans bandından iletkenlik bandına elektronların geçiş durumlarına göre direkt band geçişi ve indirekt band geçişi olmak üzere iki gruba ayrılır. Yasak enerji aralığı ve band geçiş tiplerinin belirlenmesinde en iyi sonuçları veren yöntem optik soğurmadır.

3.5.3.1. Direkt Bant Geçişi

İletim bandının en alt noktası ile valans bandının en yüksek noktası enerji momentum uzayında aynı k değerinde ise bu tür geçişlere direkt bant geçişi denilmektedir. Gelen fotonun enerjisi hv, materyalin yasak enerji aralığı E_g 'ye eşittir. Bir foton materyal tarafından soğrulurken bir elektron ve bir hol oluşur (Kıtte, 1996). Şekil 7'de yarıiletkenlerdeki direkt bant geçişi görülmektedir (Fox, 2001).

Direkt bant geçişi için, E_i iletim bandının en düşük enerjisi ve E_v, valans bandının en yüksek enerjisi olmak üzere;

$$E_i = E_v + hv \tag{3.31}$$

eşitliği ile verilmektedir. Bu eşitlikte (E_i - E_v), değeri bize o yarıiletkenin yasak enerji aralığını vereceğinden eşitlik düzenlenecek olursa direkt geçiş için;

$$E_g = hv$$

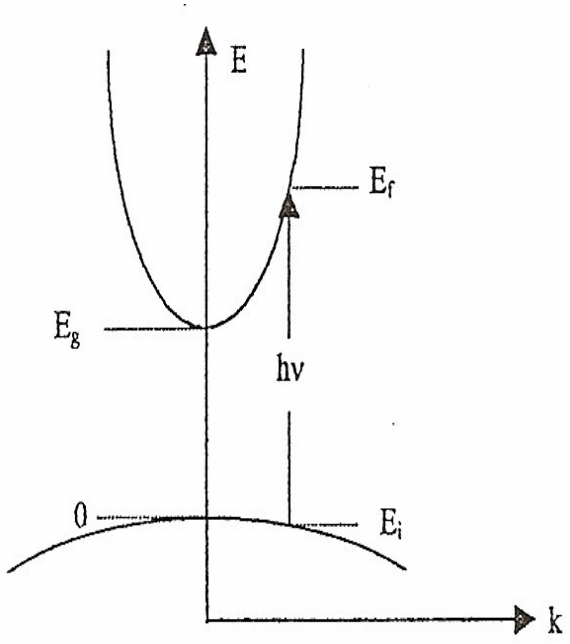
ifadesi elde edilir (Fox, 2001).

Direkt geçişlerde eksiton oluşumu veya elektron-hol etkileşimi dikkate alınmazsa absorpsiyon kat sayısı α ;

$$\alpha_i = A^*(h\nu - E_g)^n \qquad (3.32)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikte A^*, bantlarla ve sıcaklıklarla ilgili parametreleri içeren bir sabittir (Omar, 1975).

n değeri ise, direkt aralıklı geçişler için 1/2, ve indirek aralıklı geçişler için 3/2 değerini alabilen bir sabittir (Pankove, 1971).



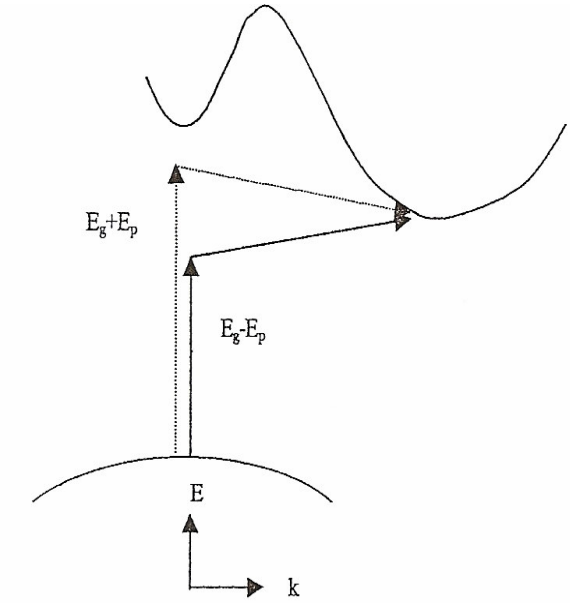
Şekil.3.7. Bir yarıiletkende direkt bant geçişinin şematik gösterimi

3.5.3.2. İndirekt Bant Geçişi

Yarıiletkenlerde iletim bandının en alt noktası ile valans bandının en üst noktası enerji momentum uzayında aynı k değerinde oluşmuyorsa bu tür geçişlere indirekt bant geçişi adı verilir. İndirekt geçişler, foton ve fonon yardımıyla gerçekleşir. Çünkü k uzayında valans ve iletkenlik bantları arasında geniş bir bant aralığı vardır (Kıttle, 1996). İndirekt geçişlerde enerji korunur. Fakat momentum korunumu için fotonun emisyonu yada absorpsiyonu gereklidir. İndirekt bant geçişi için E_i, iletim bandının en düşük enerjisi E_v, valans bandının en yüksek enerjisi ve $h\Omega$ fononun enerjisi olmak üzere;

$$E_i = E_v + h\,v \mp h\Omega \tag{3.33}$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikte aradaki işaret fononun absorpsiyonu için $(-)$, fononun emisyonu $(+)$ olur. Bir foton materyal tarafından soğrulurken, bir elektron, bir hol ve $h\Omega$ enerjili bir fonon oluşur (Kıttle, 1996). Şekil 3. 8 'de yarıiletkenlerdeki indirekt bant geçişi görülmektedir (Fox, 2001).



Şekil.3.8. Bir yarıiletkende indirekt band geçişinin şematik gösterimi

İndirekt geçişlerde enerji korunur fakat momentum korunumu için bir fononun yayınlanması veya soğrulması gerekir. Bu iki geçiş,

$$hv = E_f - E_i + E_p \qquad \text{(yayınlanma için)} \qquad (3.34)$$

$$hv = E_f - E_i - E_p \qquad \text{(soğurma için)} \qquad (3.35)$$

ile verilir. Burada; E_p : fonon enerjisidir.

Fonon soğurmalı geçiş için soğurma kat sayısı $hv > E_g - E_p$ için,

$$\alpha_0 = \frac{A(hv-E_g-E_p)^n}{\exp[\frac{E_p}{kT}]-1} \tag{3.36}$$

ile verilir. Fonon yayınlamalı geçiş için soğurma kat sayısı $hv > E_g + E_p$ için,

$$\alpha_e = \frac{A(hv-E_g+E_p)^n}{1-\exp[-\frac{E_p}{kT}]} \tag{3.37}$$

ile verilir. Hem fonon yayınlanması hemde fonon soğrulması olduğu zaman α ve v arasındaki bağıntı,

$$n_0 \alpha hv \approx \frac{(hv-E_g-E_p)^n}{\exp(\frac{E_p}{kT})-1} + \frac{(hv-E_g+E_p)^n}{1-\exp(-\frac{E_p}{kT})} \tag{3.38}$$

ile verilir. Burada; n, indirekt geçişli bir yarıiletken için 2 (izinli geçiş) veya 3 (yasaklı geçiş) değerini alabilen bir sabiti göstermektedir (Pankove, 1971; Mott ve Davis, 1979).

3.6. İnce Film

Alt tabaka olarak katı bir malzeme üzerine malzemenin temel özelliklerinin ölçülmesinde hem doğrudan bir fizilsel işlemle hem de bir kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyonlarla ince film şeklinde katı malzeme oluşturulur. Burada üzerinde durulması gereken, filmin önemli bir özelliği ve filmin özelliklerini sınırlayan parametre olan, küçük film kalınlığının ölçülmesinin basit olmadığıdır. Bir alt tabaka üzerine doğrudan dağıtılarak ya da yapıştırılarak oluşturulan filmler kalınlıklarından dolayı kalın filmler olarak adlandırılır ve bunların özellikleri önemli ölçüde ince filmlerden farklıdır. İnce filmler küçük kalınlıkları, geniş yüzeye karşı hacim oranı ve büyütme tekniklerinin direk sonucu olarak iyi bir fiziksel yapı oluştururlar. İnce filmler oluşurken bunu oluşturan maddenin toz halindeki özellikleri ile ince film oluştuktan sonraki özellikleri arasında sapmalar başlar. Değişik ortam koşullarında; ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri üzerinde durulmaya başlanmıştır. İnce filmlerin büyük yüzeye sahip olmalarına karşın hacim oranı onları küçük kalınlık ve mikroyapıların oluşturulmasına sebep olduğundan bu filmler gaz soğurması, difüzyon olaylarına maruz bırakılabilir (Chopra 1983).

4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Giriş

Günümüz teknolojisinin temelini yarıiletken ince filmler oluşturmaktadır. İnce filmlerin üretimi için kullanılabilecek birçok yöntem vardır. İnce filmlerin üretim yöntemine göre üretim aşamaları belirlenir. Öncelikle sol-jel yöntemiyle Ag katkılı In_2S_3 çözeltimizi nasıl hazırladığımızı ve Ag katkılı In_2S_3 çözeltisini kullanarak ince film kaplamalarımızı nasıl yaptığımızı anlatacağız. Elde ettiğimiz numunelerimizi hangi sıcaklıklarda, hangi ortamlarda tavladığımızı anlatacağız. Yaptığımız ölçümlerin değerlerinin literatür ile uyuşup uyuşmadığını değerlendirecez. Çalışmalarımızı üretim ve ölçüm olarak iki başlık altında açıklayacağız.

4.2. Üretim

4.2.1. Sol-jel Kaplama Sistemi

Sol-jel yöntemi ile yapılan kaplamalar genelde döndürülerek kaplama yada daldırılarak kaplama teknikleriyle yapılır. Bu çalışmamızda ince filmlerimizi sol-jel daldırma yöntemi ile kapladık. Kullandığımız PTL-HT-Dip Coater cihazını kullandık. Cihazımızın şematik gösterimi şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. PTL-HT-Dip Coater cihazı

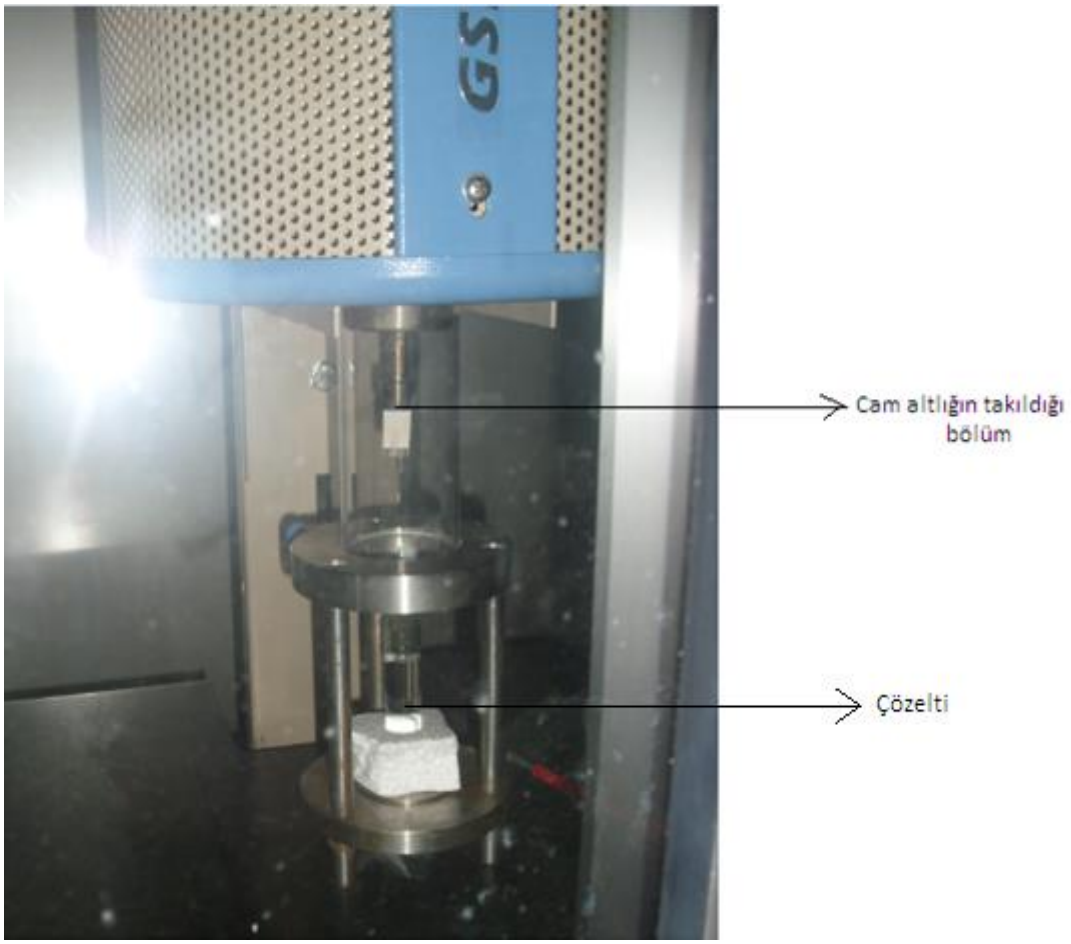
Cihazımızın sisteminde zaman aralıklarına göre ayarlamalar yapılabiliyor. Böylece istediğimiz zaman aralıklarını ayarlayarak istelen hızda ve sayıda kaplamalar yapılabiliyor. Bu şekilde istenilen kalınlıkta numuneler elde edilebilir.

4.2.2. Altlıkların (taban malzeme) Hazırlanması

Altlık malzemesi olarak cam, pyrex cam, quartz, safir vb. kullanıbilir. Ag-In_2S_3 yarıiletkenleri için cam altlıklar kullanılmıştır. Cam altlıkların tercih edilmesinin sebebi kolay temin edilebilir ve ucuz olmalarıdır. Cam altlıkların tercih edilmesinin bir diğer önemli nedeni erime sıcaklığının yüksek olmasıdır.

4.2.3. Kaplama İşlemi

Çözeltileri ve altlıkları hazırladıktan sonra kaplama işlemi şekil 4.1'deki sistemle yapılmıştır. PTL-HT-Dip Coater cihazının cam altlıklarının konulduğu alana yerleştirilmesi kaplamanın ilk adımıdır.



Şekil 4.2. PTL-HT-Dip Coater cihazında cam altlığın takıldığı bölüm

Dikey fırının sıcaklığı aşağıdan yukarıya doğru değişmektedir. Fırının yukarıya doğru hareketi sırasında belli noktalarda sıcaklık ölçümü yapılarak sıcaklıkları belirlenmiştir. Cam altlıklar PTL-HT-Dip Coater cihazında yavaş yavaş aşağıya inerek çözeltiye daldırıldıktan sonra 3 cm/dk hızla yukarı çekilmektedir.

PTL-HT-Dip Coater cihazının içerisinde 400^0 C de 1 dk bekleyerek kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yarıiletkenimizin kalınlığı kaplama sayısına göre değişmektedir.

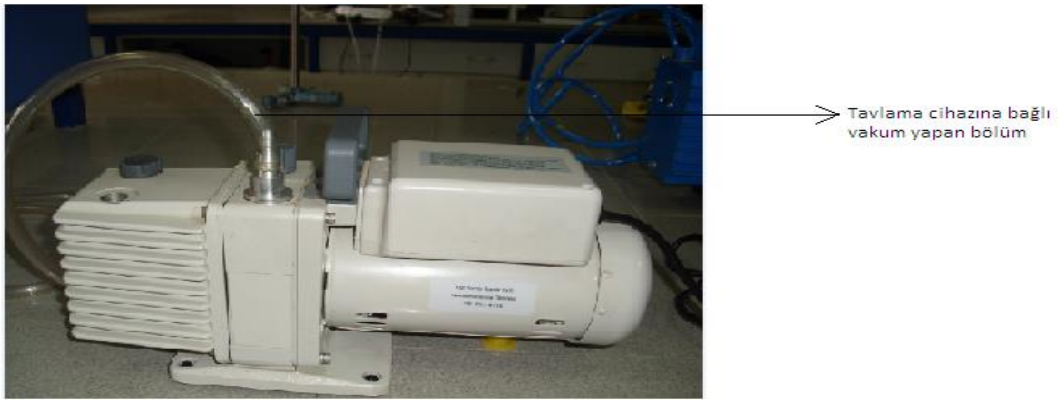
4.2.4. Tavlama İşlemi

Kaplama işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen numunelerimiz henüz amorf yapıda olduğundan, kristal yapının oluşması için uygun sıcaklıklarda ısıl işlemlerden geçirilir. Hava ortamında yapılan tavlama işlemlerinde oksitlenmedurumu olduğundan argon ortamı tercih edilmiştir. Tavlama yapılmadan önce ortamdaki oksijen vakum yardımıyla dışarı atılır. Tavlama işlemini yaparken düşük basınçlı argon kullanıyoruz. Tavlama işlemini 15 dk vakumlanmış ve argon ortamında gerçekleştirilmiştir. Hazırladığımız numunelerimizi sırasıyla 300^0C, 350^0C, 400^0C ve 450^0C sıcaklıklarında 30 dk tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Sonuçta 20 tane farklı sıcaklıklarda tavlanmış numune elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Tavlama işlemi için kullanılan yatay fırın

Tavlama işleminin yapılması sırasında vakum aşağıdaki Welch Rietschle Thomas marka vakum cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.4. WelchRietschle Thomas Cihazı

WelchRietschle Thomas cihazı tavlama cihazına bir hortum ile bağlı olup bu bağlantı sayesinde tavlamanın içindeki havayı vakumlamaktadır. $6x10^{-2}$ Pa basınca kadar vakum işlemi yapılmıştır.

4.2.5. In_2S_3 Çözeltilerinin Hazırlanması

Hazırladığımız In_2S_3 çözeltilerinden biri saf diğerleri belli yüzdelerde gümüş (Ag) katkılı olmak üzere toplam 5 çözelti hazırlanmıştır. In_2S_3 için hazırladığımız çözeltilerde kullandığımız kimyasallar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Saf In_2S_3 (In_2S_3-1) çözeltisinde kullanılan kimyasallar

Kimyasal	Formülü
Indium(III) Chloride	$InCl_3$
Thiourea	CH_4N_2S
2-Methoxyethanole	$C_3H_3O_2$
Etanolamine	C_2H_7NO

Çizelge 4.2. In_2S_3 Çözeltilerinde kullanılan kimsayalların miktarı

Çözelti	S/In	Indium(III) Chloride	Thiourea	2-Methoxyethanole	Etanolamine
In_2S_3-1	5/2	0,4423 gr	0,3805 gr	13 ml	10 damla
In_2S_3-2	5/2	0,4423 gr	0,3805 gr	13 ml	10 damla
In_2S_3-3	5/2	0,4423 gr	0,3805 gr	13 ml	10 damla
In_2S_3-4	5/2	0,4426 gr	0,3807 gr	13 ml	10 damla
In_2S_3-5	5/2	0,4421 gr	0,3807 gr	13 ml	10 damla

Saf In_2S_3 çözeltisi hazırlanırken In kaynağı olarak kullanılan $InCl_3$'in formül ağırlığı 222,18 g/mol olan bileşiktir ve sülfür (S) kaynağı olarak kullanılan thiourea'nın formül ağırlığı 76,12 g/mol'dır.

Belli yüzdeliklerde gümüş (Ag) ile katkılandırılarak hazırladığımız Ag-In_2S_3 çözeltilerinde kullandığımız kimyasallar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Bu çözeltiler hazırlanırken gümüş (Ag) kaynağı olarak kullanılan gümüş nitrate'nin (A_gNO_3) formül ağırlığı 169,88 g/mol'dür.

Çizelge 4.3. Ag-In_2S_3 çözeltisinde kullanılan kimyasallar

Kimyasal	Formülü
Indium(III) Choloride	$InCI_3$
Thiourea	CH_4N_2S
2-Methoxyethanole	$C_3H_3O_2$
Etanolamine	C_2H_7NO
Silver nitrate	$AgNO_3$

Diğer gümüş katkılı (Ag-In_2S_3) çözeltilerimizde sadece gümüş oranları değiştirilerek Ag-In_2S_3-2, Ag-In_2S_3-3, Ag-In_2S_3-4, Ag-In_2S_3-5 olmak üzere 4 tane Ag katkılı çözelti hazırlanmıştır.

Çizelge 4.4. Ag-In_2S_3 çözeltisinde kullanılan gümüş oranları

Çözelti	S/In	Silver nitrate (%)	Silver nitrate (gr)
In_2S_3-2	5/2	0,5	0,0017
In_2S_3-3	5/2	1	0,0034
In_2S_3-4	5/2	1,5	0,0054
In_2S_3-5	5/2	2	0,0068

Saf In_2S_3 çözeltisi hazırlanırken hassas terazide 0,4423 gr Indium(III) Choloride ($InCI_3$), 13 ml 2-Methoxyethanole (C3H3O2) eklenerek 45^0C de 5dk karıştırdıktan sonra 0,3805 gr Thiourea (CH_4N_2S) eklenerek 45^0C de 5 dk karıştırlır. Son olarak birkaç damla Etanolamine (C_2H_7NO) eklenerek bir gün karıştırılmaya bırakıldı.

Gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 çözeltisi hazırlanırken saf In_2S_3 gibi hazırlanır sadece Etanolamine (C_2H_7NO) eklenmeden önce gümüş (Ag) eklenir daha sonra 10 damla Etanolamine (C_2H_7NO) eklenir.

4.2.6. Kaplama İşleminin Yapılması

Hazırladığımız cam altlıklar 10 dk asetonda, 10 dk 2-Propanol da ultrasonik banyoda temizlenmiştir.



Şekil 4.5. Bandelin Sonorex cihazı (ultrasonik banyo)

Temizleme işlemi tamamlanan cam altlıklar Şekil 4.2. PTL-HT-Dip Coater cihazı ile istenilen sayıda kaplama yapılır.

4.3.Ölçümler

4.3.1. Kalınlık Ölçümü

Sol-jel yöntemi ile hazırladığımız yarıiletkenlerin kalınlıkları çözeltinin vizkozitesine ve kaplama sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada bütün yarıiletkenler aynı sayıda (12 kez) kaplanmıştır. Numunelerin kalınlığı hesaplanırken numuneler homojen kabul edilmiştir. Daha sonra elde edilen numunelerin kalınlıklarının ölçümü J.A. WoollamCo.,Inc. SpektroskopikElipsometre cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.6. J.A. WoollamCo.,Inc. Spektroskopik Elipsometre

Elipsometre yarıiletkenlerin kırılma indekslerini ve kalınlıklarını belirlemede kullanılır.

Elipsometre, bir dalga vektörünün polarizasyon durumunun ölçülmesini ve bunu modifiye eden optik sistem hakkında bilgi sahibi edinilmesini sağlar. Polarize haldeki bir ışık dalgasının yüzeye gönderilmesiyle, ışığın incelenen optik sistemle etkileşmesi sağlanır. Bu etkileşme, monokromatik ve polarizasyon durumu belli olan

ve istenilen gelme açısı altında gönderilen ışığın, optik bakımdan farklı olan ortamların sınır yüzeyine düşürülmesi ile polarizasyon durumunu değiştirir ve ışık belli bir açı ile sınır yüzeyinden yansır ya da geçer. Yansıyan veya geçen ışığın polarizasyon durumunun belirlenmesi ile kullanılan malzemenin optik parametreleri belirlenebilir. Buradan yola çıkarak kalınlık belirlenir.

Soğurma katsayısı ile kalınlık arasındaki ilişki Lambert Beer yasasından yola çıkılarak bulunabilir.

$$I = I_o e^{-\alpha d} \tag{4.1}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha d} \tag{4.2}$$

$$\frac{I_0}{I} = e^{\alpha d} \tag{4.3}$$

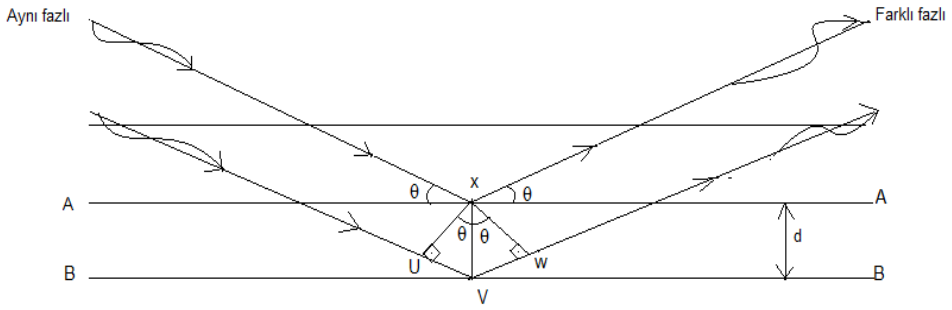
$$\ln \frac{I_0}{I} = \alpha d \tag{4.4}$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{d} \tag{4.5}$$

($\ln \frac{I_0}{I}$) optiksel yoğunluk olarak ifade edilir.

4.3.2. X-Işınları Kırınımı Analizi (XRD)

Bragg, dalgalarının paralel düzlemler takımı tarafından kırınıma uğramaları sonucunda basit bir formül ve geometrik bir şart öne sürülmüştür. Işığın bir yarıktan kırınımı ile x-ışınlarının bir kristalde kırınımı arasında fark vardır. Işığın kırınımında geliş açısı ve kırınım sonucu oluşan açı birbirine eşit değildir ve bu iki açı arasında, dalga boyu ile yarığın genişliği arasında bir ilişki söz konusudur. Bragg kırınım şartı geliş açısının ve yansıma açısının eşit olduğunu belirtir. Bununla birlikte, yansıma sadece geliş açısının dalga boyuna uygun olduğu durumda ve ardışık iki düzlem arasındaki masefenin uygun olduğu durumda gözlenebilir.



Şekil 4.7. Bragg yansımasının gösterimi

X-ışınlarının paralel olarak tek kristale doğru yönlendirildiklerini düşünelim. Bu x-ışınları kristaldeki ilerleyebildikleri bölgelerdeki tüm atomlar ile etkileşime girerler. Burada x-ışınlarının θ açısı yapan atomların bir seri paralel düzlemleri ile etkileşime girdiğini düşünüyoruz. Bu düzlemlerden ilki ile olan etkileşim sonucu yansıma açısı θ olan bir yansıma bileşeni oluşacaktır ve bu bileşen eğer x-ışınları kristalde derinlere doğru ilerliyorsa oldukça zayıftır. Bu ilk düzlem periyodik bir düzene sahip olduğu için, bu düzlem x-ışınları için iki boyutlu bir kırınım ağı olarak davranır ve zayıf bileşenler farklı θ_m açılarında farklı kırınım derecelerine yansıtılacaktır.

İkinci ve bunu takip eden bütün düzlemlerde, yansıtılan enerjinin bileşenleri benzer olarak özel yansıma açılarında oluşacaktır. X-ışınları kristalde derinlere doğru binlerce ardışık düzlemden farklı zayıf bileşenleri ortaya çıkarmak için ilerleyebildiği için, x-ışını şuası ve düzlem takımlarının arasında geliş açılarının çoğunda yıkıcı girişimin iyi tanımlanmış düzlemlerin görünürlüğünü engelleyeceği açıktır. İkinci düzlemden yansımaya maruz kalan x-ışını şuasının birinci düzlemden yansıyan ışına göre 2dsinθ'lık fazla bir yol alacağı şekil 4.7 'de görülmektedir. Her bir yansıyan bileşen eğer düzlemler arası mesafe dalga boyunun tam katları ise yapıcı bir girişimle birleşecektir. Sonuç olarak yansıma için verimli olan şart yani Bragg Kanunu;

$$2d\sin\theta = n\lambda \qquad (4.6)$$

olur burada n bir tam sayıdır. Genel olarak tek dalga boylu x-ışınları kristale doğru rastgele bir açıyla geldiklerinde yapıcı bir girişim oluşturmayacakları açıktır. Bragg kanununun gerçekleşebileceği bir durumu kadar hem dalga boyu hem de açı değiştirilmelidir. Bragg yasası verimli bir yansıma elde etmek için gerekli olmasına rağmen, yansımayı etkileyen faktörlerden dolayı yeterli değildir. (hkl) gibi özel bir düzlemden elde edilecek olan verimli yansıma yapı faktörü ve atomik saçılma faktörü gibi parametrelerin bu yansımaya izin verip vermemesi ile alakalıdır (Blakemore 1989).

X-ışını kırınımı kristallerin yapı tayininde kullanılan bir yöntemdir. Numunelerimizi RikaguUltima III difraktometresinde CuK_α (λ = 1,5418 A^0) ışınımı kullanılarak 40 kV, 30 mA altında yapılmıştır. Ölçümler, oda sıcaklığında, $10^0 \leq 2\theta \leq 60^0$ aralığında $0{,}03^0$ 'lik adımlarla yapılmıştır.



Şekil 4.8. RikaguUltima III x-ışını difraktometresinde

4.3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

İnsan gözünün çok ince ayrıntıları görebilme olanağı sınırlıdır. Bu nedenle görüntü iletimini sağlayan ışık yollarının merceklerle değiştirilerek, daha küçük ayrıntıların görülebilmesine olanak sağlayan optik cihazlar geliştirilmiştir. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanımı ile yüksek büyütmelerde üzerinde işlem ve analizler yapılabilen görüntülerin elde edildiği cihazlar geliştirilmiştir.

Elektroskopikprensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu, bu amaca hizmet eden cihazlardan birisidir. Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması

sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar mönitörüne verilmektedir. Gerek ayrım gücü, gerek odak derinliği gerekse görüntü ve analiz birleştirme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir.

Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Kısacası; Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), yüksek enerjili bir elektron demeti ile numunelerin taranması sonucu görüntü oluşturur.

Biz hazırladığımız numunelerin yüzey yapılarını incelemek için ZeissEvo 50 taramalı elektron mikroskobunu (SEM) kullandık.



Şekil 4.9. ZeissEvo 50 taramalı elektron mikroskobunu (SEM)

4.3.4. UV Spektrometresi

Işığın malzemeden geçişini ve soğrulma spetrumlarını ölçer. Dalga boyu (λ) değiştikçe ışığın malzemeden geçiş ve soğrulma oranlarındaki değişimi verir. Numunelerimizin optik geçirgenlikleri 400 ile 1000 nm dalga boyu aralığında Perkin Elmer 45 UV-VIS isimli ultraviyole spektrometresi ile ölçülmüştür.



Şekil 4.10. Perkin Elmer 45 UV-VIS spektrometresi

5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

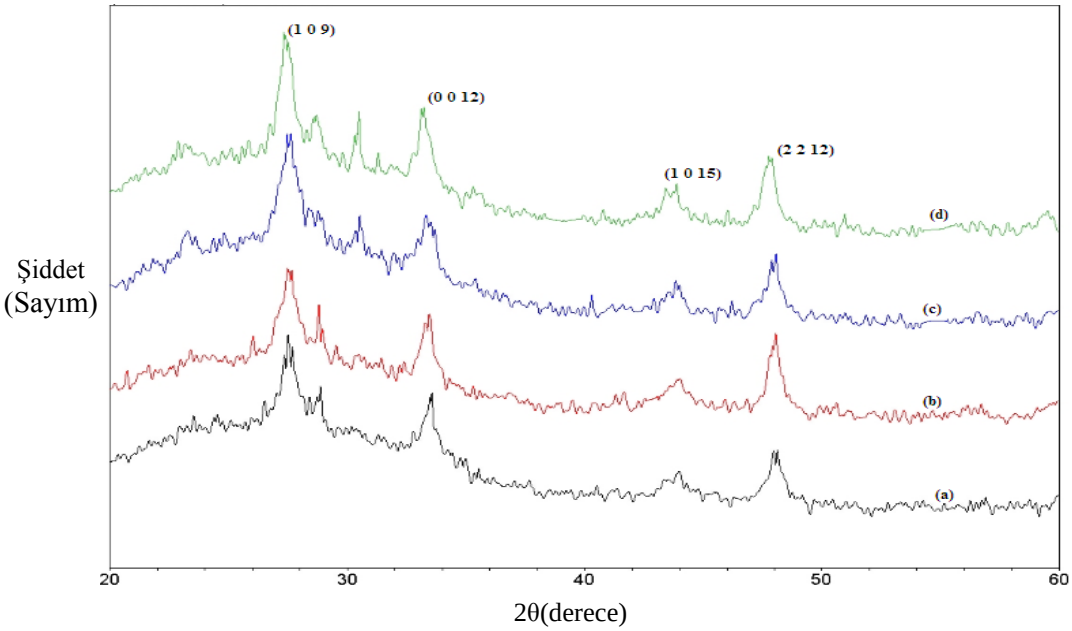
5.1. Giriş

Sol-jel daldırma yöntemi ile hazırladığımız In_2S_3 ve Ag katkılı In_2S_3 yarıiletkenlerinin yapısal ve optiksel özellikleri, tavlama sıcaklığına ve gümüş ile katkılandırılma oranlarının etkisine göre incelendi.

5.2. In_2S_3 ve Ag katkılı In_2S_3 Yarıiletkenlerinin X-Işını Kırınım Analizleri Sonuçları

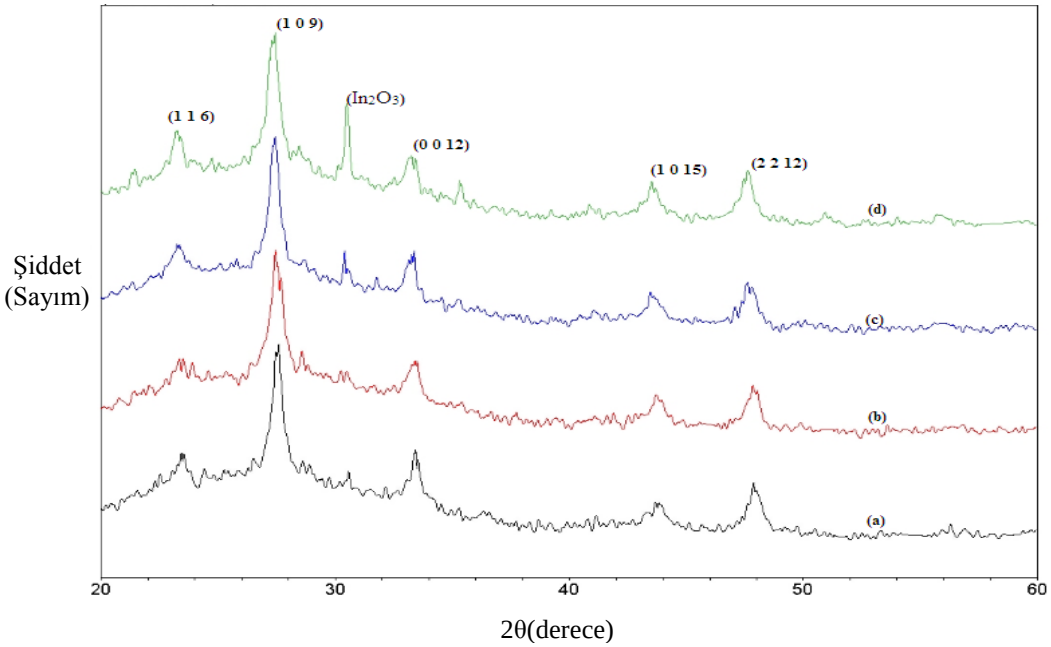
Tavlama sıcaklığı arttıkça yarıiletkenlerin kristalleşmesi de artmaktadır. In_2S_3 ve gümüş (Ag) katlıkı In_2S_3 yarıiletkenlerin x-ışını sonuçları, sıcaklığa ve gümüş (Ag) ile katkılandırma oranlarına göre değerlendirilirler.

Hazırladığımız 5 farklı çözeltilerden yapılan numunelerimizi 300^0 C, 350^0 C, 400^0 C ve 450^0 C sıcaklıklarında tavladıktan sonra her çözeltiden hazırlanan numuneleri kendi aralarında gruplandırıp sıcaklığın numunelere etkilerini aşağıdaki grafiklerde göstereceğiz.



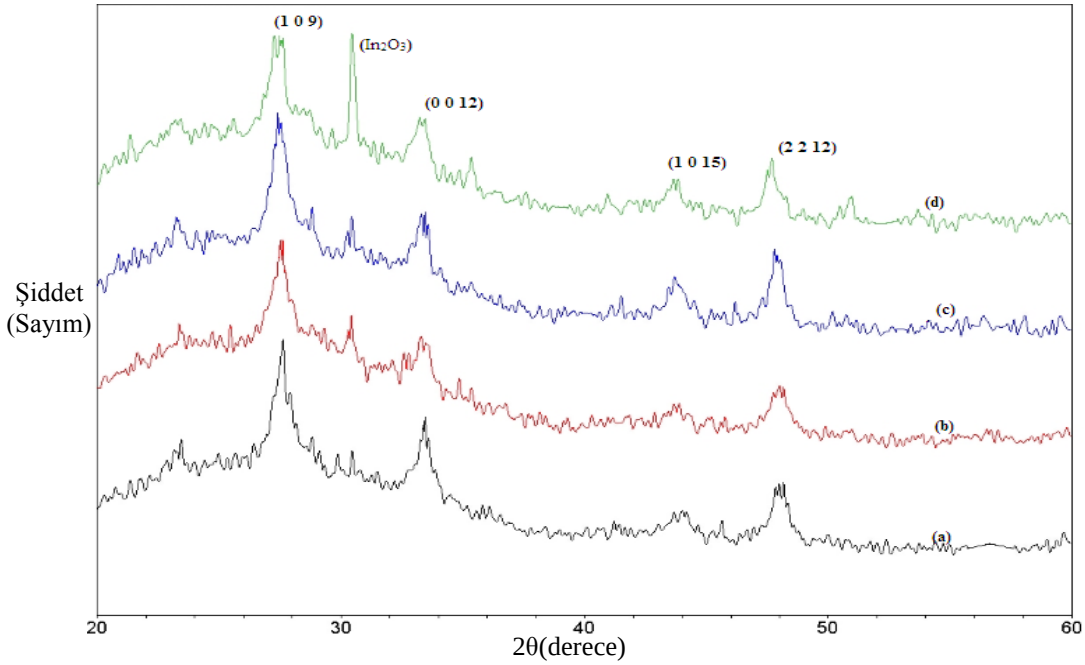
Şekil 5.1. Saf In_2S_3-1 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.1.'de (a) Saf In_2S_3-1 yarıiletkeni 300^0 C (b) Saf In_2S_3-1 yarıiletkeni 350^0 C (c) Saf In_2S_3-1yarıiletkeni 400^0 C (d) Saf In_2S_3-1yarıiletkeni 450^0 C'de tavlanmıştır. Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi tavlama sıcaklığı arttıkça In_2S_3 yarıiletkenine ait piklerin şiddetleride artmaktadır. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda In_2O_3 fazı oluşmaktadır.



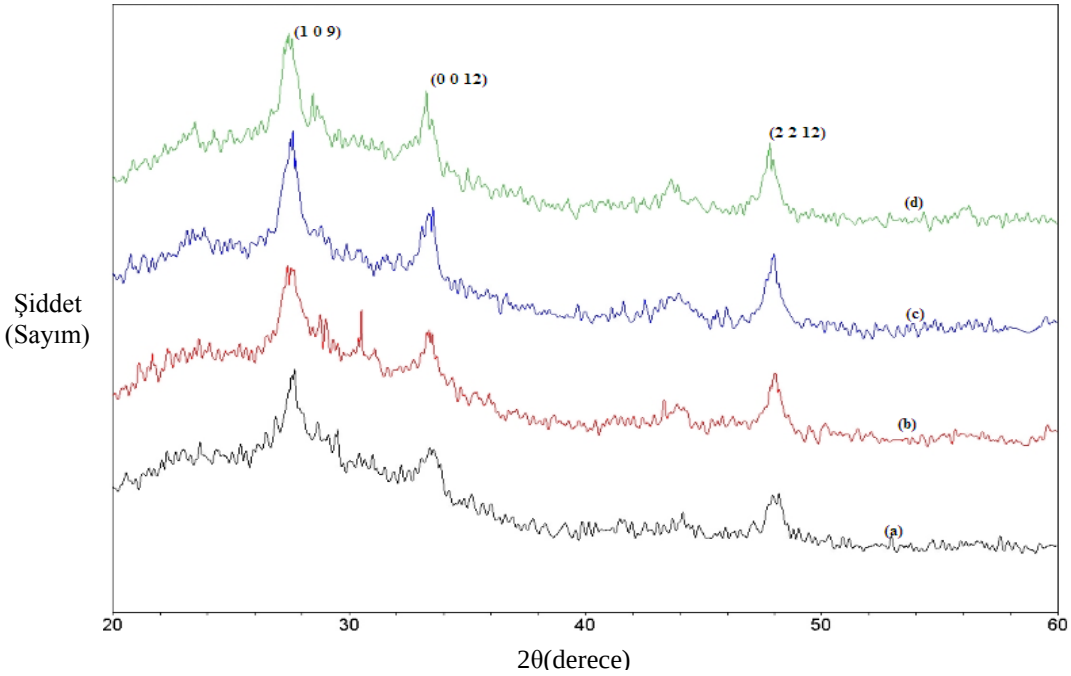
Şekil 5.2. Ag-In_2S_3- 2 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.2.'de (a) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 300^0 C (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 350^0 C (c) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 400^0 C (d) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 450^0 C'de sıcaklıklarında tavlanmıştır. Bu grafikte de % 0,5 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Şekil 5.2.'ye göre tavlama sıcaklığı arttıkça pik şiddetleri artmaktadır. Bunun nedeni kristalleşmenin artmasıdır.



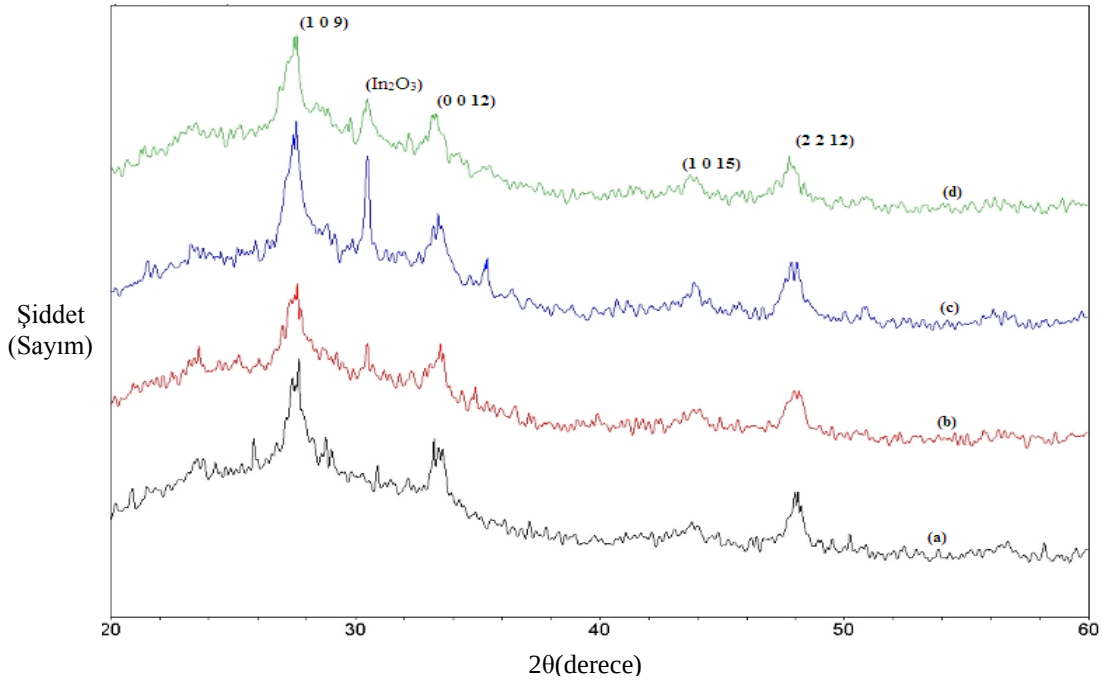
Şekil 5.3. Ag-In_2S_3-3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.3. 'de (a) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 300^0 C (b) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 350^0 C (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 400^0 C (d) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 450^0 C'de sıcaklıklarında tavlanmıştır. Bu grafikte de % 1 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Şekil 5.3.'e göre tavlama sıcaklığı arttıkça pik şiddetleri artmaktadır. Bunun nedeni kristalleşmenin artmasıdır.



Şekil 5.4. Ag-In_2S_3-4 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

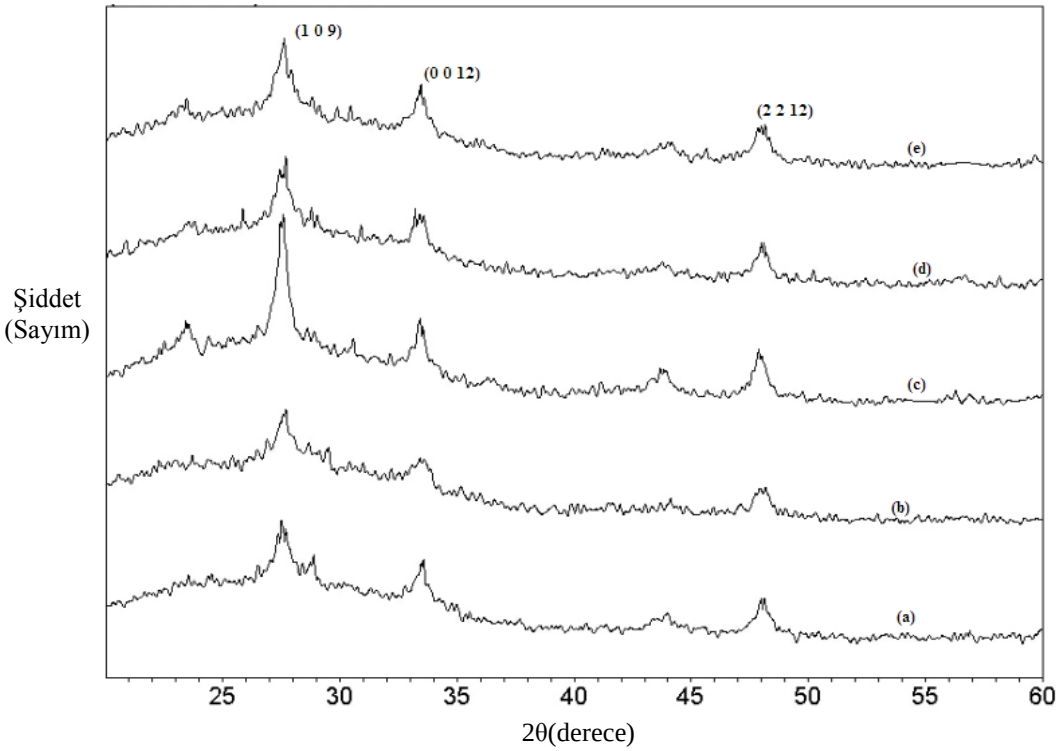
Şekil 5.4.'de (a) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 300^0 C (b) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 350^0 C (c) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 400^0 C (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 450^0 C'de tavlanmıştır. Bu grafikte de % 1,5 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Şekil 5.4. 'de göre tavlama sıcaklığı arttıkça pik şiddetleri artmaktadır. Bunun nedeni kristalleşmenin artmasıdır.



Şekil 5.5. Ag-In_2S_3-5 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

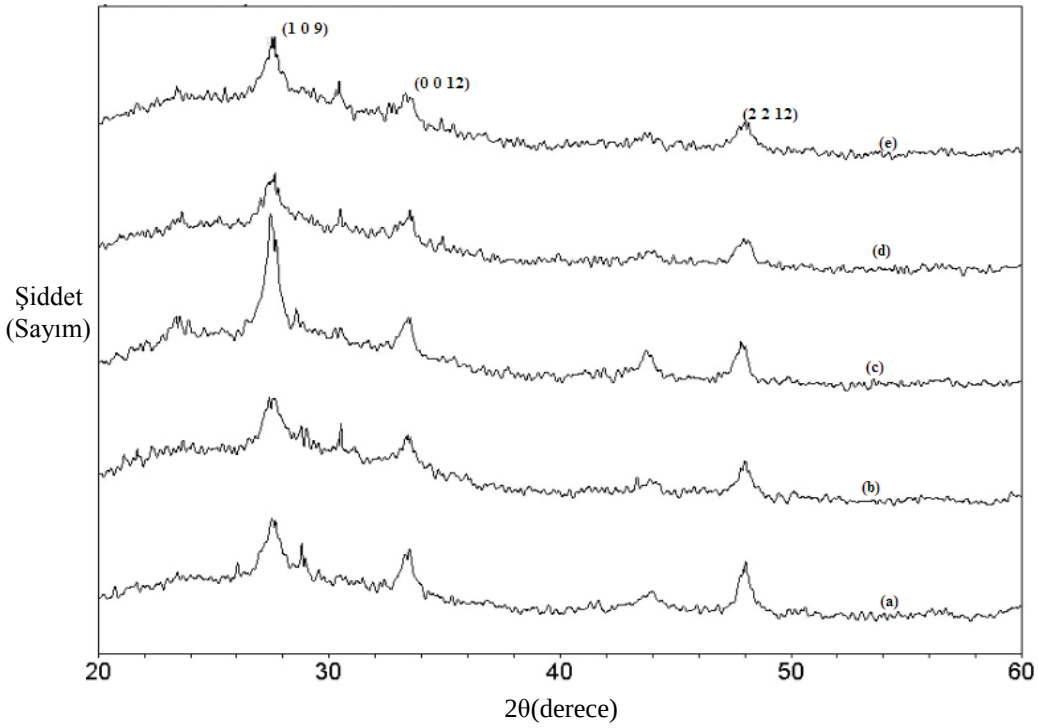
Şekil 5.5.'de (a) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 300^0 C (b) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 350^0 C (c) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 400^0 C (d) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 450^0 C'de tavlanmıştır. Bu grafikte de % 2 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Şekil 5.5.'de göre tavlama sıcaklığı arttıkça pik şiddetleri artmaktadır. Bunun nedeni kristalleşmenin artmasıdır.

Şimdi gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkenlerinin XRD sonuçlarını ve gümüş oranının etkilerini inceleyeceğiz. 300^0 C, 350^0 C, 400^0 C ve 450^0 C'de tavlanmış In_2S_3-1, Ag-In_2S_3-2, Ag-In_2S_3-3, Ag-In_2S_3-4 ve Ag-In_2S_3-5 serilerinin karşılaştırmalarını inceleyeceğiz. Aynı sıcaklıkta tavlanmış numunelerimiz katkı maddemiz gümüş oranına göre değişimlerin olduğu gözlenmektedir.



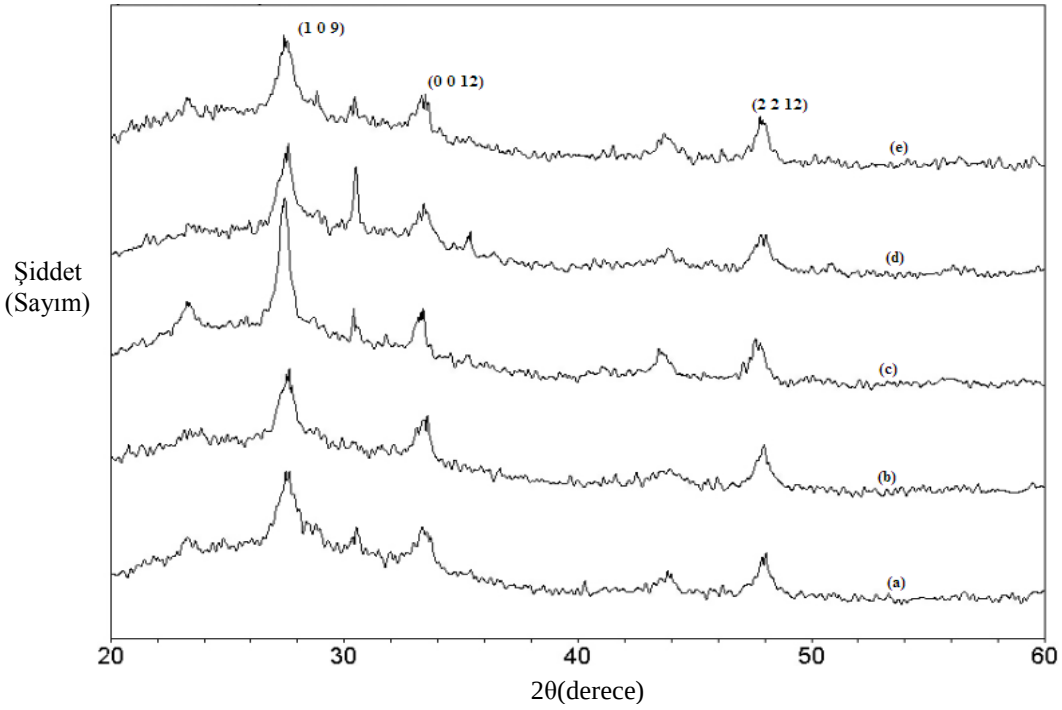
Şekil 5.6. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.6.'da Ag-In_2S_3 çözeltileri ile hazırlanmış numunelerin hepsi 300^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.6.'da (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenine ait XRD grafikleridir. Şekil 5.6. (c)'ye göre % 1 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerin XRD pikleri en şiddetlidir. Fakat % 1 'in üstündeki katkılandırılmalarda pik şiddetleri tekrar azalmaktadır. Buna göre optimum gümüş katkılandırma oranı % 1'dir.



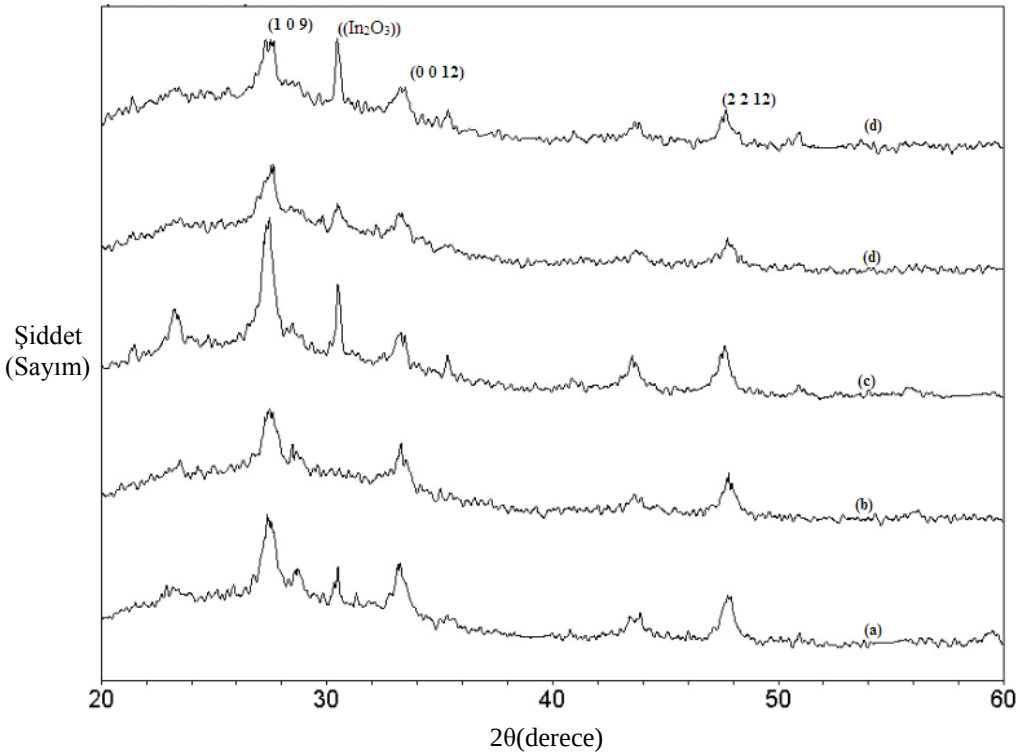
Şekil 5.7. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.7.'da Ag-In_2S_3 çözeltileri ile hazırlanmış numunelerin hepsi 350^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.7.'da (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenine ait XRD grafikleridir. Şekil 5.7. (c)'ye göre % 1 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerin XRD pikleri en şiddetlidir. Fakat % 1 'in üstündeki katkılandırılmalarda pik şiddetleri tekrar azalmaktadır. Buna göre optimum gümüş katkılandırma oranı % 1'dir.



Şekil 5.8. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.8.'da Ag-In_2S_3 çözeltileri ile hazırlanmış numunelerin hepsi 400^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.8.'da (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenine ait XRD grafikleridir. Şekil 5.8. (c)'ye göre % 1 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerin XRD pikleri en şiddetlidir. Fakat % 1 'in üstündeki katkılandırılmalarda pik şiddetleri tekrar azalmaktadır. Buna göre optimum gümüş katkılandırma oranı % 1'dir.

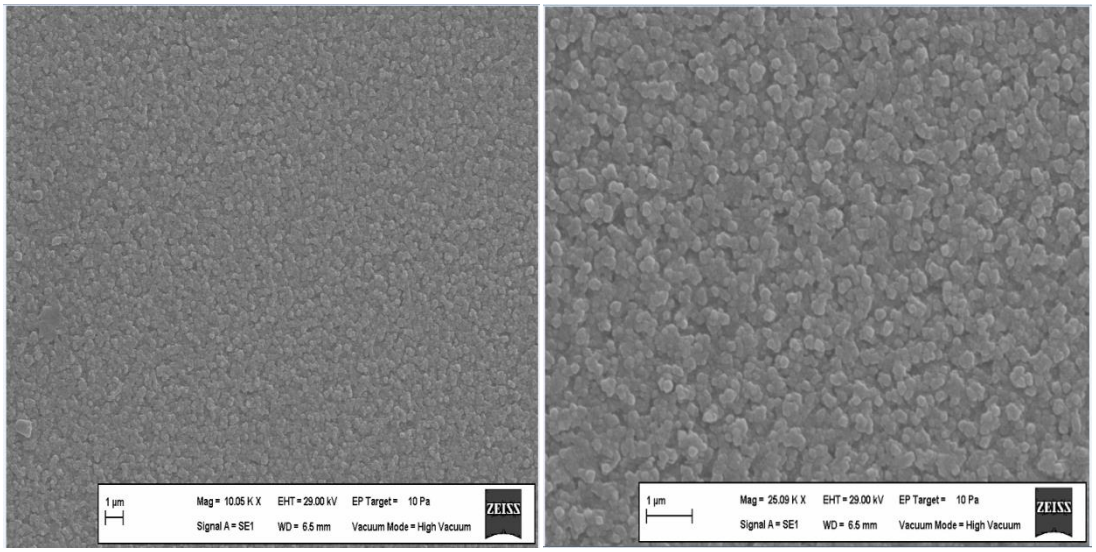


Şekil 5.9. Ag-In_2S_3 çözeltisi ile hazırlanmış numunelere ait XRD sonuçları, (a) Ag katkılısı yok, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.9.'da Ag-In_2S_3 çözeltileri ile hazırlanmış numunelerin hepsi 450^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.9.'da (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenine ait XRD grafikleridir. Şekil 5.9. (c)'ye göre % 1 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerin XRD pikleri en şiddetlidir. Fakat % 1 'in üstündeki katkılandırılmalarda pik şiddetleri tekrar azalmaktadır. Buna göre optimum gümüş katkılandırma oranı % 1'dir.

5.3. In_2S_3 ve Ag katkılı In_2S_3 Yarıiletkenlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları

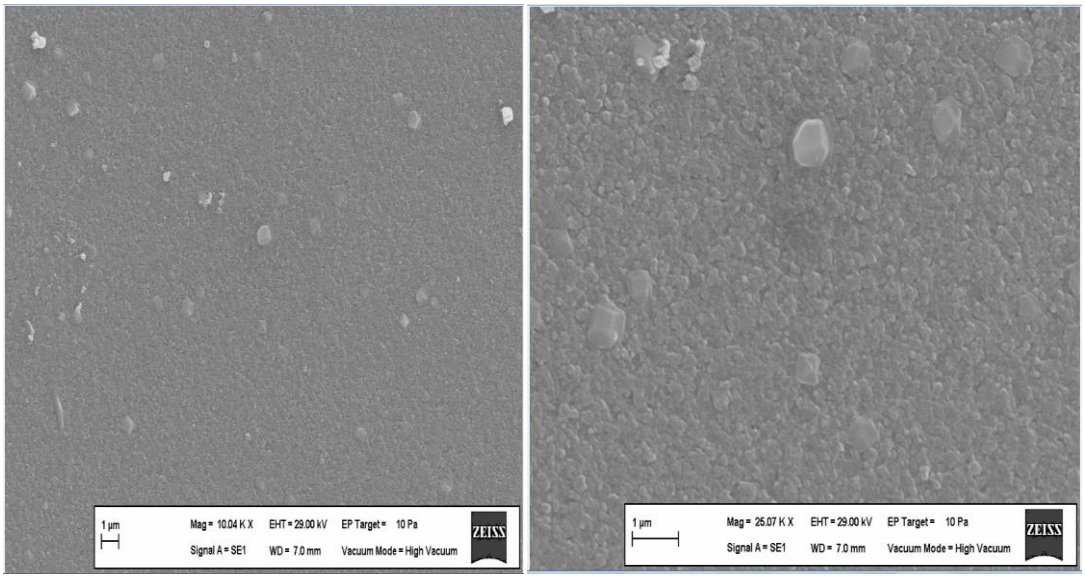
Bu çalışmada tüm örneklerin yüzey yapıları taramalı elektron mikroskobu ile incelmiştir. Sol-jel yöntemi ile hazırladığımız numunelerimizin her birinin yüzey görüntüleri alınırken yaklaşık olarak 1005 ve 2509 büyütülerek incelenmiştir. Numunelerimizin yüzey görüntüleri tavlama sıcaklığına ve gümüş oranına göre farklılıklar göstermektedir. Aşağıdaki şekillerde birkaç numunemizin yüzey görüntüleri verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.10. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) 1004 kez büyütülmüş, (b) 2509 kez büyütülmüş filmler

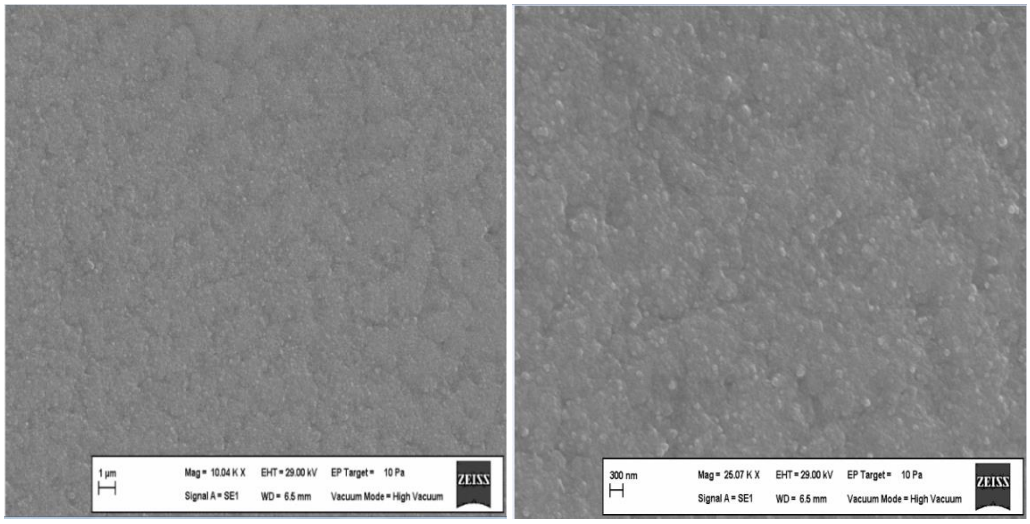
Şekil 5.10.'da (a) Numunemizin 1004 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsü, (b) Numunemizin 2509 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsüdür. Şekil 5.10.'da Sol-jel yöntemi ile hazırlamış olduğumuz In_2S_3-1 yarıiletkenimizde gümüş katkısı olmayıp 400^0 C'de tavlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 5.11. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-2 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 0,5 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 0,5 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler

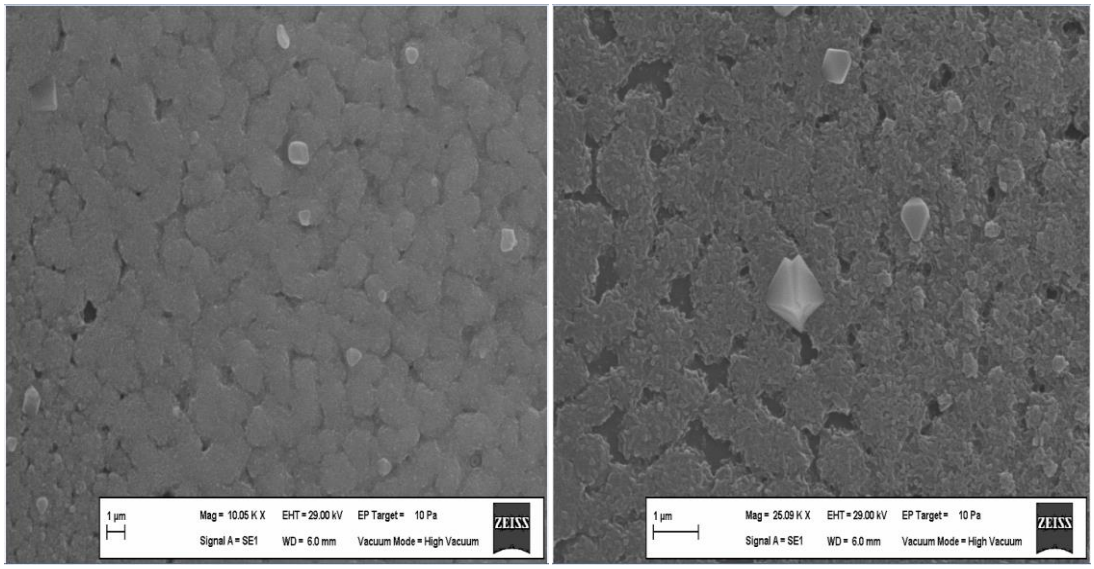
Şekil 5.11.'de % 0,5 Ag katkılı filmlerimizin (a) 1004 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsü, (b) 2509 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsüdür. Şekil 5.11.'da Sol-jel yöntemi ile hazırlamış olduğumuz In_2S_3-2 yarıiletkenimiz 400^0 C'de tavlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 5.12. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-3 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 1 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 1 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler

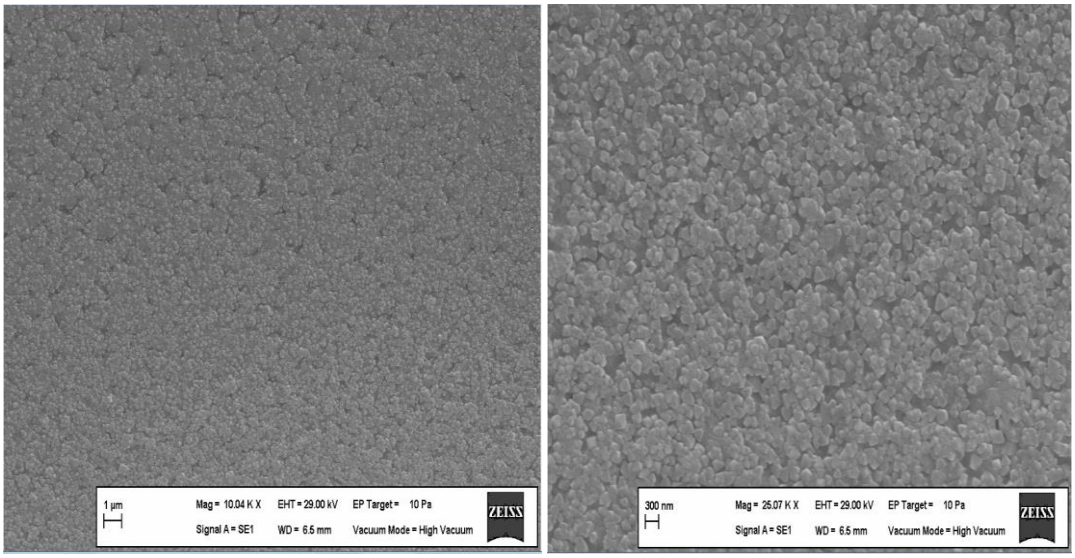
Şekil 5.12.‘de % 1 Ag katkılı filmlerimizin (a) 1004 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsü, (b) 2509 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsüdür. Şekil 5.12.’da Sol-jel yöntemi ile hazırlamış olduğumuz In_2S_3-3 yarıiletkenimiz 400^0 C‘de tavlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 5.13. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-4 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 1,5 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 1,5 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler

Şekil 5.13.‘de % 1,5 Ag katkılı filmlerimizin (a) 1004 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsü, (b) 2509 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsüdür. Şekil 5.13.’da Sol-jel yöntemi ile hazırlamış olduğumuz In_2S_3-4 yarıiletkenimiz 400^0 C‘de tavlanmıştır.



(a) (b)

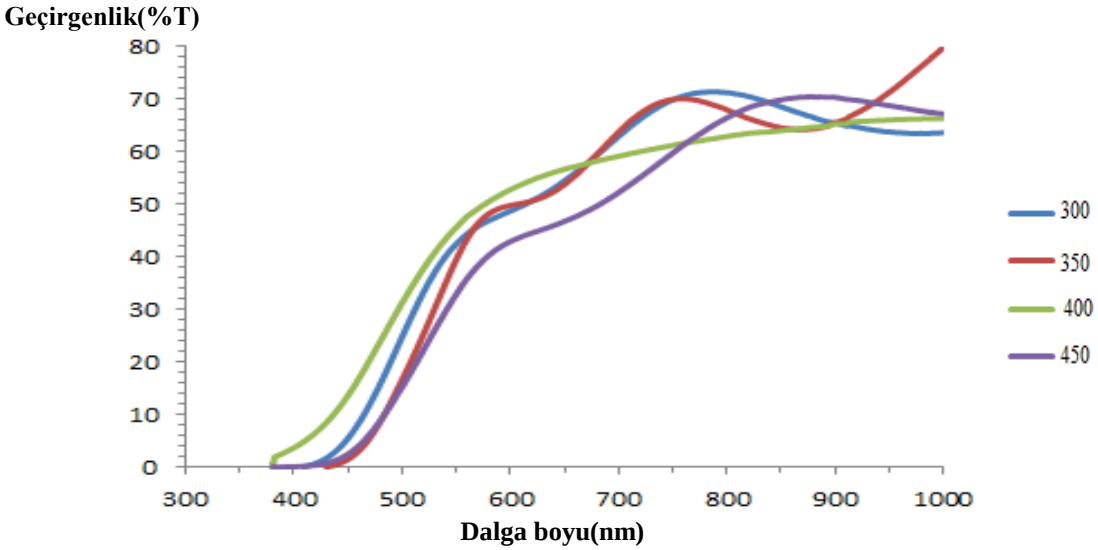
Şekil 5.14. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-5 yarıiletkeninin SEM görüntüsü, (a) % 2 Ag katkılı 1004 kez büyütülmüş, (b) % 2 Ag katkılı 2509 kez büyütülmüş filmler

Şekil 5.14.'de % 2 Ag katkılı filmlerimizin (a) 1004 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsü, (b) 2509 büyütülerek çekilmiş SEM görüntüsüdür. Şekil 5.14.'da Sol-jel yöntemi ile hazırlamış olduğumuz In_2S_3-5 yarıiletkenimiz 400^0 C'de tavlanmıştır.

5.4. In_2S_3 ve Ag katkılı In_2S_3 Yarıiletkenlerinin Optiksel Özellikleri

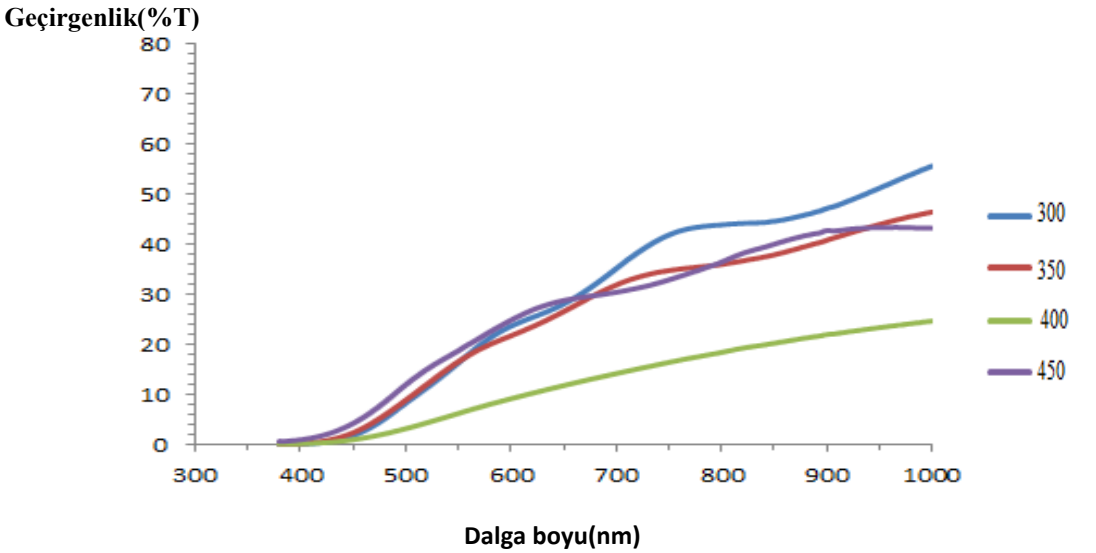
5.4.1. Tavlama Sıcaklılığının Optiksel Geçirgenliğe Etkisi

Tavlama sıcaklılığının In_2S_3 yarıiletkenlerin geçirgenlikleri üzerindeki etkileri aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



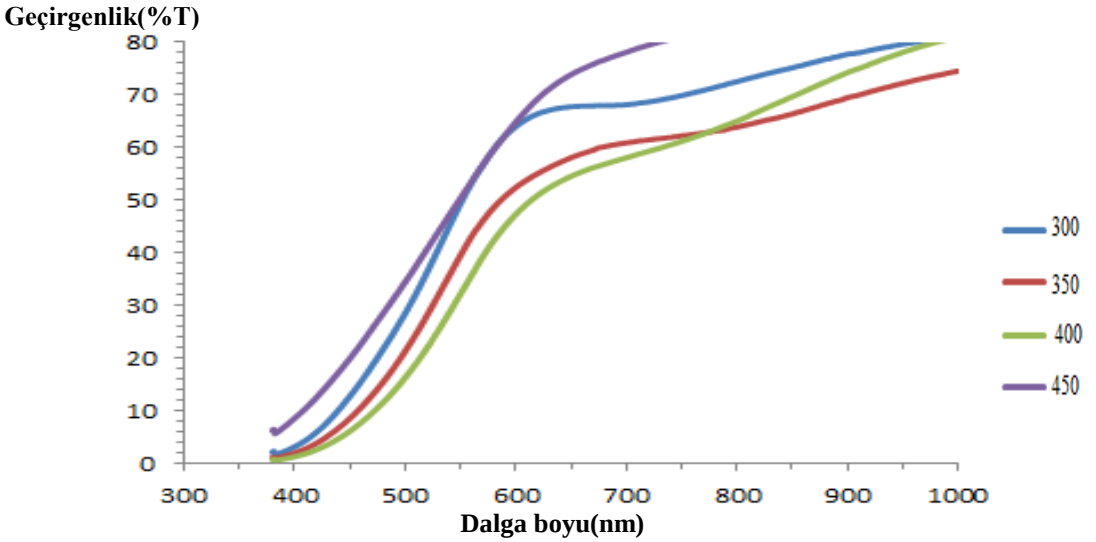
Şekil 5.15. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.15.'de tavlama sıcaklığının In_2S_3-1 yarıiletkeninin geçirgenliği üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.15.'de In_2S_3-1 yarıiletkenleri (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C ve (d) 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.



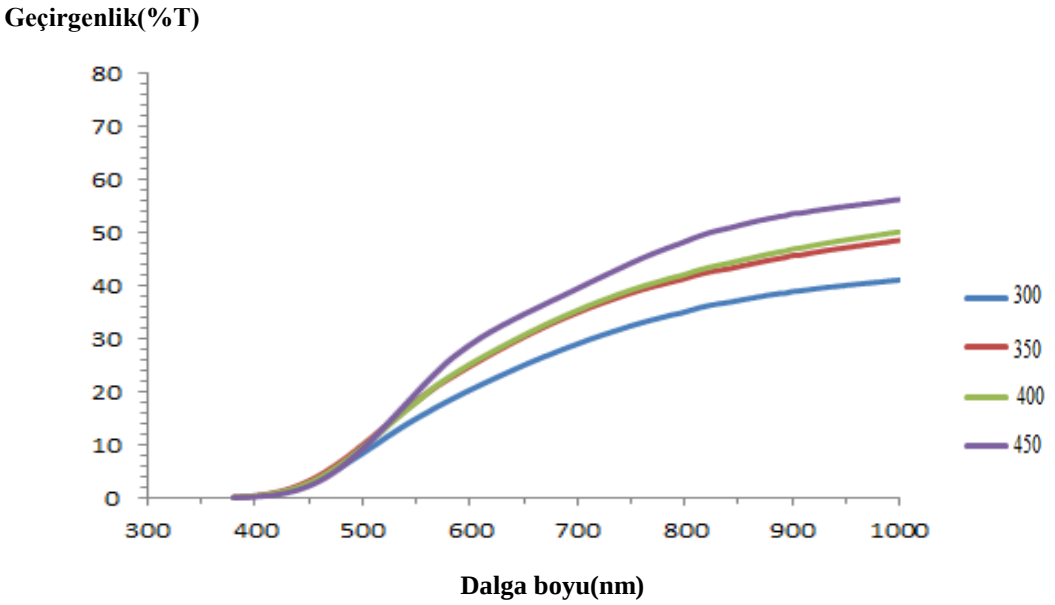
Şekil 5.16. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-2 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.16.'de tavlama sıcaklığının Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeninin geçirgenliği üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.16.'de Ag-In_2S_3-2 yarıiletkenleri (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C ve (d) 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.



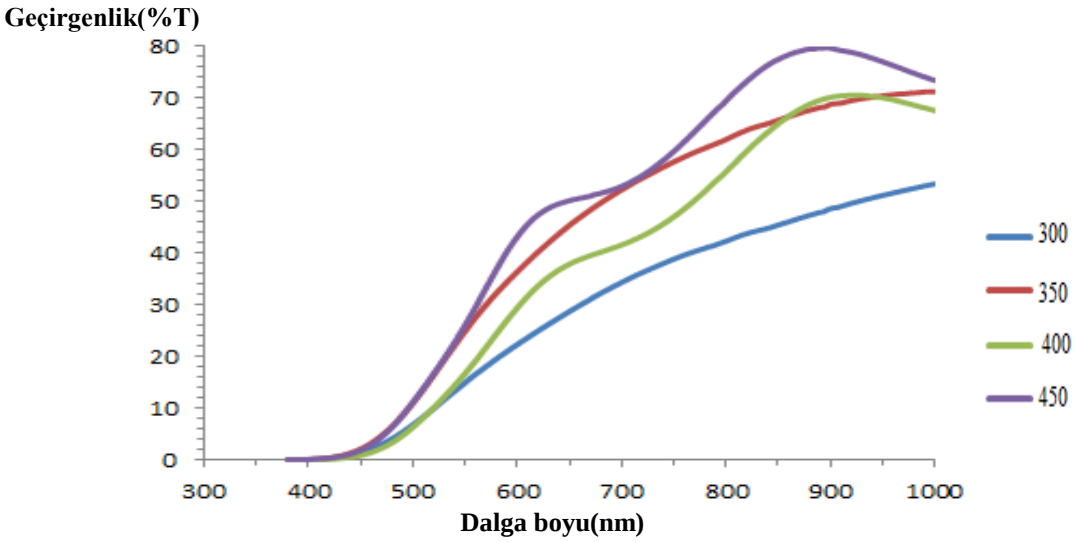
Şekil 5.17. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-3 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.17.'de tavlama sıcaklığının Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeninin geçirgenliği üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.17.'de Ag-In_2S_3-3 yarıiletkenleri (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C ve (d) 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.



Şekil 5.18. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-4 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.18.'de tavlama sıcaklığının Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeninin geçirgenliği üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.18.'de Ag-In_2S_3-4 yarıiletkenleri (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C ve (d) 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

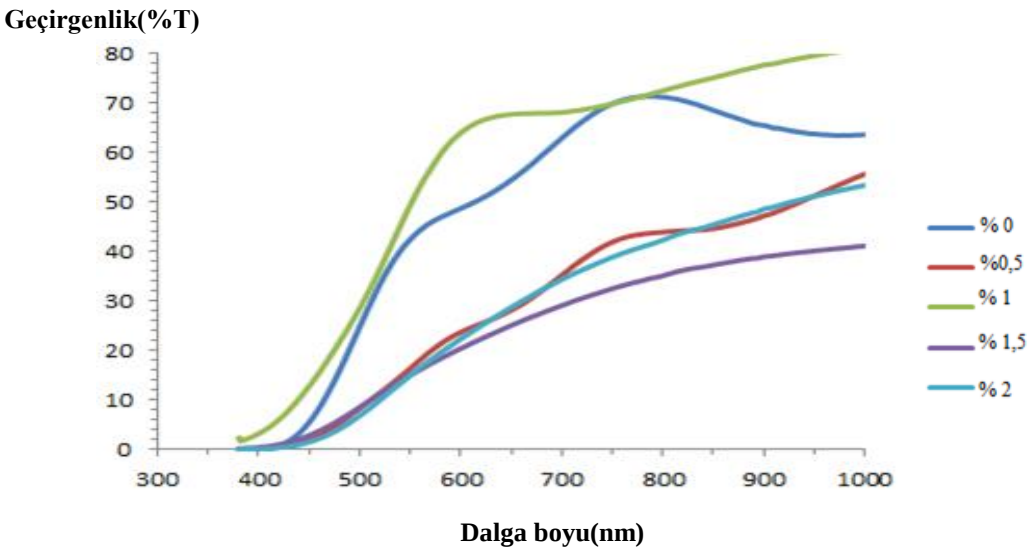


Şekil 5.19. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel geçirgenliğe etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.19.'de tavlama sıcaklığının In_2S_3-5 yarıiletkeninin geçirgenliği üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.19.'de In_2S_3-5 yarıiletkenleri (a) 300^0 C, (b) 350^0 C, (c) 400^0 C ve (d) 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

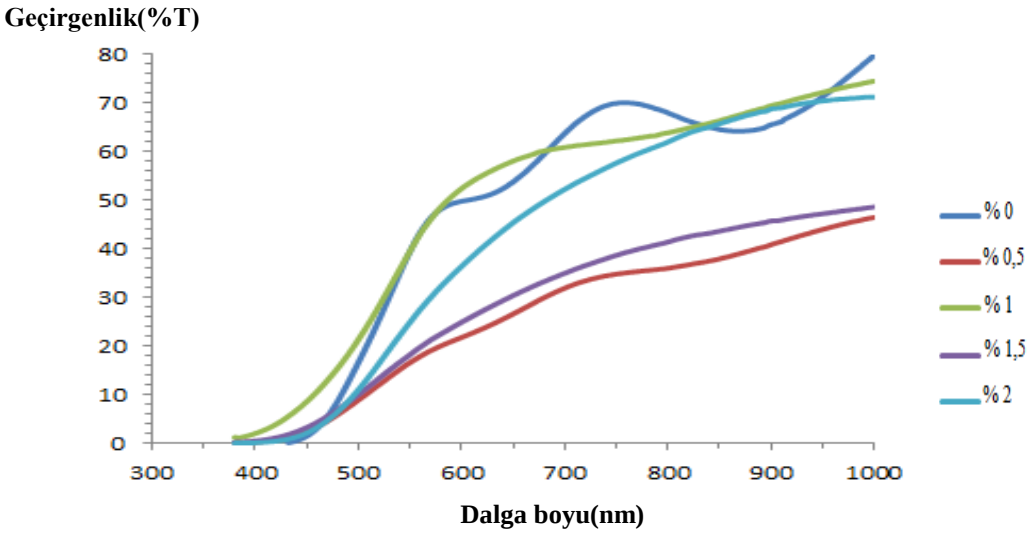
5.4.2. Gümüş Oranının Optiksel Geçirgenliğe Etkisi

Hazırlanan çözeltilerdeki gümüş oranlarının değişmesinin optiksel geçirgenliğe etkisi incelenmiş olur bu yarıiletkenler aynı sıcaklıkta tavlanmıştır. Gümüş oranlarının optiksel geçirgenliğe etkisi aşağıda grafiklerde gösterilmektedir.



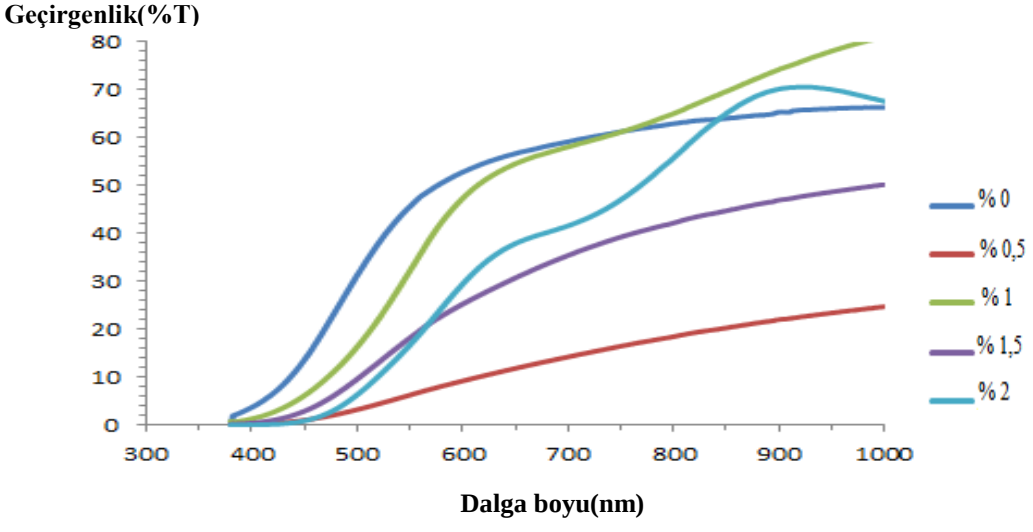
Şekil 5.20. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (300^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.20.'de gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkeninin gümüş oranının geçirgenlik üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.20'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni tüm filmler 300^0 C sıcaklığında tavlanmıştır.



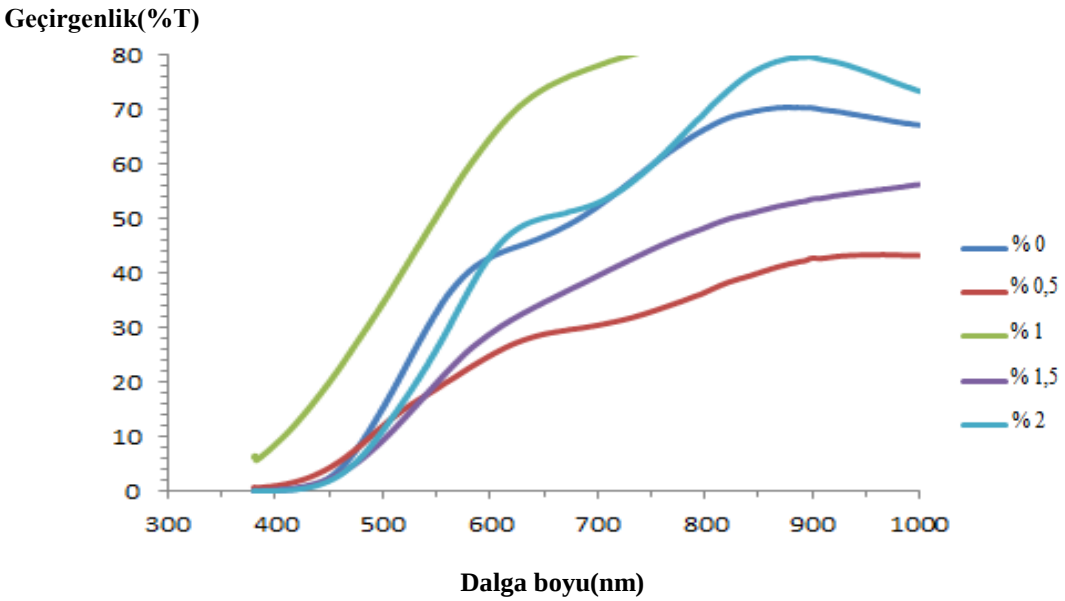
Şekil 5.21. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (350^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.21.'de gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkeninin gümüş oranının geçirgenlik üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.21.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni tüm filmler 350^0 C sıcaklığında tavlanmıştır.



Şekil 5.22. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (400^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.22.'de gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkeninin gümüş oranının geçirgenlik üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.22.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni tüm filmler 400^0 C sıcaklığında tavlanmıştır.

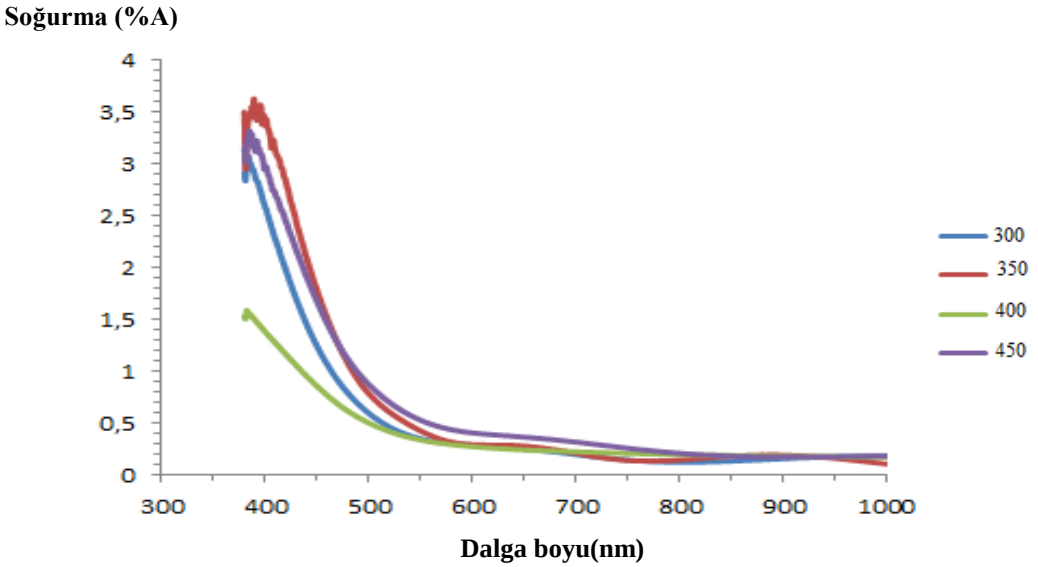


Şekil 5.23. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel geçirgenliğe etkisi (450^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.23.'de gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkeninin gümüş oranının geçirgenlik üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 5.23.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni tüm filmler 450^0 C sıcaklığında tavlanmıştır.

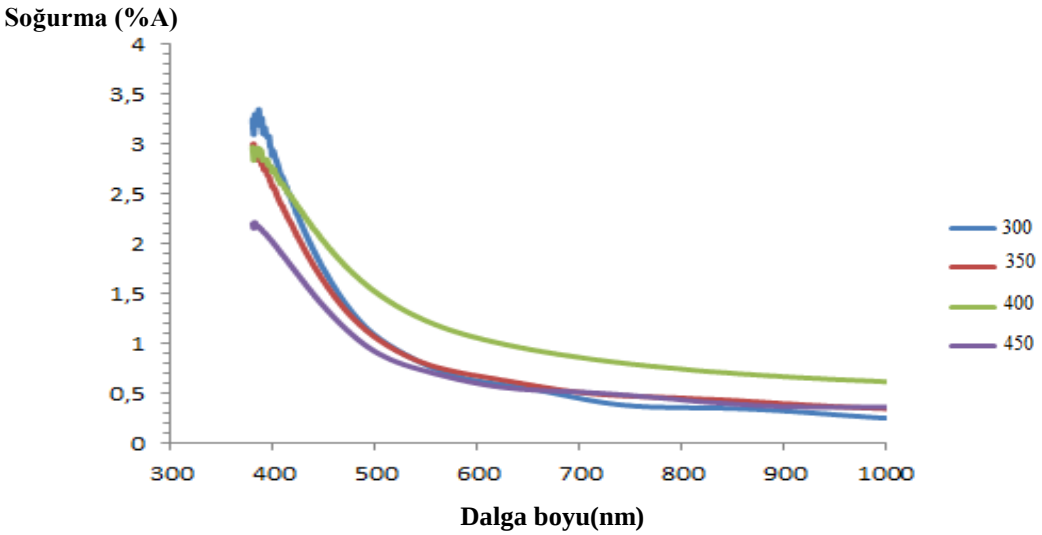
5.4.3. Tavlama Sıcaklığının Optik Soğurma Üzerindeki Etkileri

Tavlama sıcaklılığının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik soğurma üzerindeki etkilerini inceleyeceğiz. Farklı sıcaklıklarda tavlanan numunelerimiz tavlama sıcaklıklarının soğurmalarına etkileri aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



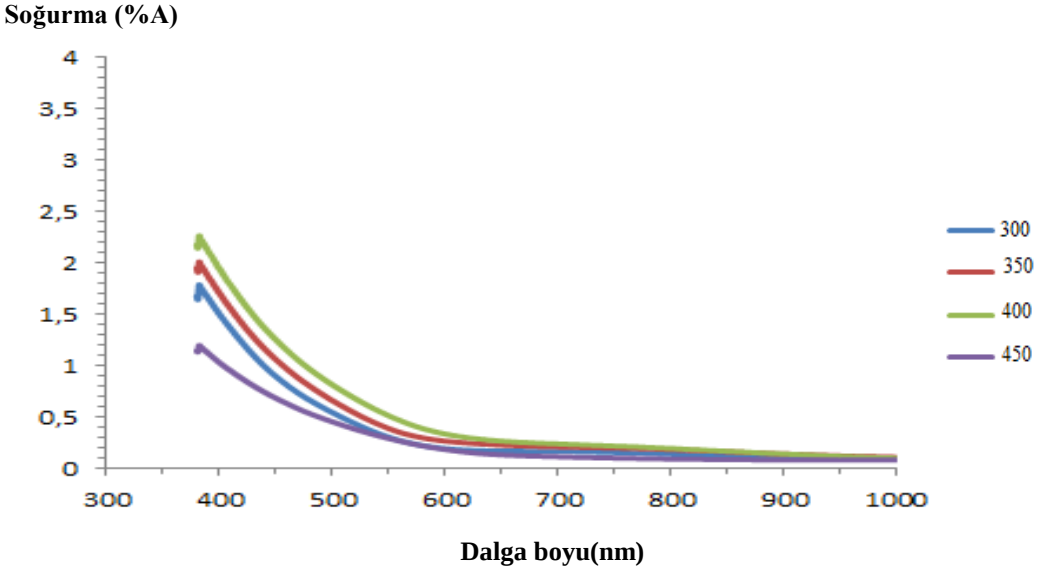
Şekil 5.24. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.24.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.24'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni 300^0 C, (b) In_2S_3-1 yarıiletkeni 350^0 C, (c) In_2S_3-1 yarıiletkeni 400^0 C, (d) In_2S_3-1 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanarak tavlama sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir.



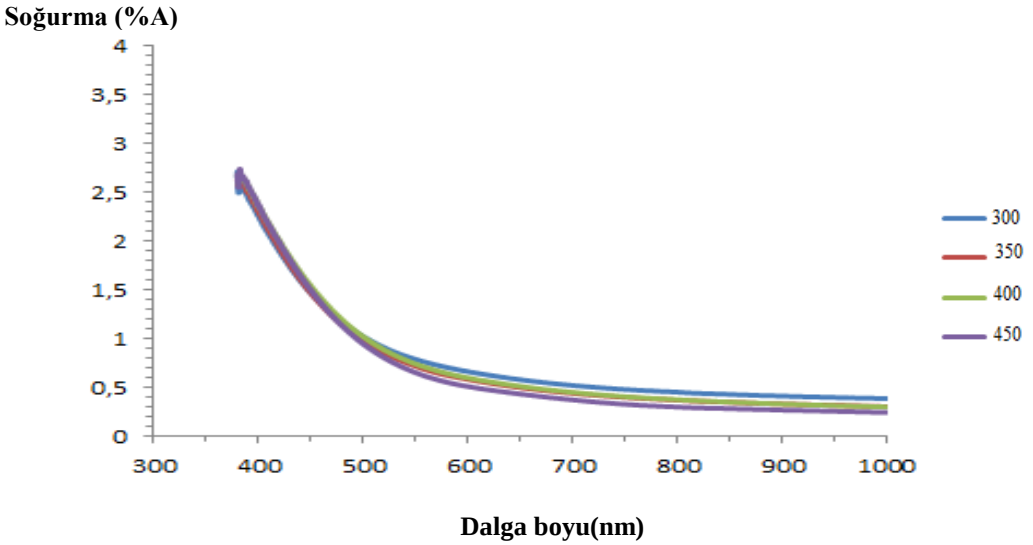
Şekil 5.25. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-2 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.25.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.25.'de (a) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanarak tavlama sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir.



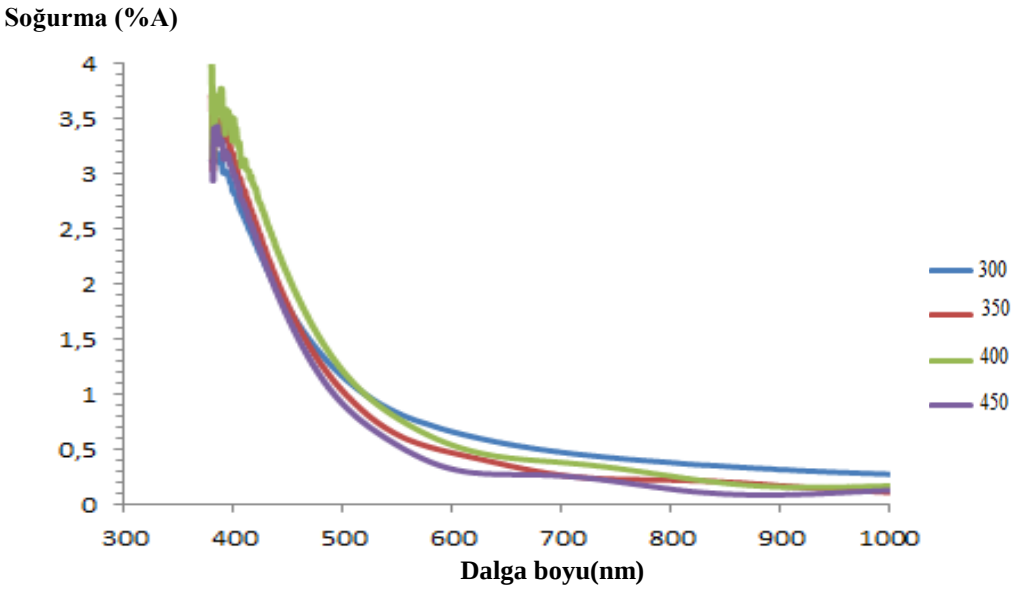
Şekil 5.26. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-3 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.26.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.26.'de (a) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanarak tavlama sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir.



Şekil 5.27. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-4 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.27.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.27.'de (a) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanarak tavlama sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir.

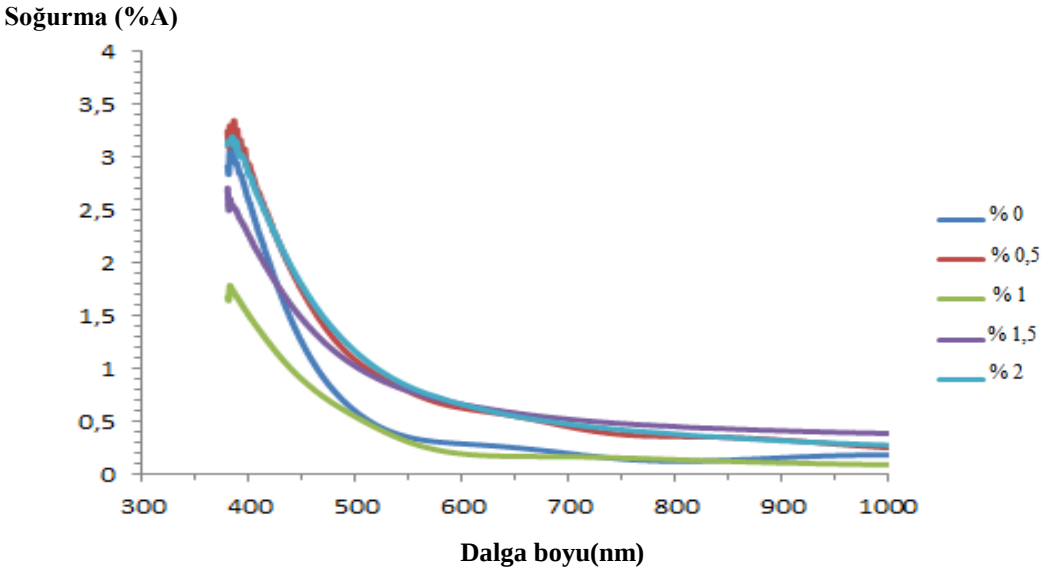


Şekil 5.28. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optiksel soğurmaya etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.28.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.28.'de (a) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanarak tavlama sıcaklıklarının etkileri incelenmiştir.

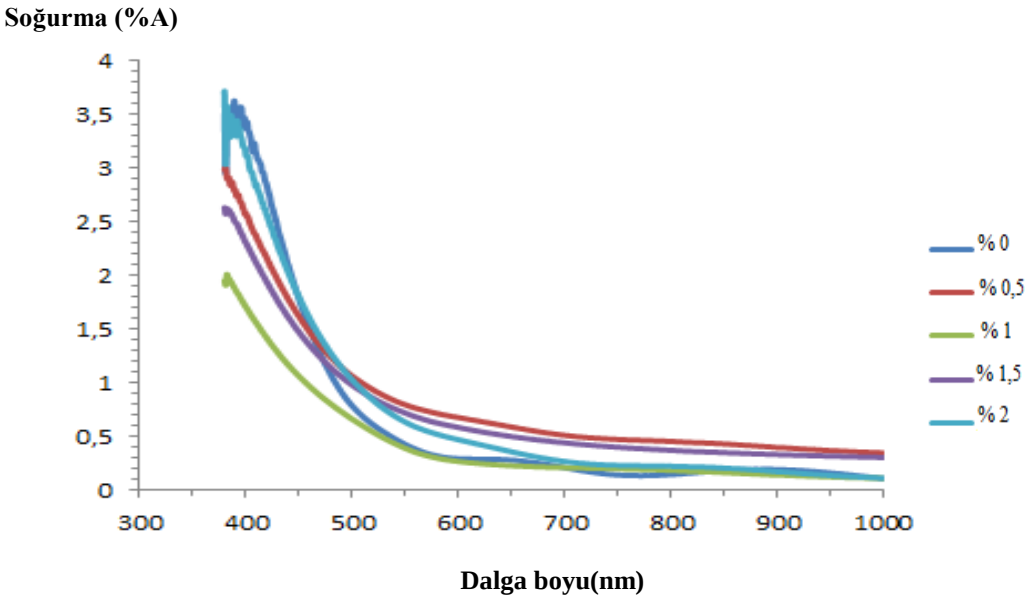
5.4.4.Gümüş Oranının Optik Soğurma Üzerindeki Etkileri

Sol-jel yöntemi ile hazırladığımız Ag katkılı In_2S_3 çözeltilerinin gümüş katkısı oranının optik soğurmaya etkisini inceleyeceğiz.



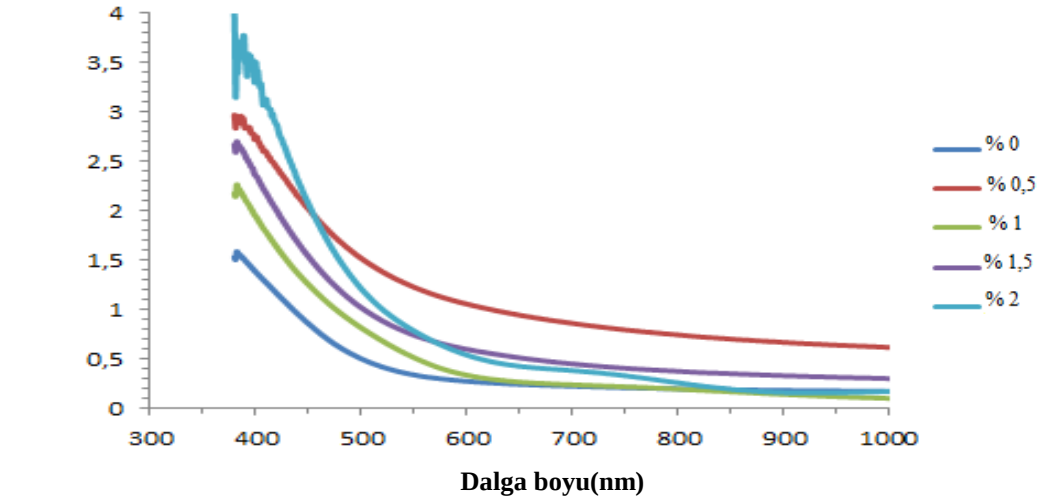
Şekil 5.29. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (300^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.29.'de farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış ve aynı sıcaklıkta tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimler gösterilmiştir. Şekil 5.29.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeninlerinin hepsi 300^0 C sıcaklığında tavlanarak gümüşün etkisi incelenmiştir.



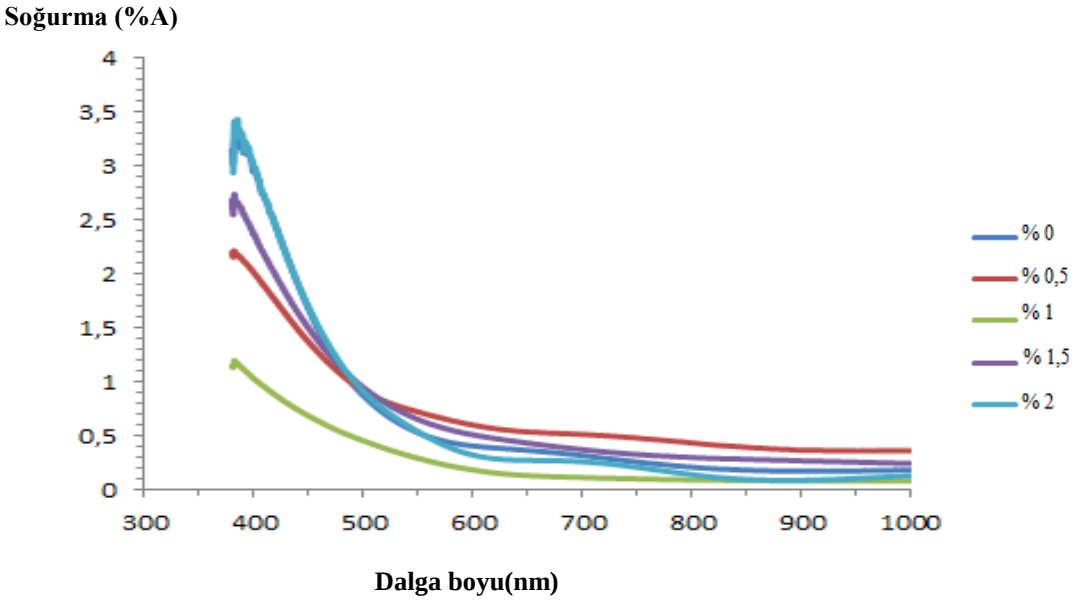
Şekil 5.30. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (350^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.30.'de farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış ve aynı sıcaklıkta tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimler gösterilmiştir. Şekil 5.30.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeninlerinin hepsi 350^0 C sıcaklığında tavlanarak gümüşün etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.31. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (400^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.31.'de farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış ve aynı sıcaklıkta tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimler gösterilmiştir. Şekil 5.31.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeninlerinin hepsi 400^0 C sıcaklığında tavlanarak gümüşün etkisi incelenmiştir.



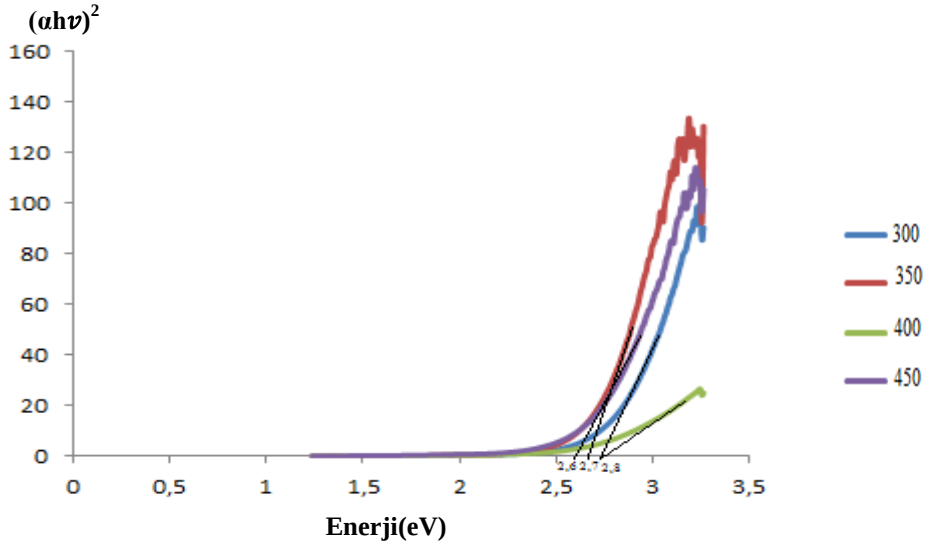
Şekil 5.32. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurmaya etkisi (450^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.32.'de farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış ve aynı sıcaklıkta tavlanmış numunelerin optik soğurmalarındaki değişimler gösterilmiştir. Şekil 5.32.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni, (e) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeninlerinin hepsi 450^0 C sıcaklığında tavlanarak gümüşün etkisi incelenmiştir.

5.4.5. Tavlama Sıcaklığının Optik Bant Aralığına Etkileri

Sol-jel yöntemi ile hazırlanan In_2S_3 ve Ag-In_2S_3 çözeltileri ile kaplanan numunelerin optik bant hesaplamaları tauc metodu kullanılarak aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibidir. Tauc metoduna göre $(\alpha h\nu)^2 - (h\nu)$ 'nın grafiği bize optik bant aralığını (Eg) vermektedir. Bu çalışmadaki tümfilmlerimiz 300^0 C, 350^0 C, 400^0 C ve

450^0 C sıcaklıklarında 30 dk tavlanmış ve optik bant aralıkları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

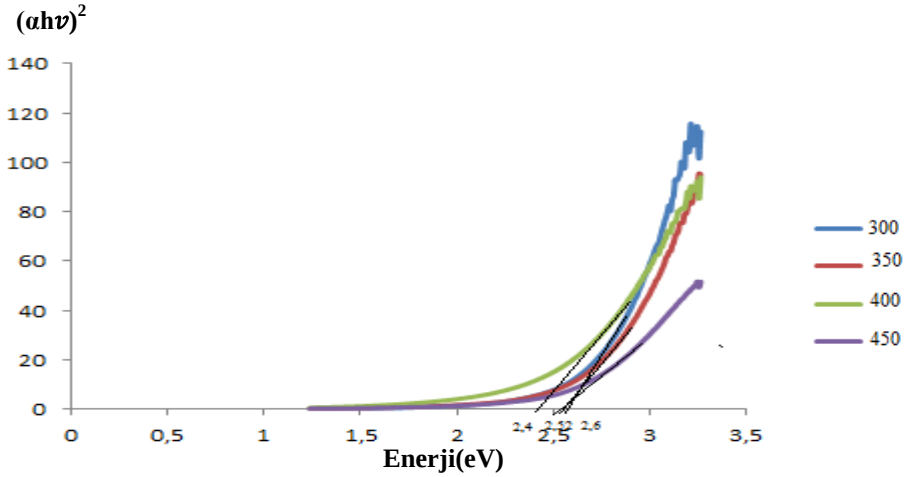


Şekil 5.33. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.33.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış In_2S_3-1 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları gösterilmiştir. Şekil 5.33.'de (a) In_2S_3-1 yarıiletkeni 300^0 C, (b) In_2S_3-1 yarıiletkeni 350^0 C, (c) In_2S_3-1 yarıiletkeni 400^0 C, (d) In_2S_3-1 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

Çizelge 5.1. In_2S_3-1 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama Sıcaklığı (^{0} C)	Bant Aralığı (eV)
In_2S_3-1	300	2,89
In_2S_3-1	350	2,71
In_2S_3-1	400	2,89
In_2S_3-1	450	2,66

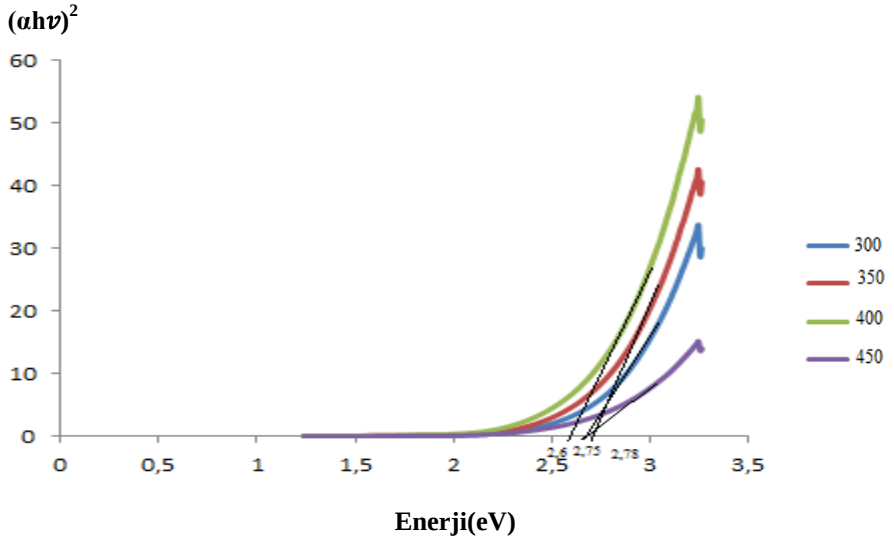


Şekil 5.34. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-2 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.34.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış Ag-In_2S_3-2 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları gösterilmiştir. Şekil 5.34.'de (a) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

Çizelge 5.2. Ag-In_2S_3-2 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama Sıcaklığı (^{0} C)	Bant Aralığı (eV)
Ag-In_2S_3-2	300	2,67
Ag-In_2S_3-2	350	2,68
Ag-In_2S_3-2	400	2,47
Ag-In_2S_3-2	450	2,52

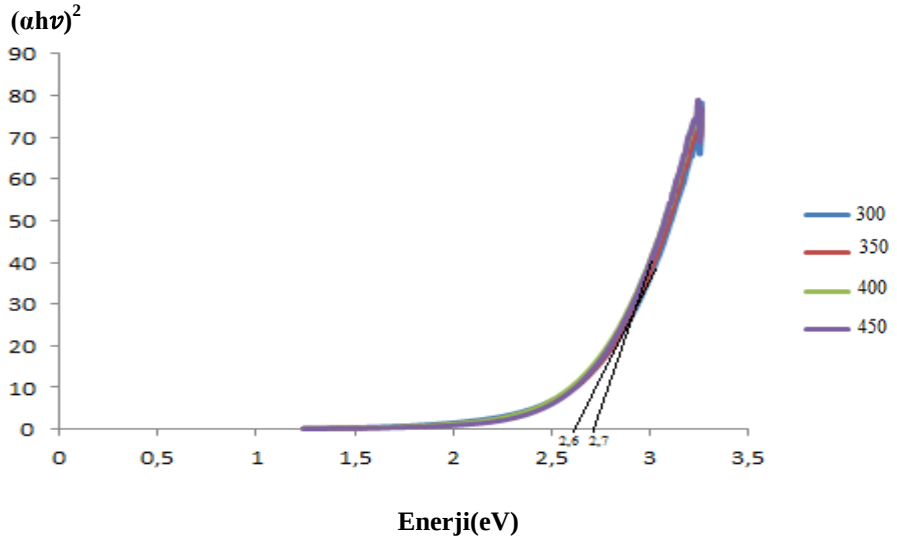


Şekil 5.35. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-3 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.35.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış Ag-In_2S_3-3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları gösterilmiştir. Şekil 5.35.'de (a) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

Çizelge 5.3. Ag-In_2S_3-3 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama Sıcaklığı (^{0} C)	Bant Aralığı (eV)
Ag-In_2S_3-3	300	2,75
Ag-In_2S_3-3	350	2,78
Ag-In_2S_3-3	400	2,62
Ag-In_2S_3-3	450	2,74

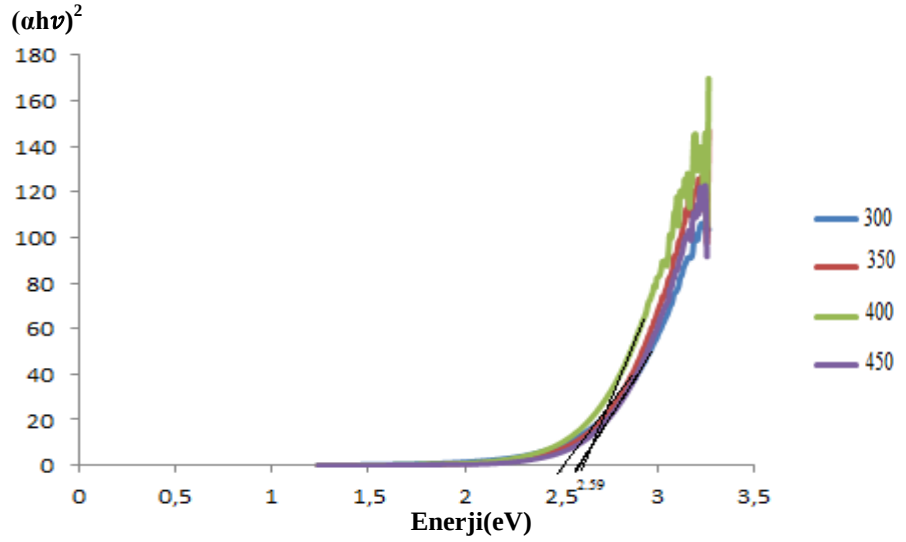


Şekil 5.36. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-4 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

Şekil 5.36.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış Ag-In_2S_3-4 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları gösterilmiştir. Şekil 5.36.'de (a) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

Çizelge 5.4. Ag-In_2S_3-4 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama Sıcaklığı (^{0} C)	Bant Aralığı (eV)
Ag-In_2S_3-4	300	2,63
Ag-In_2S_3-4	350	2,62
Ag-In_2S_3-4	400	2,71
Ag-In_2S_3-4	450	2,73



Şekil 5.37. Sol-jel yöntemi ile hazırlanmış In_2S_3-5 yarıiletkenlerinde tavlama sıcaklığının optik bant aralığına etkisi, (a) 300^0 C, (b) 350^0C, (c) 400^0C, (d) 450^0 C'de tavlanmış filmler

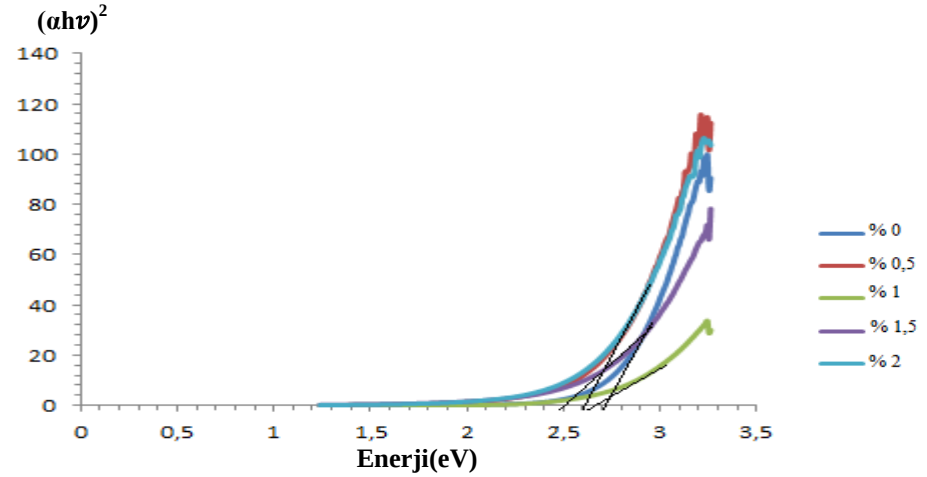
Şekil 5.37.'de farklı sıcaklıklarda tavlanmış Ag-In_2S_3-5 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları gösterilmiştir. Şekil 5.37.'de (a) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 300^0 C, (b) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 350^0 C, (c) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 400^0 C, (d) Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeni 450^0 C sıcaklıklarında tavlanmıştır.

Çizelge 5.5. Ag-In_2S_3-5 yarıiletkeninin tavlama sıcaklıklarına göre optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama Sıcaklığı (^{0} C)	Bant Aralığı (eV)
Ag-In_2S_3-5	300	2,59
Ag-In_2S_3-5	350	2,50
Ag-In_2S_3-5	400	2,59
Ag-In_2S_3-5	450	2,51

5.4.6. Gümüş Oranının Optik Bant Aralığına Etkileri

Sol-jel yöntemi ile hazırladığımız In_2S_3 çözeltilerinden yaptığımız filmlerimizi farklı oranlarda gümüş ile katkılandırarak gümüş oranlarının optik bant aralığını nasıl etkilediğini inceleyeceğiz. Optik bant aralıklarını karşılaştırarak gümüşün etkilerini gösterecez. Filmlerimizin hepsi aynı sıcaklıklarda tavlanarak gruplandırılacaktır.

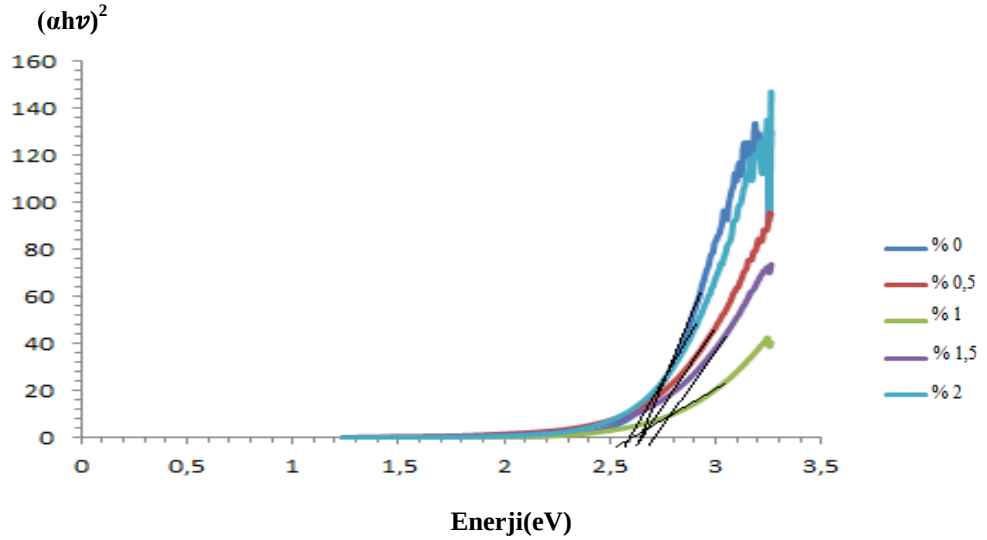


Şekil 5.38. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (300^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.38'de sol-jel yöntemi ile hazırlanmış farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış In_2S_3 numunelerimizin optik bant aralıklarının gümüş oranı ile etkileşimi gösterilmiştir. Bütün numunelerimiz 300^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.38.'de (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı numuneleimiz aynı sıcaklıkta tavlanmış olup gümüş katkı oranının bant aralığı üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama sıcaklığı (^{0}C)	Gümüş katkı oranı (%)	Bant aralığı (eV)
In_2S_3-1	300	0	2,71
Ag-In_2S_3-2	300	0,5	2,60
Ag-In_2S_3-3	300	1	2,57
Ag-In_2S_3-4	300	1,5	2,50
Ag-In_2S_3-5	300	2	2,60

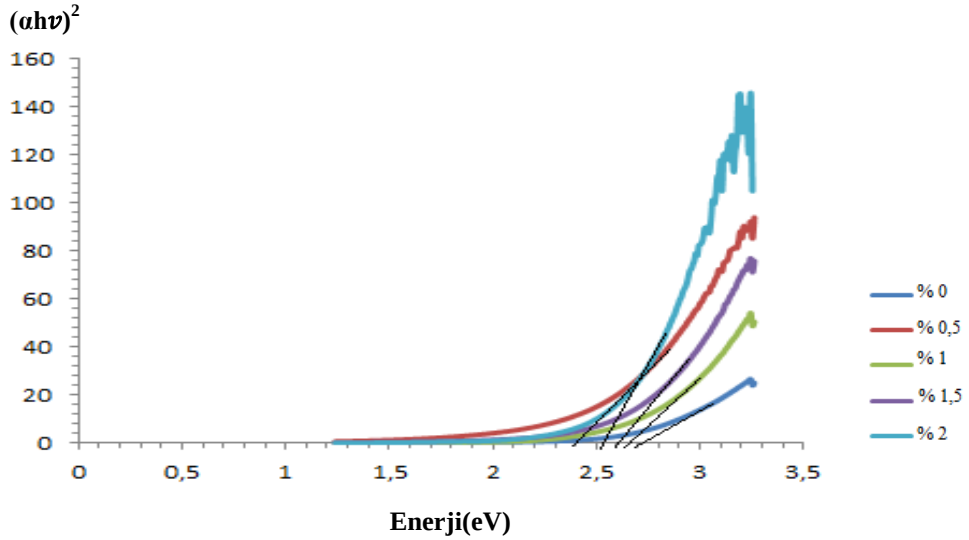


Şekil 5.39. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (350^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.39'de sol-jel yöntemi ile hazırlanmış farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış In_2S_3 numunelerimizin optik bant aralıklarının gümüş oranı ile etkileşimi gösterilmiştir. Bütün numunelerimiz 350^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.39.'de (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı numuneleimiz aynı sıcaklıkta tavlanmış olup gümüş katkı oranının bant aralığı üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama sıcaklığı (^{0}C)	Gümüş katkı oranı (%)	Bant aralığı (eV)
In_2S_3-1	350	0	2,67
Ag-In_2S_3-2	350	0,5	2,65
Ag-In_2S_3-3	350	1	2,60
Ag-In_2S_3-4	350	1,5	2,70
Ag-In_2S_3-5	350	2	2,59

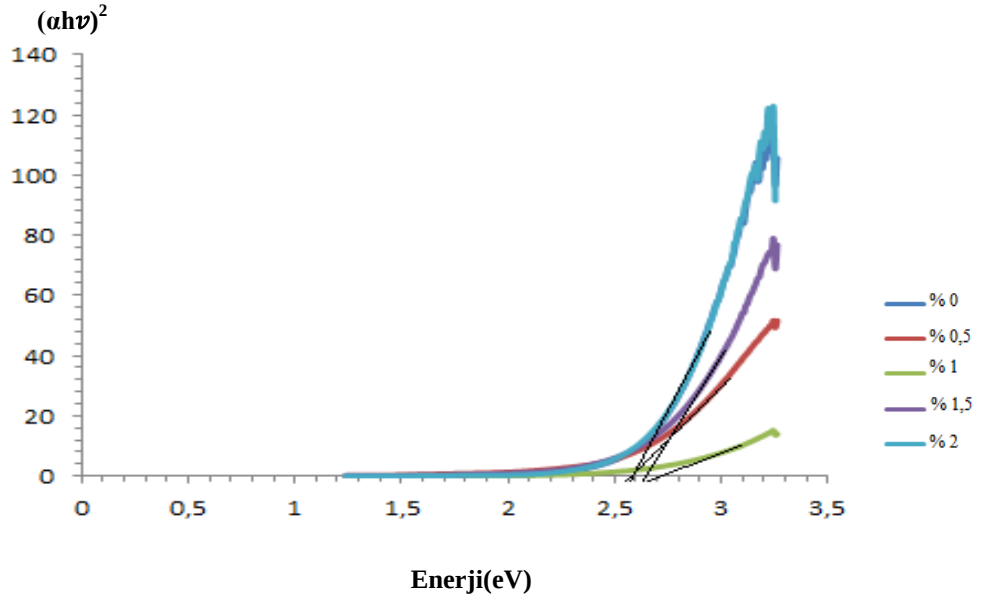


Şekil 5.40. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (400^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.40.'de sol-jel yöntemi ile hazırlanmış farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış In_2S_3 numunelerimizin optik bant aralıklarının gümüş oranı ile etkileşimi gösterilmiştir. Bütün numunelerimiz 400^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.40.'de (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı numuneleimiz aynı sıcaklıkta tavlanmış olup gümüş katkı oranının bant aralığı üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama sıcaklığı (^{0}C)	Gümüş katkı oranı (%)	Bant aralığı (eV)
In_2S_3-1	400	0	2,70
Ag-In_2S_3-2	400	0,5	2,41
Ag-In_2S_3-3	400	1	2,63
Ag-In_2S_3-4	400	1,5	2,60
Ag-In_2S_3-5	400	2	2,52



Şekil 5.41. Ag oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel bant aralığına etkisi (450^0 C), (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı filmler

Şekil 5.41.'de sol-jel yöntemi ile hazırlanmış farklı oranlarda gümüş ile katkılandırılmış In_2S_3 numunelerimizin optik bant aralıklarının gümüş oranı ile etkileşimi gösterilmiştir. Bütün numunelerimiz 450^0 C sıcaklığında tavlanmıştır. Şekil 5.41.'de (a) % 0 Ag katkılı, (b) % 0,5 Ag katkılı, (c) % 1 Ag katkılı, (d) % 1,5 Ag katkılı, (e) % 2 Ag katkılı numuneleimiz aynı sıcaklıkta tavlanmış olup gümüş katkı oranının bant aralığı üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. Gümüş oranının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optik bant aralıkları

Çözelti	Tavlama sıcaklığı (^{0}C)	Gümüş katkı oranı (%)	Bant aralığı (eV)
In_2S_3-1	450	0	2,60
Ag-In_2S_3-2	450	0,5	2,59
Ag-In_2S_3-3	450	1	2,70
Ag-In_2S_3-4	450	1,5	2,65
Ag-In_2S_3-5	450	2	2,61

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kolay uygulanabilir olması nedeniyle sol-jel yöntemini kullanarak öncelikle In_2S_3 (In_2S_3-1, In_2S_3-2, In_2S_3-3, In_2S_3-4 ve In_2S_3-5) çözeltilerini hazırladık. Bu çözeltiler ile yarıiletkenler hazırlayıp, bu yarıiletkenleri farklı sıcaklıklarda (300^0 C, 350^0 C, 400^0 C ve 450^0 C) argon ortamında (30 dk) tavlayarak bunların yapısal ve optiksel özelliklerini inceledik. Daha sonra aldığımız ölçümleri kendi aralarında kıyaslayarak tavlama sıcaklığının yarıiletkenler üzerindeki etkilerini inceledik. Bu yarıiletkenlerin XRD, UV, SEM, kalınlık ölçümlerini ve optik bant aralık ölçümlerini aldık.

Çalışmanın ikinci basamağı olarak In_2S_3 çözeltilerini 4 farklı oranda (% 0,5, % 1, % 1,5, % 2) gümüş (Ag) ile katkılandırdık. Elde ettiğimiz filmleri saf In_2S_3 ile karşılaştırarak gümüşün (Ag) optiksel geçirgenlik, optiksel soğurma ve optik bant aralığına etkilerini inceledik. Çalışmamızda toplamda 5 çözelti hazırladık. Her çözeltilerden hazırladığımız yarıiletkenleri 300^0 C, 350^0 C, 400^0 C ve 450^0 C sıcaklıklarında tavlandık. Bütün numunelerden XRD, UV, SEM ve kalınlık ölçümleri alınıp kendi aralarında ve birbirleri ile kıyasladık. Bütün numunelerde optik geçirgenlik, optik soğrulma ve tauc yöntemi ile optik bant aralığı hesapları yapılmıştır. Yapılan bütün hesaplarda tavlama sıcaklığı ve gümüş katkılanma oranlarına göre kıyaslamalar yapılmıştır.

Tavlama sıcaklıklarına göre kıyaslama yaptığımızda, tavlama sıcaklığı arttıkça yarıiletkenlerimizin kristalleşmesi de artmaktadır. In_2S_3 ve gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkenlerin x-ışını sonuçlarını sıcaklığa ve gümüş (Ag) ile katkılandırma oranlarına göre değerlendirdik.

Tavlama sıcaklığı arttıkça In_2S_3 yarıiletkenine ait piklerin şiddetleri de artmaktadır. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda In_2O_3 fazı oluşmaktadır. Tavlama sıcaklığı arttıkça pik şiddetlerinin artmasının sebebi kristalleşmenin artmasıdır.

Gümüş (Ag) katkılı In_2S_3 yarıiletkenlerinin XRD sonuçlarına baktığımızda, 300^0 C, 350^0 C, 400^0 C ve 450^0 C'de tavlanmış In_2S_3-1, Ag-In_2S_3-2, Ag-In_2S_3-3, Ag-In_2S_3-4 ve Ag-In_2S_3-5 serilerinin karşılaştırmalarını inceleyeceğiz. Aynı sıcaklıkta tavlanmış numunelerimiz katkı maddemiz gümüş oranına göre değişimlerin olduğu gözlenmektedir. Gümüş katkılı yarıiletkenlerimizi kıyasladığımızda % 1 gümüş katkılı In_2S_3 filmlerin XRD pikleri en şiddetlidir. Fakat % 1 'in üstündeki katkılandırılmalarda pik şiddetleri tekrar azalmaktadır. Buna göre optimum gümüş katkılandırma oranı % 1'dir.

Bu çalışmada tüm örneklerin yüzey yapıları taramalı elektron mikroskobu ile incelmiştir. Sol-jel yöntemi ile hazırladığımız yarıiletkenlerin her birinin yüzey görüntüleri alınırken yaklaşık olarak 1005 ve 2509 kez büyütülerek incelenmiştir. Numunelerimizin yüzey görüntüleri tavlama sıcaklığına ve gümüş oranına göre farklılıklar göstermektedir. XRD sonuçlarına göre en iyi kristalleşme % 1 gümüş ile katkılandırılmış ve 400^0 C'de tavlanmış yarıiletkenlerimizde görülmektedir. Bundan dolayı sadece % 1 gümüş ile katkılandırılmış ve 400^0 C'de tavlanmış yarıiletkenlerimizin taramalı elektron mikroskobu ile yüzey görüntüleri alınmıştır. Gümüş oranının artmasıyla tanecik yapısında farklılıklar gözlenmiştir.

Tavlama sıcaklılığının In_2S_3 yarıiletkenlerin geçirgenlikleri üzerindeki etkilerini incelediğimizde şekil 5.17.'te görüldüğü gibi tavlama sıcaklığı arttıkça optik geçirgenlik önce azalmış daha sonra artmıştır.

Gümüş ile katkılandırılarak hazırlanan çözeltilerdeki gümüş oranlarının değişmesinin optiksel geçirgenliğe etkisi incelenmiş olup, yarıiletkenler aynı sıcaklıkta tavlanmıştır. Gümüş oranlarının optiksel geçirgenliğe etkisi incelendiğinde % 1 gümüş katkılı yarıiletkenlerde geçirgenliğin arttığı gözlenmiştir.

Tavlama sıcaklılığının In_2S_3 yarıiletkenlerinin optiksel soğurma üzerindeki etkilerine baktığımızda farklı sıcaklıklarda tavlanan numunelerimiz tavlama sıcaklıklarının artmasıyla değiştiğini gözlemliyoruz. Şekil 5.26.'da tavlama sıcaklığı artıkça optiksel soğurmanın 400^0 C 'ye kadar artığını bu sıcaklıktan sonra azaldığını gözlemliyoruz.

Gümüş ile katkılandırdığımız yarıiletkenlerin gümüş oranı artıkça optiksel soğurmanın önce arttığı daha sonra azaldığı görülmektedir. Yarıiletkenlerde gümüş oranı optimum noktadan sonra optiksel soğurma tekrar azalmaktadır.

Tauc metodu ile belirlediğimiz optik bant aralıklarının, yarıiletkenlerin tavlama sıcaklıkları ve gümüş katkı oranlarına göre değişimleri incelendi. Tauc metoduna göre $(\alpha h\nu)^2 - (h\nu)$ 'nın grafiği bize optik bant aralığını (Eg) vermektedir. Tavlama sıcaklığı artıkça optik bant aralığı önce bir artış daha sonra azalma görülmektedir. Yarıiletkenlerin tavlama sıcaklıklarına göre ortalama optik bant aralığı 2,66~ 2,89 eV olarak belirlendi.

Gümüş olanının değiştirilmesiyle optik bant aralığının azaldığı görülmektedir. Yarıiletkenlerin gümüş oranları artıkça ortalama optik bant aralığı 2.50~ 2,71 eV olarak belirlendi.

Sol-jel yöntemi ile hazırlanan In_2S_3 yarıiletkenlerinin ortalama kalınlıkları ~323 nm'dır.

KAYNAKLAR

ASENJO B., CHAPARRO A. M., GUTİERREZ M. T., HERRERO J. and MAFFİOTTE C., 2005. Study of Electrodeposition of In_2S_3 thin films. Thin Solid Films 480-481, 151 -156.

ASLAN F., 2011. Sol-j-Jel Metodu ile Polikristal Heteroeklem Güneş Pili Üretilmesi, Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi Şanlurfa,118s.

ASLAN F, M.Z. ZARBALİ, B. YESİLATA and I.H. MUTLU Effects of Cu/In ratio and annealig temperature on physical properties of dip-coated $CuInS_2$ thin films.

ATALAY, T., "Katıların Enerji Band Modeli ve Elektronik İletkenlikleri." Elektronik I, 1994:28s.

BARREAU N., MARSIILAC S., BERNEDE J.C., NASRALLAH T., and BELGACEM S., 2001. Optical properties of wide band gap indium sulphide thin films obtained by physical vapor deposition. Phys. Stat. Sol. (a) 1:179-186.

BARREAU N.,MARSİLLAC S., BERNEDE J.C. and BARREAU A., 2000. Investigation of β-In2S3 growth on different transparent conductive oxides. Applied Surface Science 161, 120–126.

BHİRA L., ESSAIDI H., BELGACEM S., COUTURİER G., SALARDENNE J., BARREAUX N. and BERNEDE J.C., 2000. Structural and photoelectrical properties of sprayed β-In2S3 thin films. Phys. Stat. Sol. (a) 181, 427–435.

BLAKEMORE J.S., 1985. Band Shapes in Real Semiconductors. Solid State Physics, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 362-377.

BURSTEİN E, 1954. Anomalous Optical Absorption Limit in InSb. Phys. Rev. 93, 632.

CAFEROV, T., 1998. Yarıiletken Fiziği-1. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul. 200s.

CALİXTO-RODRİGUEZ M., TİBURCİO-SİLVER A., ORTİZ A. and SANCHEZ-JUAREZ A., 2005. Optoelectronical properties of indium süflide thin films prepared by spray pyrolysis for photovoltaic applications. Thin Solid Films 480–481, 133–137.

CHEN X., ZHANG Z., ZHANG X., LİU J., and QİAN Y., 2005. Single-source approach to the syntesis of In_2S_3 and In_2O_3 crystallites and their optical properties. Chemical Physics Letters 407, 482–486.

EROL, M., 2001, Katı Hal Fiziği Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü, (yayımlanmamış).

FOX, M., Optical Properties of Solid, Oxford Master Series in Condensel Matter Physics, Oxford University Pres Inc., New York, 2001.

JAYAKRİSHAN R., JOHN T., KARTHA S., VİJAYAKUMAR K. P., ABE T., and KASHİWABA Y., 2005. Defect analysis of sprayed β-In_2S_3 thin film using Photolumine scence studies. Semicond. Sci. Technol. 20, 1162–1167.

KAVCAR, N., 2001, Uygulamalı Fizik II Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü, 130., (yayımlanmamış).

KİTTEL, C., 1996, Katıhal Fiziğine Giriş, (Çeviren: Bekir Karaoğlu), Güven Kitap Yayın Dağıtım Ltd. Şti, 434s.

KUNDAKÇI M., ATEŞ A., ASTAM A. and YILDIRIM M., 2007 Structural, Optical and Electrical Properties of CdS, $Cd_{0.5}In_{0.5}S$ and In_2S_3 Thin Films Grown By Sılar Method. Physical, in press.

LUQUE A., HEGEDUS, S., 2003, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, USA, 1179 s.

MARKVART, T., 2003, Practical Handbook of Photovoltaics, USA, 1015 s.

MOSS T. S., 1954 The Break down of the band-gap-common-cation rule: origin of the small band gap of InN Proc. Phys. Soc. London, Sect. B **67**, 775.

MOTT, N.F. and DAVİS, E.A., 1979. Electronic Process in Non-Crystalline Materials. Clarendon Pres, Oxford.

NAG, B.R., 1980, Electron transport In Compound Semiconductors, Springer Verlag Berlin Heildelberg, New York.

OMAR M. A., (1975), Elementary Solid Stade Physics, Addison-Wesley Publishing, Californa, ABD.

ORAL, M., 1979, Güneş Pilleri, İzmir İlker Matbaası, 59s.

PAHTAN H.M., LOKHANDE C.D., KULKARNİ S.S., AMALNERKAR D.P., SETH T., HAN SUNG-HWAN., 2005. Some studies on successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) grown indium sulphide thin films. Materiasl Research Bulletin 40, 1018-1023.

PANKOVE, J.J. 1971. Optical processes in semiconductors, Solid State Physical Electronics Series, Princeton Pres, New Jersey.

POORTMANS, J., ARKHIPOV, V., 2006, Thin Film Solar Cells, Enland, 471 s.

SZE, SİMON M., Physics of Semiconductor Devices (Wiley-Interscience, New York, NY) 1981.

SEYAM M.A.M., 2001. Optical and electrical properties of indium monosulfide (InS) thin films. Vacuum 63, 441–447.

SHAZLYA., ELHADY D., METWALLY S. and SEYAM M., 1998. Electrical properties of β-In_2S_3 thin films. J. Phys. Condens. Matter 10:5943-5954.

THERESA J., BİNİ S., KASHİWABA Y., ABE T., YASUHİRO Y., KARTHA SUDHA C. and VİJAYAKUMAR K. P., 2003. Characterization of spray pyrolysed indium sulfide thin films. Semicond. Science and Technol. 18:491–500.

TİMOUMİ A., BOUZOUİTA H., KANZARİ M. and REZİG B., 2005. Fabrication and charactreziation of In_2S_3 thin films deposited by thermal evaporation technique. Thin Solid Films 480-481, 124-128.

YOOSUF R. and JAYARAJ M.K., 2005. Optical and photo electrical properties of β-In_2S_3 Thin films prepared by two-stage process. Solar Energy Materials&Solar Cells 89, 85 -94.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Reyhan BİÇAK

Uyruğu **:** Türkiye Cumhuriyeti

Doğum Yeri ve Tarihi **:** Ergani / 16.10.1986

Telefon **:** 0541 517 17 57

Faks **:**

e-mail **:** reyhanbicak@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:** Ergani Lisesi, Ergani, Diyarbakır	2004
Üniversite	**:** Harran Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	**:** Harran Üniversitesi	2014
Doktora	**:**	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2014	OSGB	İş Güvenlik Uzmanı
2015	MEB	Öğretmen

UZMANLIK ALANI **:**

YABANCI DİLLER **:** İngilizce

BELİRTMEK İSTEDİĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER **:**

YAYINLAR **:**