

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL OKSİT KATKILI YARIİLETKEN MALZEMELERİN
ÜRETİLMESİ VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihat AYDIN

04130101

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Programı: Malzeme Bilimi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa AKSOY**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Ocak 2010

OCAK 2010

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL OKSİT KATKILI YARIİLETKEN MALZEMELERİN
ÜRETİLMESİ VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihat AYDIN

04130101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Ocak 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Şubat 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa AKSOY (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri :Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Ertan EVİN(F.Ü)

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, desteğinden hep onur duyduğum saygıdeğer hocam Sn. Prof. Dr. Mustafa AKSOY' a,

Tezimin planlanmasında, yürütülmesinde, bilgi ve tecrübesi ile çalışmalarına destek olan ve yol gösteren, karşılaştığım tüm zorlukların çözümlenmesinde yardımcı olan çok değerli hocam, genç bilim insanı Sn. Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU' na,

Çalışmam boyunca bilgisine ve fikrine hep başvurduğum hayatım boyunca da hep başvuracağım değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Ertan EVİN' e,

Tezimin hemen her aşamasında hep yanımda olan, desteklerini hep hissettiğim çok değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Ömer GÜLER ve Arş. Gör. Seval Hale GÜLER' e

Deneysel çalışmalarım sırasında yardımını ve sabrını benden esirgemeyen sevgili dostum, Uzman Selçuk KARATAŞ' a,

Bu çalışmada kendi imkânlarından faydalanmamı sağlayan Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü ile Fizik Bölümü öğretim üyelerine, çalışanlarına,

Tez çalışmalarına FÜBAP – 1838 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan, dualarını ve desteklerini benden hiç esirgemeyen oğulları olmaktan onur duyduğum sevgili aileme,

Benden yüreğini ve desteğini esirgemeyen canım kardeşim Cevat AYDIN' a

Hoşgörüsü, sevgisi ve desteğiyle hep yanımda olan sevgili eşim, hayat arkadaşım Handan AYDIN' a,

ve

Varlığıyla bana güç veren Oğlum, Kenan Tuğberk AYDIN' a,

Eğer yeterse, gönülden teşekkür eder, şükranlarımı sunarım....

Cihat AYDIN

ELAĞIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa no</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XIII
1 GİRİŞ.....	1
2 YARIİLETKENLER	2
2.1 Band Teorisi	3
2.2 Enerji Bandlarının Oluşumu	5
2.3 Yarıiletken Türleri.....	8
2.3.1 Katkısız yarıiletkenler.....	8
2.3.2 Katkılı Yarıiletkenler	8
2.3.2.1 n – tipi yarıiletkenler	9
2.3.2.2 p – tipi yarıiletkenler	11
2.4 Yarı İletkenleri Katkılama.....	14
2.4.1 Katkılama Materyalleri	14
2.4.2 Taşıyıcı Konsantrasyonu	15
2.4.3 Band Yapısına Katkılamanın Etkisi.....	15
3 ZNO VE CDO BİLEŞİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	17
3.1 ZnO’nun Genel Özellikleri	17
3.2 CdO Bileşiğinin Özellikleri	19
4 SOL-JEL METODU	20
4.1 Sol-jel yönteminin avantajları	21
4.2 Sol-jel yöntemin dezavantajları.....	22
5 MATERYAL VE METOT	23
5.1 Deneysel İşlemler	23
5.2 Numunelerin Yapısal Özellikleri.....	26
5.2.1 X-Işını Kırınımı	26
5.2.2 Numunelerin X-ışını Sonuçları	29

5.3	Numunelerin Yüzey Morfolojileri.....	66
5.3.1	AFM'nin çalışma prensibi.....	66
5.3.2	Numunelerin AFM Yüzey Görüntüleri.....	67
5.4	Numunelerin optik özellikleri.....	87
5.4.1	Yarıiletkenlerin optik özellikleri.....	87
5.4.2	Üretilen Yarıiletken Numunelerin Temel Absorpsiyon Spektrumları ve Yasak Enerji Aralıkları	90
5.5	Numunelerin Elektriksel Özellikleri	104
5.5.1	Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri.....	104
5.5.2	Üretilen Yarıiletken Numunelerin Sıcaklığa Bağlı İletkenlik Ölçümleri ve Aktivasyon Enerjileri	107
6	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	121
	KAYNAKLAR.....	125
	ÖZGEÇMİŞ.....	128

ÖZET

Bu tez çalışması Sol Gel metoduyla hazırlanan Çinko oksit ve Kadmiyum oksit esaslı yarıiletken malzemelerin yapısal ve yarıiletkenlik özelliklerini içermektedir. ZnO ve CdO numuneleri Al ve Fe katkı maddeleri ile katkılanmıştır. Hazırlanan numunelerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri X-ışını difraksiyonu, Atomik Kuvvet Mikroskobu, optik absorpsiyon metodu ve elektriksel ölçümlerle karakterize edilmiştir.

Elde edilen XRD sonuçları katkısız ve katkılı ZnO ve CdO numunelerinin sırasıyla hegzagonal ve kubik yapıya sahip olduğu görülmüştür. ZnO ve CdO numunelerinin tane boyutu XRD sonuçlarıyla hesaplanmış ve tane boyutunun Al ve Fe katkı maddeleri ile değiştiği bulunmuştur. Numunelerin yüzey analizi Atomik Kuvvet Mikroskobu ile belirlendi. Hazırlanan numunelerin yüzey morfolojisi, tanelerin ortalama boyutu, alanı ve hacmi AFM ile değerlendirilmiştir.

Numunelerin optik band aralıkları optik absorpsiyon metodu ile hesaplanmış ve sonuçlar ZnO ve CdO numunelerin doğrudan band yapısına sahip olduğunu göstermiştir. Al ve Fe katkı maddeleri numunelerin optik band aralıklarını değiştirmiştir. Ayrıca numunelerin elektriksel iletkenliği sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Numunelerin elektriksel iletkenliğinin sıcaklıkla arttığı görülmüş ve bu durumda katkısız ve katkılı ZnO ile CdO numunelerin yarıiletken özelliğe sahip olduklarını doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal oksit yarıiletkenler, Sol-Jel, Atomik Kuvvet Mikroskobu, Elektrik ve Optik özellikler

SUMMARY

Production Of Semiconductor Materials Based Metal Oxide And Investigation Of Their Electrical Properties

This thesis study has been included the structural and semiconducting properties of semiconductor materials based on Zinc oxide and Cadmium oxide prepared by Sol Gel method. The ZnO and CdO samples have been doped by Al and Fe dopants. The structural, electrical and optical properties of the samples prepared have been characterized by X-ray diffraction, Atomic Force Microscopy, optical absorption method and electrical measurements. The obtained XRD results indicate that the undoped-doped ZnO and CdO samples have the hexagonal structure and cubic structure, respectively. The grain size for ZnO and CdO samples was calculated from XRD results and it was found that the grain size changes with Al and Fe metal dopants. The surface analysis of the samples was determined by Atomic Force Microscopy. The surface morphology, mean size, area and volumes of the grains of prepared samples were evaluated by AFM. The optical band gaps of the samples were calculated using optical absorption method. The optical results show that the ZnO and CdO samples have direct band gap nature. Al and Fe dopants change the optical band gap of the samples. The electrical conductivity of the samples was also measured as a function of temperature. The electrical conductivity of the samples increases with increasing temperature and this confirms that the undoped-doped ZnO and CdO samples have the semiconducting behaviour.

Key Words : Metal oxide semiconductors, Sol-Gel, Atomic Force Microscopy, Electrical and Optical Properties

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Yarıiletkenlerin band yapısı	4
Şekil 2.2. Fermi-Dirac dağılımı	5
Şekil 2.3. Katı cisimlerin Band Teorisine göre elektriksel iletkenliklerinin değerlendirilmesi	6
Şekil 2.4. Bir yarıiletkenin (a) Mutlak sıfırda ($T=0$ °K) ve (b) Oda sıcaklığında ($T=300$ °K) elektronların ve boşlukların ısı hareketi	7
Şekil 2.5. As Katkılanmış Ge Kristali	10
Şekil 2.6. Oda sıcaklığında n – tipi yarıiletkenin band yapısı	11
Şekil 2.7. In atomu katkılanmış Ge kristali	12
Şekil 2.8. Oda sıcaklığında p – tipi yarıiletkenin band yapısı	13
Şekil 2.9. a) n-tipi yarıiletkenlerde b) p-tipi yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyeleri	13
Şekil 2.10. p ve n-tipi materyallerin temas bölgelerinde Fermi düzeylerinin düzenlenmesi sonucu oluşan enerji bandı eğilmesi	16
Şekil 3.1. ZnO’nun kristal yapısı	17
Şekil 3.2. CdO’ nun kristal yapısı	19
Sekil 4.1. Sol-jel yönteminin şematik olarak gösterimi	20
Şekil 5.1. Numunelerin üretim şeması	25
Şekil 5.2. Bir kristal düzleminde x ışını kırınımının meydana gelmesi	27
Şekil 5.3. 400 °C’de ısı işlem görmüş, katkısız CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	30
Şekil.5.4. 400 °C ’de ısı işlem görmüş, molce %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	32
Şekil.5.5. 400 °C’de ısı işlem görmüş, molce %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	34
Şekil.5.6. 400 °C ’de ısı işlem görmüş, molce %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	36
Şekil.5.7. 400 °C ’de ısı işlem görmüş, molce %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	38
Şekil.5.8. 400 °C ’de ısı işlem görmüş, molce %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	40
Şekil.5.9. 400 °C ’de ısı işlem görmüş, molce %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	42

Şekil.5.10. 400 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	44
Şekil.5.11. 400 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	46
Şekil.5.12. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, katkısız ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	48
Şekil.5.13. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	50
Şekil.5.14. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	52
Şekil.5.15. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	54
Şekil.5.16. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	56
Şekil.5.17. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	58
Şekil.5.18. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	60
Şekil.5.19. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	62
Şekil.5.20. 1100 °C 'de ısıtıl işlem görmüş, molce %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni	64
Şekil 5.21. Katkısız CdO numunesinin 40µx40µ 2 boyutlu AFM görüntüsü	69
Şekil 5.22. Katkısız CdO numunesinin 40µmx40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	69
Şekil 5.23. Katkısız CdO numunesinin 5µmx5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	69
Şekil 5.24. Katkısız CdO numunesinin 5µmx5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	69
Şekil 5.25. % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü ...	70
Şekil 5.26 % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	70
Şekil 5.27. % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	70
Şekil 5.28. % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	70
Şekil 5.29. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü .	71
Şekil 5.30. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü .	71
Şekil 5.31. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	71
Şekil 5.32. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	71
Şekil 5.33. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü .	72

Şekil 5.34. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü .	72
Şekil 5.35. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	72
Şekil 5.36. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	72
Şekil 5.37. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü .	73
Şekil 5.38. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü .	73
Şekil 5.39. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	73
Şekil 5.40. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	73
Şekil 5.41. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü ..	74
Şekil 5.42. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü ..	74
Şekil 5.43. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	74
Şekil 5.44. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	74
Şekil 5.45. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	75
Şekil 5.46. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	75
Şekil 5.47. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	75
Şekil 5.48. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	75
Şekil 5.49. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	76
Şekil 5.50. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	76
Şekil 5.51. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	76
Şekil 5.52. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	76
Şekil 5.53. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	77
Şekil 5.54. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	77
Şekil 5.55. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	77
Şekil 5.56. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	77
Şekil 5.57. Katkısız ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	78
Şekil 5.58. Katkısız ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	78
Şekil 5.59. Katkısız ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	78
Şekil 5.60. Katkısız ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü	78
Şekil 5.61. %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	79
Şekil 5.62 %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	79
Şekil 5.63. %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	79
Şekil 5.64. %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	79

Şekil 5.65. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü	80
Şekil 5.66 %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü....	80
Şekil 5.67. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	80
Şekil 5.68. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	80
Şekil 5.69 %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü....	81
Şekil 5.70. %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü...	81
Şekil 5.71. %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	81
Şekil 5.72. %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	81
Şekil 5.73. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü...	82
Şekil 5.74. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü...	82
Şekil 5.75. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	82
Şekil 5.76. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	82
Şekil 5.77. %5 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	83
Şekil 5.78. %5 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	83
Şekil 5.79. %5 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	83
Şekil 5.80 %5 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	83
Şekil 5.81 %10 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü....	84
Şekil 5.82. %10 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü...	84
Şekil 5.83. %10 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	84
Şekil 5.84. %10 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	84
Şekil 5.85. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü...	85
Şekil 5.86. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü...	85
Şekil 5.87. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	85
Şekil 5.88. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	85
Şekil 5.89. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü...	86
Şekil 5.90. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü...	86
Şekil 5.91. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü.....	86
Şekil 5.92. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü.....	86
Şekil 5.93. Bir yarıiletken de doğrudan band geçişi.....	89
Şekil 5.94. Bir yarıiletken de dolaylı band geçişi.....	89
Şekil 5.95. Bir yarıiletken de absorpsiyon katsayısının fotonun enerjisine göre değişiminden, yasak enerji aralığının belirlenmesi	90

Şekil 5.96. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	91
Şekil 5.97. %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	92
Şekil 5.98. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	92
Şekil 5.99. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	93
Şekil 5.100. %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	94
Şekil 5.101. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	94
Şekil 5.102. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	95
Şekil 5.103. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	96
Şekil 5.104. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	96
Şekil 5.105. Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	97
Şekil 5.106. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	98
Şekil 5.107. %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	98
Şekil 5.108. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	99
Şekil 5.109. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	100
Şekil 5.110. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	100
Şekil 5.111. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	101
Şekil 5.112. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	102
Şekil 5.113. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği	102
Şekil 5.113.. a) Taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığın tersine göre değişiminin şematik gösterimi b) Yük geçişleri	105
Şekil 5.114. İletkenliğin sıcaklığın tersine göre değişiminin şematik gösterimi	106
Şekil 5.115. Sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümü için hazırlanan deney düzeneği	107
Şekil 5.116. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	108
Şekil 5.117. %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	108
Şekil 5.118. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	109
Şekil 5.119. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	110
Şekil 5.120. %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	110
Şekil 5.121. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	111
Şekil 5.122. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	112
Şekil 5.123. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	112
Şekil 5.124. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	113

Şekil 5.125. Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği.....	114
Şekil 5.126. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	114
Şekil 5.127. %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	115
Şekil 5.128. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	116
Şekil 5.129. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	116
Şekil 5.130. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	117
Şekil 5.131. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	118
Şekil 5.132. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	118
Şekil 5.133. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği	119

TABLÖLAR LİSTESİ

sayfa no

Tablo 5.1. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	31
Tablo 5.2. %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	33
Tablo 5.3. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	35
Tablo 5.4. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	37
Tablo 5.5. %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	39
Tablo 5.6. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	41
Tablo 5.7. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	43
Tablo 5.8. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	45
Tablo 5.9. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	47
Tablo 5.10. Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	49
Tablo 5.11. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	51
Tablo 5.12. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin kristal özellikleri	53
Tablo 5.13. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	55
Tablo 5.14. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	57
Tablo 5.15. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	59
Tablo 5.16. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	61
Tablo 5.17. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	63
Tablo 5.18. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri	65
Tablo 5.19. AFM de ölçülen tanelerin ortalama değerleri	68
Tablo 5.20. Üretilen numunelerin yasak enerji aralıkları	103
Tablo 5.21. Üretilen numunelerin Aktivasyon enerjileri	120

SEMBOLLER LİSTESİ

M	:Molar
I	:Standart siddet
I_0	:Gözlenen siddet, gelen ışıgın siddeti
I_T	:Geçen ışıgın siddeti
I_A	:Sogurulan ışıgın siddeti
I_R	:Yansıyan ışıgın siddeti
B	:Yarı pik genişliği
d	:Kalınlık, düzlemler arası mesafe
D	:Tane boyutu
(hkl)	:Miller indisleri
λ	:Dalga boyu
θ	:Bragg açısı
2θ	:Kırınım açısı
T	:Geçirgenlik
A	:Absorbans
R	:Yansıma katsayısı
ν	:Frekans
α	:Lineer sogurma katsayısı
E_g	:Yasak enerji aralığı
eV	:Elektron volt
E_d	:Donör enerji seviyesi
E_c	:iletim bandı alt sınırı
E_v	:Valans bandı üst sınırı
N_d	:Donör yoğunluğu
N_a	:Akseptör yoğunluğu
I	:Akım
V	:Voltaj
σ	:iletkenlik
μm	:Mikronmetre
Å	:Angström

1 GİRİŞ

Katılar, birçok özelliklerinden dolayı günlük yaşantımızda önemli bir yere sahiptir. Özellikle iyi iletken olmaları, kolay şekil alabilmeleri ve fiziksel dayanıklılıklarıyla bilinen metallerin kullanımı uygarlık tarihi kadar eskidir. Katıların en ilginç ve önemli sınıfını oluşturan yarıiletkenler ise ancak 1940'lı yıllarda yarıiletken transistörün ortaya çıkmasıyla önem kazanmıştır. Yarıiletken transistörler elektronik endüstrisinde devrim niteliğinde değişikliklere neden olmuştur. [1]

Yarıiletken; elektriksel iletkenliği geçici veya kalıcı olarak geniş bir aralıkta kontrol edilebilen bir katıdır. Yarı iletkenler ekonomik ve teknolojik olarak oldukça büyük öneme sahiptirler. Bilgisayarlar, cep telefonları, dijital ses çalarlar gibi elektriksel cihazların en önemli gereçlerinin birçoğu yarı iletken cihazlardan elde edilir. [2]

Günümüzde teknolojik gelişmelerin temel ve belirleyici unsurlarından birini hala yarıiletken teknolojisi oluşturmaktadır. Artık yarıiletkenlerden oluşmuş elektronik malzemeler, insanlığın kullandığı kişisel bilgisayar ve donanımlardan, haberleşme sistemlerine kadar çoğu elektronik aracın içinde bulunmaktadır. Farklı amaçlara hizmet eden (güneş pili, lazer ışık kaynağı, farklı dalga boyu bölgelerinde çalışan algılayıcılar ve elektronik devrelerde kullanılan entegre devreler gibi) yarıiletken malzemeler her geçen gün gelişmektedir. [1]

Bilim ve endüstri de yarıiletken aygıtlara bağlı olarak yenilenmektedir. Araştırma laboratuvarlarında her çeşit elektronik cihazda testler gerçekleştirmek, ölçümler ve diğer bazı deneysel işlemler yapmak için bu aygıtlar kullanılır. Katı hal aygıtlarındaki birçok uygulamanın yanında uzay sistemleri, bilgisayarlar ve bilgi işlem donanımları da geniş uygulama alanları arasında yer alırlar. Birçok modern askeri cihaz da yarıiletken aygıtlarla donatılmıştır. Bilgi görüntüleme sistemleri, bilgi işlem üniteleri ve hava savunma-kontrol birimleri de yarıiletkenleri kullanan elektronik donanımlara iyi birer örnek olarak verilebilirler. [3]

Yarıiletkenlerin teknolojideki öneminin altında yatan gerçek; iletkenler ile yalıtkanlar arasında geçiş yapabilecek özelliklere sahip olmalarıdır. Sıcaklık ve safsızlık miktarı gibi değiştirilebilen koşullar yarıiletkenlerin iletkenliklerini önemli ölçüde etkiler. Farklı yarıiletken tiplerinin birleşimi ile elektriksel sinyallerin kontrolünü sağlayabilecek potansiyelde çok çeşitli elektriksel özelliklerle donatılmış aygıtlar yapılabilir. [3]

2 YARIİLETKENLER

Katı cisimler elektriksel özelliklerine göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar; İletkenler, Yalıtkanlar ve Yarıiletkenlerdir.

Bu grupların enerji-band yapıları arasında temel farklılıklar vardır. Valans bandı tamamen dolu ve iletim bandı tamamen boş ise böyle katılara “yalıtkanlar” adı verilir.

Yalıtkanlarda yasak enerji aralığı geniştir ve oda sıcaklığında elektronların valans bandından iletim bandına geçmeleri olanaksızdır. Bu nedenle yalıtkan materyaller elektriği iletmezler. Valans bandı ve iletim bandı üst üste binen yani yasak enerji aralığı olmayan katılara “iletkenler” denir. İletken materyaller elektriği iyi iletirler. [4]

Yarıiletkenlerin ise yasak enerji aralığı öyle bir değere sahiptir ki, ısı uyarılma ile erime noktalarının altındaki sıcaklıklarda bile elektriksel özellik gösterirler. Bu nedenle yarıiletkenlerde oda sıcaklığında elektronlar valans bandından iletim bandına geçebilirler ve iletim sağlayabilirler. Yarıiletkenlerde sıcaklık arttıkça valans bandındaki elektronlar iletim bandına ısı olarak uyarılacaklardır. Sonuçta, iletim bandındaki elektronlar ile valans bandındaki elektronlar tarafından geride bırakılan yüklü boşluklar iletkenliğe katkıda bulunacaklardır. [4] [5]

Yarıiletkenlerin en belirgin özelliği, sıcaklık ve yabancı madde yoğunluğu arttıkça elektriksel öz direncinin azalmasıdır. Bu özellik, iletkenlerdeki durumun tamamen tersidir. Yarıiletkenlerde sıcaklık arttıkça iletkenlik artmasına rağmen, iletkenlerde sıcaklık arttıkça iletkenlik azalmaktadır. Bu durum yarıiletkenleri iletkenlerden ayıran en önemli özelliktir. Ayrıca yarıiletkenler, mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0$ K’de) iyi bir yalıtkanlardır. Oda sıcaklığında yarıiletkenlerin, yalıtkanların ve iletkenlerin öz dirençleri;

1. İletkenler : $\rho = 10^{-6} - 10^{-4}$ ohm.cm,
2. Yarıiletkenler : $\rho = 10^{-4} - 10^{10}$ ohm.cm,
3. Yalıtkanlar : $\rho \geq 10^{10}$ ohm.cm. ‘dir. [1]

Bir katının yarıiletken sınıfına girebilmesi için elektriksel öz direncinin verilen değerlerde olması yeterli değildir. Ayrıca yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları da dikkate alınmalıdır. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları öyle bir değere sahiptir ki, ısı uyarılmayla erime noktalarının altındaki sıcaklıklarda elektriksel iletkenlik gösterirler. En önemli yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının yaklaşık 2 eV mertebesi civarında veya bu mertebeden küçük olduğu söylenir. Katıların optik özellikleri enerji-band yapılarıyla

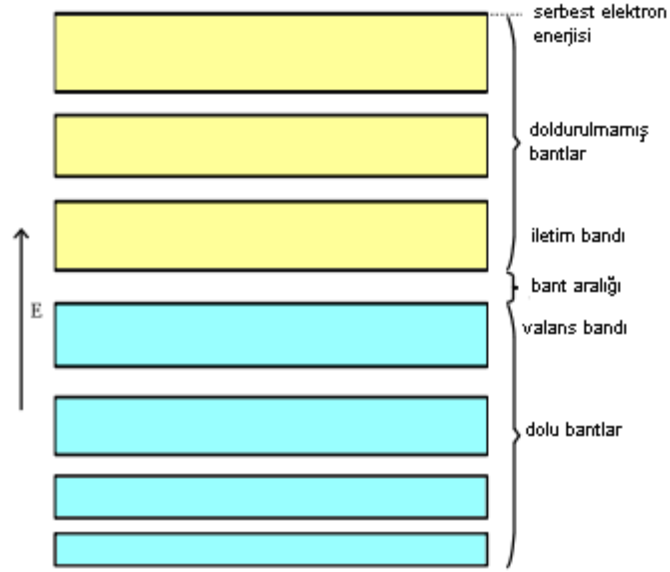
yakından ilişkilidir. Görünür ışık fotonları 1,7-3 eV arasında enerjilere sahiptir. Bir metaldeki bir serbest elektron, bu miktarda bir enerjiyi valans bandından ayrılmadan kolayca soğurabileceğinden, metaller saydam değildir. Diğer taraftan, bir yalıtkandaki bir valans elektronunun bir fotonu soğurması için, eğer elektron yasak enerji aralığını aşıp iletim bandına geçecekse, foton enerjisinin 3 eV' den büyük olması gerekir. Bundan dolayı yalıtkanlar görünür ışık fotonlarını soğuramazlar ve saydamdırlar. Yalıtkanların saydam görünmemelerinin sebebi düzensiz yapılarından dolayı fotonları saçmalarından ileri gelmektedir. Yarıiletkenlerde ise yasak enerji aralığı, görülen ışığın foton enerjisiyle hemen hemen aynı olduğundan, bunlar genellikle görülen ışığı geçirmezler ve saydam değildirler. Fakat daha düşük frekanslardaki kızıl ötesi ışığa saydamdırlar. Bundan yararlanılarak yarıiletken germanyumdan kızıl ötesi mercekle yapılabilir [4] [5]

Günümüzde en iyi bilinen ve en çok kullanılan yarıiletkenler periyodik tablonun IV. Grubunda bulunan Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) elementleridir.

Bu elementlerin son yörüngelerinde dört valans elektronu bulunmaktadır. Her ikisi de elmas kübik yapıya sahiptir. Oda sıcaklığında yasak enerji aralıkları silisyum için 1,1 eV ve Germanyum için 0,7 eV'dur. Yine bu gruptaki karbon elmas yapıda iken yalıtkan; kalay, gri kalay yapısında iken yarıiletkenidir. Yarıiletkenlerin diğer önemli sınıfını da III-V grup ikili bileşikler oluşturur. Bu gruba InSb, InAs, GaAs örnek olarak verilebilir. Böyle bileşikler kübik (sphalerite) yapıda kristallenirler. Bu bileşiklerde kovalent bağlanma baskındır. İletkenlerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların farkı daha genel olarak band teorilerinin açıklanmasıyla belirlenebilir. [1] [5]

2.1 Band Teorisi

Bir atom kesikli enerji düzeylerine sahiptir. İki atom bir araya geldiğinde her bir enerji düzeyi daha yüksek ve daha düşük enerji seviyelerine ayrılarak orbitalleri oluştururlar. Atom sayısı bir kristaldeki gibi çok yükseldiğinde enerji düzeyleri artar ve band yapısı ortaya çıkar. Yarıiletkenler birçok band içerir. Eğer en yüksek işgal edilmiş durum ile en düşük işgal edilmemiş durum arasında büyük bir enerji farkı varsa bir band genişliği ortaya çıkar. [2]



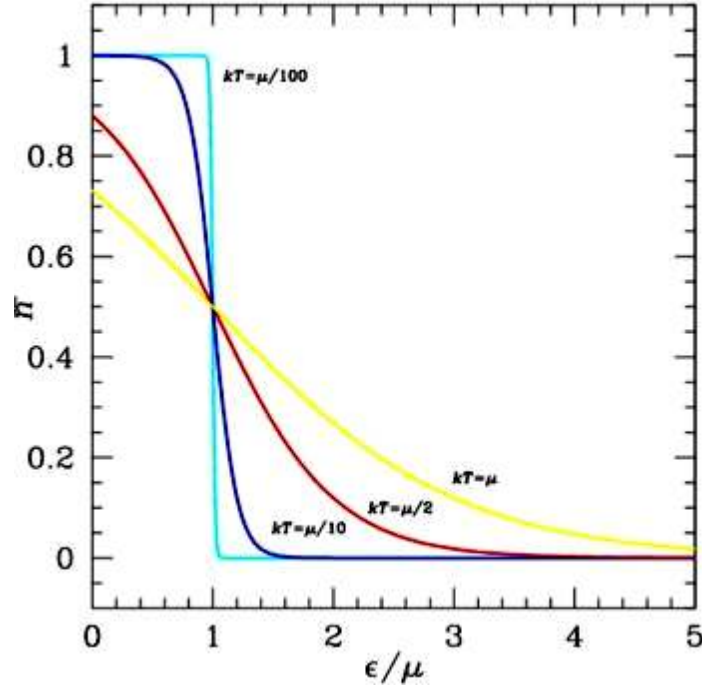
Şekil 2.1. Yarıiletkenlerin band yapısı

Diğer katılarda olduğu gibi yarıiletkenlerde de elektronlar sadece belirli bandlardaki enerjilere sahip olabilirler. Enerji bandlarının her biri farklı kuantum durumları ile ilgilidir ve düşük enerjili (çekirdeğe yakın olan) durumların çoğu doludur. Bu durumlara valans bandı denir. Yarıiletkenler ve yalıtkanlarda, metallerden farklı olarak genel durumda valans bandı neredeyse tamamen doludur. [2]

Yarıiletkenlerdeki elektronlar valans bandından iletim bandına band genişliğine bağlı olarak uyarılabilir. Yalıtkanlar ile yarıiletkenler arasındaki fark band aralığının genişliğinden kaynaklanır. Bir yarıiletkenin sıcaklığı mutlak sıfırın üstüne çıkartıldığında elektronların bir kısmı valans bandından iletim bandına geçecek enerjiye ulaşırlar. [2]

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 etmezler ancak komşu elektronlar bu holleri doldurarak geride yeni bir hol oluştururlar. Bu şekilde holler pozitif yüklü parçacıklar gibi davranırlar. Katıdaki komşu iki atom arasındaki kovalent bağ tek bir elektron ile atom arasındaki bağdan on kat daha güçlüdür. Bu nedenle serbest elektronlar katının kristal yapısını bozmaz. Elektronların enerji dağılımı hangi enerji durumlarının boş hangilerinin dolu olduğunu tanımlar. Bu dağılım Fermi-Dirac istatistiği ile tanımlanır. Dağılım; elektronların sıcaklık ve Fermi enerjisi veya Fermi düzeyi ile karakterize edilir. Mutlak sıfırın altındaki şartlarda Fermi enerjisi elektronların işgal ettiği en üst enerji düzeyi olarak tanımlanabilir. Daha yüksek sıcaklıklarda Fermi enerjisi bir

durumun işgal edilme olasılığının 0.5'e düştüğü enerji olarak tanımlanabilir. Elektron enerji dağılımının sıcaklığa bağlılığı yarı iletkenlerin iletkenliklerinin neden sıcaklığa sıkı bir şekilde bağlı olduğunu açıklar. [2]

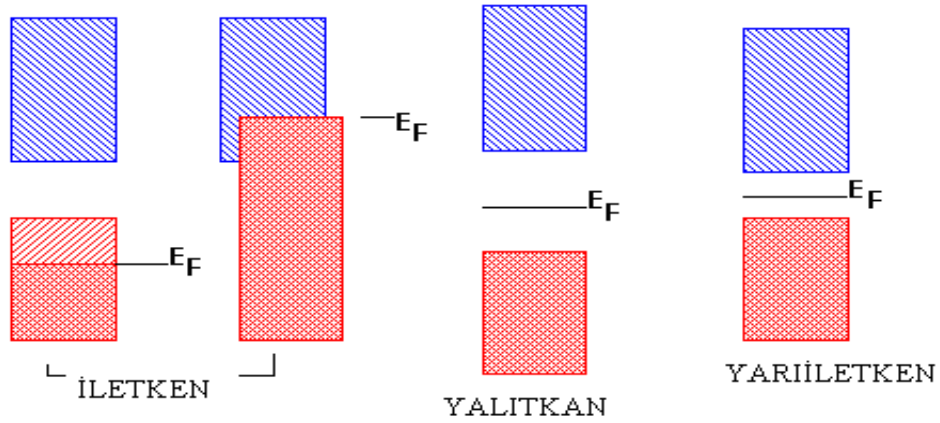


Şekil 2.2. Fermi-Dirac dağılımı

2.2 Enerji Bandlarının Oluşumu

Kuantum Mekaniği yasalarına göre, elektronlar atoma bağlı olan yapılarında spesifik enerjilere sahiptirler. Eğer iki izole atom birbirlerine yaklaştırılırsa her atomik enerji seviyesi ikiye yarılr. Eğer 3 atom birbirine yaklaştırılırsa her enerji düzeyi üçe yarılacaktır. Bir katı cisim ele alındığında birbirine örgü sabiti mesafesinde yakın N sayıda atom bir arada bulunuyor demektir. Dolayısıyla enerji düzeyleri N' ye yarılmış olacaktır. Bu enerji seviyeleri arasındaki fark o kadar küçüktür ki bu enerji grubu sürekli bir enerji bandı olarak düşünülebilir. Başka bir deyişle katıdaki her enerji seviyesine, prensip olarak bir enerji bandı karşılık gelmektedir. [1] [4]

Atomun yapısında yer alan ve daha iç kabuklarda bulunan elektronlar, çekirdeğe yakın olmaları nedeniyle, atoma daha sıkı bağlıdırlar. Diğer taraftan bu elektronlar üzerine öteki komşu atomların etkileri de ihmal edilebilecek kadar az olur. Bu nedenle iç kabuklardaki bu seviyelerin yarılmaları çok daha küçük boyutlarda olacağından iç kabuk elektronlarının enerji değerleri, pratik olarak atomunkiler ile aynıdır. [1]



Şekil 2.3. Katı cisimlerin Band Teorisine göre elektriksel iletkenliklerinin değerlendirilmesi

Pauli ilkesine göre her enerji düzeyinde, spinleri farklı olmak koşulu ile, en fazla iki elektron yer alabilir. Buna göre bir band N sayıda enerji düzeyine yarılıyorsa bu bandda en fazla $2N$ sayıda elektron bulunabilir. Elektronlar, enerji açısından enerji değerleri küçük olan seviyelere öncelikle yerleşirler. Böylece tüm elektronlar enerjilerine göre seviyelere yerleşir. Elektron bulunan en yüksek enerjili seviyeden sonra gelen enerji düzeyi, yerleşecek başka elektron kalmadığı için, boş kalacaktır. [1] [4]

Elektronlar, ortamdan ısı enerjisi olarak daha yüksek enerjili düzeylere, eğer yerleşmesi mümkün ise, geçiş yapabilir. Bu nedenle bir katı içinde elektron bulunan en yüksek enerji düzeyi, katı cismin bulunduğu sıcaklığa bağlı olarak değişir. Herhangi bir sıcaklıkta elektron bulunan en yüksek enerji seviyesine Valans Bandı, bunu izleyen ilk boş enerji düzeyine ise İletim Bandı adı verilmiştir.

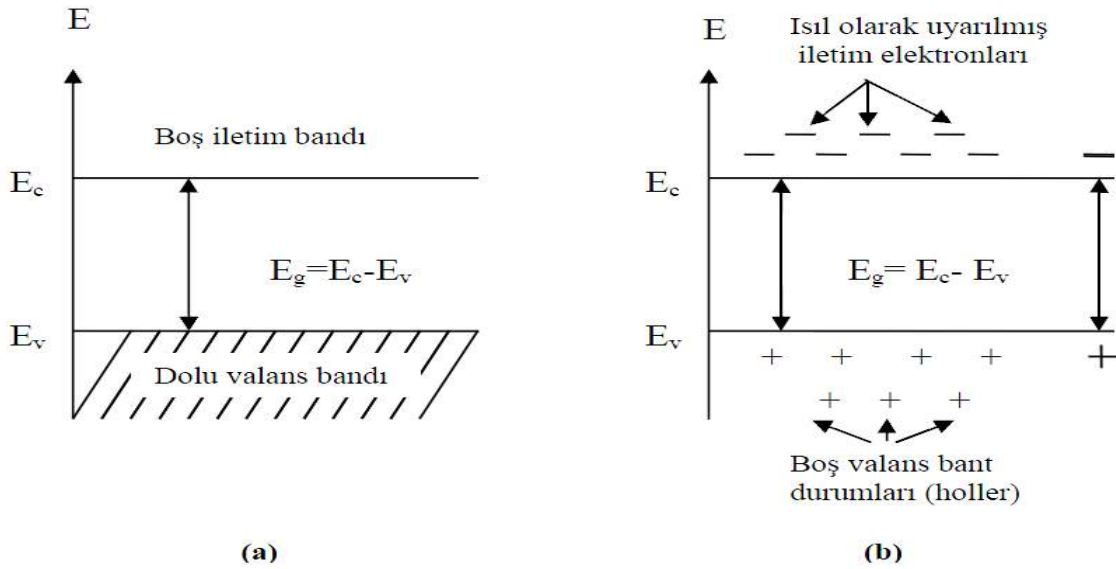
Mutlak sıfır sıcaklığında ($0\text{ }^{\circ}\text{K}$) elektron bulunan en yüksek enerji düzeyinin adı ise Fermi seviyesidir.

Valans bandında bulunan atoma bağlı bir elektron, herhangi bir dış etkiyle örneğin elektrik alan, optik aydınlatma, X-ışınları ile ışınlama, magnetik alan ısı enerjisi gibi, enerji kazanabiliyor ve daha yüksek enerjili boş seviyelere, başka deyişle iletkenlik bandına geçiş yapabiliyorsa, bu elektron atomdan bağımsız hale gelir, yani serbest elektron durumuna geçer. Elektronun katı cisim içinde serbestçe dolaşması anlamına gelen bu olgu katı cismin iletken özellik taşıması demektir. Bu nedenle dolu olan en yüksek enerjili banddan sonra gelen daha yüksek enerjili seviyelere iletkenlik seviyeleri denmiştir. Örneğin metallerde en dış yörüngede bulunan valans elektronu atoma zayıf bir şekilde bağlı olup, küçük bir elektrik alan etkisi ile bağlı olduğu atomdan kurtarılabilir ve elektron

serbest elektron veya iletkenlik elektronu haline gelir ve katı cisme elektriksel iletkenlik kazandırır. Bu özelliğe sahip maddeler iletkenler olarak bilinir. [1] [4]

Eğer valans elektronu atoma çok güçlü bağlarla bağlı ise, bir dış etki ile bu elektronlar atomdan kopartılamaz ve iletkenlik bandına geçecek elektron yaratılamaz. Dolayısıyla bu maddeler iletkenlik özelliği gösteremezler. Bunlara yalıtkan maddeler denir.

Bazı maddelerde ise, düşük sıcaklıklarda valans bandındaki elektronlar yeterli enerji kazanarak iletkenlik bandına çıkamamalarına rağmen, sıcaklık artınca, örneğin oda sıcaklığında (300 °K) bile elektronların kazandığı enerji onların valans bandından iletkenlik bandına çıkmalarına neden olur ve malzeme iletken karakter kazanır. Bu özelliğe sahip malzeme yarı iletkenler olarak tanımlanmıştır. Yarıiletkenlerde mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0$ °K) yarıiletkenin bütün elektronları valans bandında olduğu için elektriksel iletim gözlenmez. Bu sıcaklıkta yarıiletken mükemmel bir yalıtkan gibi davranır (Şekil 2.4.a.). Sıcaklık $T=0$ °K’ den itibaren yükseltirilirse elektronlar termal enerjiyle yasak enerji aralığını geçerek, iletim bandına geçerler. Böylece iletim bandında elektronlar ve valans bandında ise holler, bir elektrik alan uygulandığında elektriksel ilettime katkıda bulunurlar (Şekil 2.4.b.). Bu durum yarıiletkenlerde iletkenliğin sıcaklıkla artması özelliğini açıklar. [4]



Şekil 2.4. Bir yarıiletkenin (a) Mutlak sıfırda ($T=0$ °K) ve (b) Oda sıcaklığında ($T=300$ °K) elektronların ve boşlukların ısıl hareketi

Şekil 2.3.’ den görüleceği gibi malzemenin elektriksel iletkenliğini belirleyen ana faktör, valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki genişliktir. Elektronların enerji açısından bulunmalarının mümkün olmadığı bu bölgeye yasak enerji aralığı denir. Buna

göre iletken malzemede valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki genişlik sıfırdır. Yani iletkenlerde valans bandı ile iletkenlik bandı üst üste binmiştir. [4]

Yalıtkanlarda ise yasak enerji aralığı oldukça geniş olup, elektron yeterli enerji kazanarak valans bandından iletkenlik bandına geçiş yapamaz. Şekil 2.3. ten görüleceği gibi yarı iletkenlerde yasak enerji aralığı, elektronların oda sıcaklığında bile enerji kazanarak valans bandından iletkenlik bandına çıkmalarına izin verecek darlıktadır. [1]

Kristal katıların band yapısı, kristal içinde bulunan bir serbest elektronun veya bir serbest holün davranışı hakkında bilgi vermektedir. [4] Böylece bir katının band yapısının bilinmesiyle, o katının elektrik ve optik özellikleri hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir.

2.3 Yarıiletken Türleri

Yarıiletkenlerde elektriksel iletim, iletim bandındaki elektronlar ve valans bandındaki holler ile sağlanır. İletim bandındaki elektron yoğunluğu, valans bandındaki hol yoğunluğuna eşit ise; böyle yarıiletkenlere “saf yarıiletkenler” denir. İletim bandındaki elektron yoğunluğu, valans bandındaki hol yoğunluğuna eşit değil ise; böyle yarıiletkenlere de “katkılı yarıiletkenler” adı verilir. [4]

2.3.1 Katkısız yarıiletkenler

Kovalent bağlı bir yarıiletkende, elektriksel alan uygulanınca yeterli enerji alan elektron, kovalent bağdan koparak üstte boş iletim bandına geçer. Boş iletim bandına geçen elektron, geride kovalent bağda bir hol (elektron boşluğu) bırakır. [6]

2.3.2 Katkılı Yarıiletkenler

Yarıiletkenlerin önemli özelliklerinden biri de içerisine katkılanan uygun katkı atomları (impurity) ile elektriksel özelliklerinin büyük ölçüde değişim göstermesidir. Bir yarıiletkene uygun katkı atomları katkılандığında, çoğunluk taşıyıcıları ya elektronlar, ya da holler olur. Burada yarıiletkene katkılanan atomlara safsızlık (impurity) atomları denir. Katkılama oranı, arzu edilen özelliğe ve kullanım alanına bağlı olarak değişir. Yarıiletken kristale katkılanan safsızlık atomları ya elektron verici (donör) ya da elektron alıcı

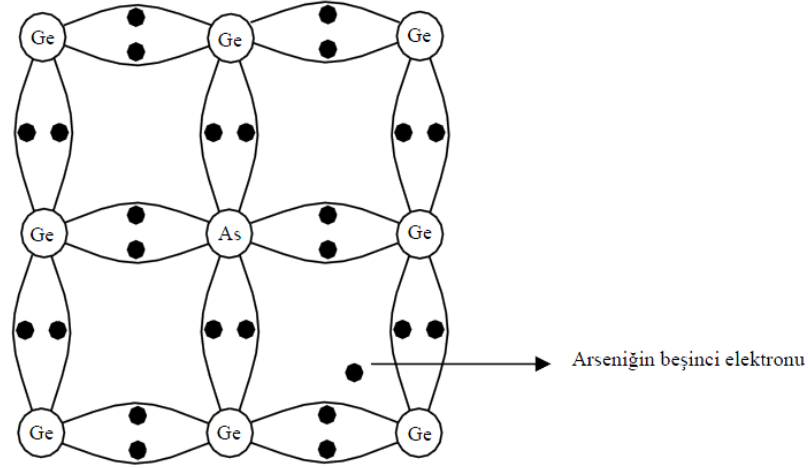
(akseptör) olarak görev yaparlar. Yarıiletkenler, katkılama işlemi sonucunda, n-tipi veya p-tipi özellik gösterirler. [4]

2.3.2.1 n – tipi yarıiletkenler

Periyodik cetvelin IV-A grubunda bulunan Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) dört değerlik elektronuna sahip yarı iletkenlerdir. Si atomunun sahip olduğu elektronlar diğer Si atomlarının elektronlarıyla kovalent bağ yaparlar. Buna periyodik cetvelin V-A grubu elementleri (N, P, As, Sb, Bi) eklendiğinde kristal yapı içinde safsızlıklar meydana gelir. Bu safsızlık atomlarının beş elektronundan dördü Si atomlarıyla bağ oluşturulabilir. Bağ yapmayan bu beşinci elektronun bağlanma enerjisi çok düşüktür ve böylece kristal içinde serbest elektron olarak hareket etmeye başlar. [6]

Kristal içerisindeki bağ yapmayan elektronlar enerji seviyesi meydana getirir. Bu ek seviye yasak band aralığında iletkenlik bandının hemen altında bulunur. Elektronun bu seviyesinden uyarılması için (bağ yapmayan beşinci elektronun hareketi için) çok küçük bir enerjiye ihtiyaç vardır. Her uyarılmayla bir elektron iletkenlik bandına geçer. Bu tip safsızlıklara verici (donör) denir. Her bir verici elektronu safsızlık seviyesinden uyarılır ve böylece değerlik bandında hiçbir boşluk meydana gelmez. [6]

Oda sıcaklığındaki ısı enerjisi, çok sayıda elektronu verici seviyeden uyarmak için yeterlidir; buna ek olarak değerlik-iletim bandı arasında saf atomun oluşturduğu geçişler meydana gelir fakat bu ihmal edilir. Böylece değerlik bandındaki boşlukların sayısından fazla iletkenlik bandında elektronlar bulunur. Bu tip malzemelere n-tipi yarıiletkenler denir. [6]

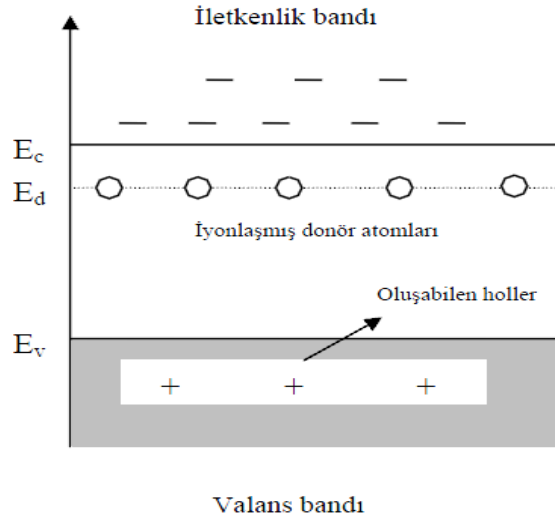


Şekil 2.5. As Katkılanmış Ge Kristali

Germanyum (Ge) kristalinin V. grup elementlerinden olan Arsenik (As) atomu ile katkılındığını düşünelim. Ge atomu 4 valans elektronuna sahipken, katkı atomu olan As 5 valans elektronuna sahiptir. Kristal içerisinde As atomunun dört elektronu, Ge atomunun dört elektronu ile kovalent bağ yapar. As atomunun beşinci elektronu bağ yapmaz, ancak As atomuna çok zayıf bir elektriksel kuvvetle bağlıdır. As atomunun yapıya girmesiyle Ge kristali fazla bir elektron kazanmıştır. Bu nedenle As atomu, elektron verici (donör) atomdur. [4]

Donör atomlarının yarıiletken içerisinde bulundukları enerji seviyesi donör enerji seviyesi olarak adlandırılır. Donörün enerji seviyesi, yasak enerji aralığında yer alır ve iletim bandının alt sınırının biraz aşağısında bulunur. Bundan dolayı, çok küçük bir enerjiyle donör elektronları iyonlaşarak iletim bandına geçerler.

n-tipi yarıiletkenlerde donör atomlarının iyonlaşma enerjileri, iletim bandına yakın olduğu için oda sıcaklığında donör atomlarının hemen hemen tamamı iyonlaşır. İletkenlik bandına çıkan elektronlara karşılık valans bandında holler oluşmaz. Ayrıca yeterli ısı enerji temin eden valans bandı elektronları da iletim bandına geçer. Dolayısıyla iletim bandındaki elektronların yoğunluğu, valans bandındaki hollerin yoğunluğundan daha fazla olacaktır. Bu nedenle iletkenliğin büyük bir kısmı elektronlarla sağlanmış olacaktır. [4]



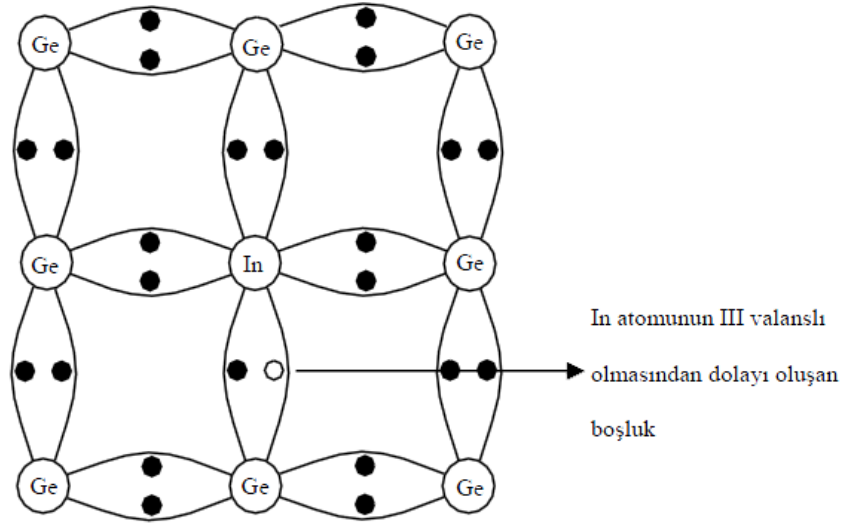
Şekil 2.6. Oda sıcaklığında n – tipi yarıiletkenin band yapısı

2.3.2.2 p – tipi yarıiletkenler

Si veya Ge gibi yarı iletkenler içine periyodik cetvelin IIIA grubundan (B,Al, Ga, In,Tl) gibi safsızlıklar eklenirse oluşan kovalent bağda bir elektron eksik olacaktır. Bu eksiklik safsızlık atomuna bağlı bir boşluk gibi görülebilir. Bu boşluk, elektron geçişiyle safsızlık atomu içinde hareket edebilir. Böyle bir safsızlık atomu band aralığı içinde enerji seviyesi oluşturur ve bu ek seviye değerlik bandının hemen üstündedir. Boşluğun bir elektronun değerlik bandından safsızlık seviyesine ısısal uyarılması sonucunda oluştuğu düşünülebilir. Böyle bir geçiş ile sadece değerlik bandı içinde bir boşluk yani bir taşıyıcı olur. Serbest elektron safsızlık seviyesi veya iletim seviyesinin hiçbirinde oluşmaz. Bu tip safsızlıklar alıcı (Akseptör) olarak adlandırılır ve band aralığında meydana gelen ek seviyeye ise alıcı seviyesi adı verilir. Bu tip yarı iletkenlerde boşlukların sayısı elektronların sayısından fazla olduğu için p-tipi yarı iletken olarak adlandırılır. Bir yarıiletken kristal akseptör atomlarıyla katkılanırsa, çoğunluk taşıyıcıları holler olur.

Germanyum (Ge) kristalinin III. grup elementlerinden olan İndiyum (In) atomu ile katkılındığını düşünelim. Ge atomu 4 valans elektronuna sahipken, katkı atomu olan In ise 3 valans elektronuna sahiptir. Kristal içerisinde In atomunun üç elektronu, Ge atomları ile kovalent bağ yapar. Bu durumda oluşması gereken dördüncü kovalent bağda bir boşluk meydana gelir. Bu boşluk (hol) bir başka bağdan kapılan bir elektron tarafından doldurulur

ve hol bu elektronun yerine geçer. Böylece hol kristal içerisinde hareket eder. Buna karşılık, iletim bandına bir elektron çıkmaz. [4]

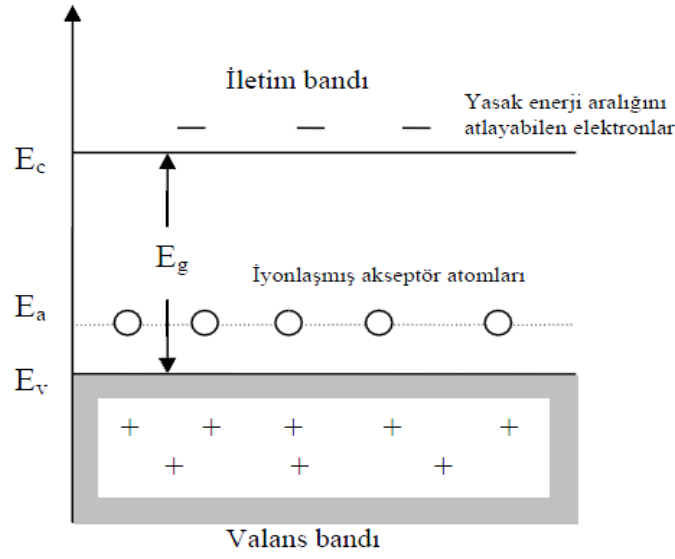


Şekil 2.7. In atomu katkılanmış Ge kristali

Burada, In atomunun yapıya girmesi ile Ge kristalinden bir elektron alınmıştır. Bu nedenle In atomu elektron alıcı anlamında kullanılan akseptör atomu olarak adlandırılır. Akseptör atomlarının bulundukları enerji seviyesine de akseptör enerji seviyesi denir. [4]

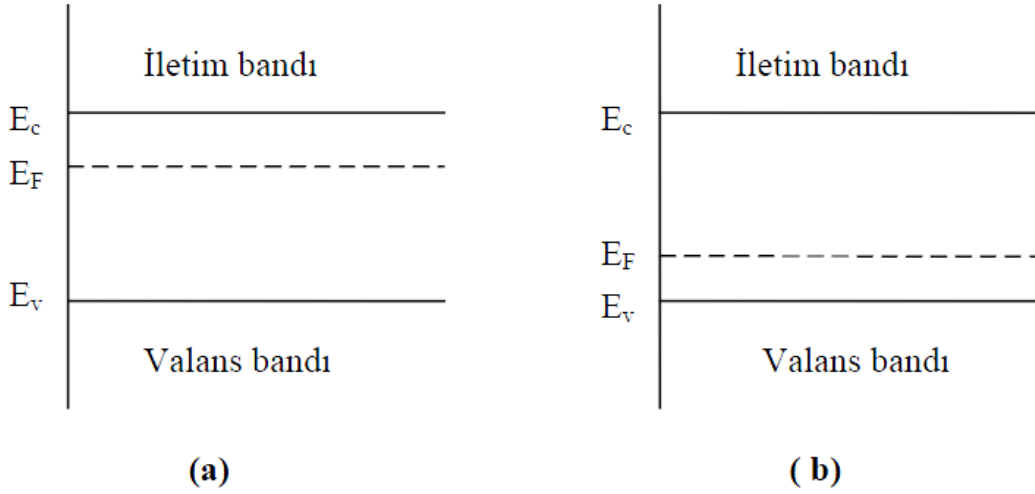
Akseptörün enerji seviyesi, yasak enerji aralığında yer alır ve valans bandının üst sınırına yakın bir yerdedir. Bu nedenle akseptör atomları çok küçük bir enerjiyle iyonlaşır. Yalnız akseptör atomları, donör atomlarından farklı olarak elektron alarak iyonlaşırlar. Bunun sonucunda valans bandında holler bırakırlar. Oluşan bu hollere karşılık iletim bandında elektron oluşmaz. Ancak yeterli ısı enerjisi temin eden valans bandı elektronu iletim bandına geçebilir. Dolayısıyla böyle bir durumda valans bandındaki hol sayısı, iletim bandındaki elektron sayısından fazla olur.

Genel olarak; p – tipi yarıiletkenlerde iletme çoğunluk taşıyıcılar olarak holler, azınlık taşıyıcılar olarak elektronlar katkıda bulunurlar. Bu durum Şekil 2.8.’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Oda sıcaklığında p – tipi yarıiletkenin band yapısı

Katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesi katkı atomlarının yoğunluğuna ve cinsine göre değişebilmektedir. Fermi enerji seviyesi ($N_{Donör} - N_{Akseptör}$) net katkı yoğunluğuna bağlıdır. n-tipi yarıiletkenlerde ($N_D - N_A$) > 0 olduğu için Fermi enerji seviyesi iletim bandına doğru kayar. p-tipi yarıiletkenlerde ($N_D - N_A$) < 0 olduğu için Fermi enerji seviyesi valans bandına doğru kayar (Şekil 2.9.). [4]



Şekil 2.9. a) n-tipi yarıiletkenlerde b) p-tipi yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyeleri

2.4 Yarı İletkenleri Katkılama

Yarı iletkenleri elektronik cihazların imalatında kullanılabilen yararlı malzemeler yapan özellik iletkenliklerinin, kristal yapılarına müdahale ederek rahatlıkla değiştirilebilmesidir. Yarı iletkenlerde kontrollü olarak kirlilik yaratmaya katkılama denir.

2.4.1 Katkılama Materyalleri

Doğru katkılama maddesinin seçimi hem katkılanacak materyalin hem de katkı maddesinin atomik özelliklerine bağlıdır. Genellikle yarıiletken de istenilen değişikliği yapacak katkılama maddeleri alıcı (akseptör) veya verici (donör) olarak sınıflandırılır. Verici atomlar yarıiletkene katkılандığı zaman materyale zayıf bağlı valans elektronları sağlarlar. Bu şekilde katkılama sonucunda yarıiletkende negatif yük taşıyıcı fazlalığı oluşur. Bu zayıf bağlı elektronlar kristal örgüsü içinde serbest hareket ederler ve bir elektrik alanının varlığında iletkenliğe katkıda bulunurlar. [2]

Verici atomlar iletkenlik bandı sınırının altında ve bu sınıra çok yakın enerji durumları oluştururlar. Bu enerji durumunda bulunan elektronlar oda sıcaklığında rahatlıkla iletim bandına geçerek serbest elektron olarak davranırlar. Bu durumun tersine alıcılar holler oluştururlar.

Verici atomlar ile katkılanan yarıiletkenler n-tipi yarıiletken olarak adlandırılırken, alıcı atomlar ile katkılanan yarıiletkenler p-tipi yarıiletken olarak adlandırılır. Yarıiletkenleri n veya p tipi olarak adlandırılması materyaldeki çoğunluk taşıyıcıların yükünün cinsini gösterir. Örneğin saf silikon dört adet valans elektronuna sahiptir. Silikon için katkılama da genellikle grup III veya grup V elementleri kullanılır. Grup III elementlerinin tümü üç adet valans elektronuna sahiptir. Bu nedenle grup III elementleri silikona katkıldıklarında alıcı olarak davranırlar. Grup V elementleri ise beş valans elektronuna sahiptir. Bu gruptaki elementler silikona katkıldıklarında verici olarak davranırlar. Bu nedenle Bor ile katkılanan silikon kristali p-tipi iletkenlik gösterirken Fosfor ile katkılanan silikon kristali n-tipi iletkenlik gösterir. [2]

2.4.2 Taşıyıcı Konsantrasyonu

Katkısız yarıiletkenne eklenen katkı maddesi konsantrasyonu bu yarıiletkenin birçok elektriksel özelliğini dolaylı olarak etkiler. Katkılamanın doğrudan etkilediği en önemli faktör materyaldeki taşıyıcı konsantrasyonudur. Katkısız bir yarıiletkende termal denge durumunda elektron ve hol konsantrasyonu eşittir. Bu durum aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$n = p = n_i \quad (2.1)$$

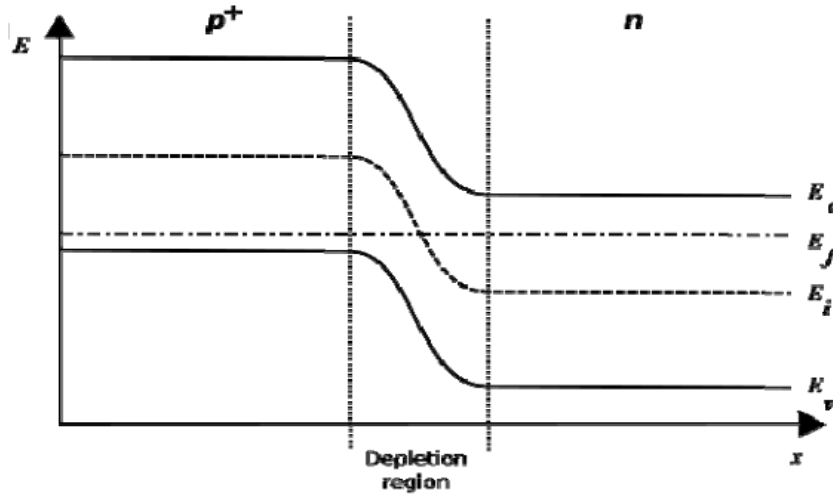
Burada n iletim elektronlarının yoğunluğu, p elektron hol konsantrasyonunu ve n_i materyalin öz taşıyıcı konsantrasyonudur. Öz taşıyıcı konsantrasyonu materyalden materyale değişir ve sıcaklığa bağlıdır. Örneğin silikon için n_i değeri 300 °K sıcaklıkta yaklaşık $1,18 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 'tür. [2]

Genellikle katkılama konsantrasyonundaki artış, iletkenlik için daha fazla taşıyıcı yoğunluğu sağlayacağından iletkenlikte artışa neden olur. Katkılanmış yarıiletkenlerdeki örgü kusurlarının konsantrasyonu katkısız yarıiletkenne göre daha düşüktür. Örneğin katkısız silikon kristalinde 1 cm^3 'te yaklaşık 5×10^{22} atom vardır. Silikon için katkılama konsantrasyonu 10^{13} ile 10^{18} cm^{-3} arasında değişebilir.

2.4.3 Band Yapısına Katkılamanın Etkisi

Bir yarıiletken kristalini katkılama band aralığında katkılama türüne yakından bağlı izinli enerji durumları oluşmasını sağlar. Başka bir ifadeyle verici katkılayıcılar iletkenlik bandına yakın durumlar oluştururken, alıcı katkılayıcılar valans bandı yakınlarında durumların oluşmasına neden olur. Bu enerji durumları ile en yakın enerji bandı arasındaki aralık genellikle katkılama bağlanma enerjisi (E_B) ile ilişkilendirilir. Örneğin silikon hacmindeki Bor için E_B değeri 0,045 eV'tur. Silikonun band genişliği ise 1,12 eV'tur. E_B çok küçük olduğundan katkı atomlarının iyonize olması ve iletkenlik veya valans bandında serbest taşıyıcılar oluşturması çok küçük bir enerji gerektirir. Genellikle oda sıcaklığından kaynaklanan termal enerji katkılayıcıların birçoğunun iyonize olması için yeterlidir.

Aynı zamanda katkılayıcılar materyalin Fermi düzeyinin en büyük katkılama konsantrasyonu ile ilişkili enerji bandına doğru kaymasında önemli bir etkiye sahiptirler. Bir sistemde termodinamik denge durumunda Fermi düzeyinin sabit kalması gerektiğinden farklı özelliklerdeki materyal katman yığınları birçok yaralı elektriksel özelliğin doğmasına neden olurlar. Örneğin p-n eklemının özellikleri, p ve n-tipi materyallerin temas bölgelerinde Fermi düzeylerinin düzenlenmesi sonucu oluşan enerji bandının eğilmesinden kaynaklanmaktadır.



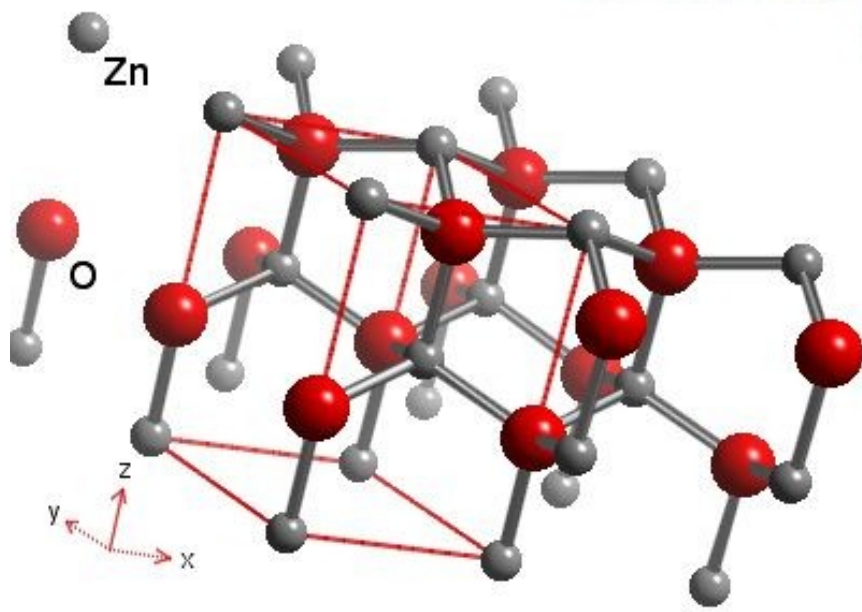
Şekil 2.10. p ve n-tipi materyallerin temas bölgelerinde Fermi düzeylerinin düzenlenmesi sonucu oluşan enerji bandı eğilmesi

Bu etki yukarıdaki band diyagramında gösterilmiştir. Band diyagramı valans bandı ve iletkenlik bandı sınırının uzaysal boyutlara (genellikle x eksenini) bağlı değişimini göstermektedir. Diyagramda katkılı kristalin Fermi enerjisi ve katkılanmadığı durumdaki Fermi enerjisi de gösterilmektedir. Bu diyagram kullanılarak birçok yarıiletken cihazın çalışma prensibi açıklanabilmektedir. [2]

3 ZnO ve CdO BİLEŞİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1 ZnO'nun Genel Özellikleri

Optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı metal oksit yarıiletkenler son yıllarda yoğun bir şekilde çalışılmakta ve oldukça ilgi çekmektedir. Çinko oksit, doğada “mineral zinkit” olarak bulunur. ZnO bileşiği, Şekil 3.1’ de gösterildiği gibi hegzagonal yapıda kristalleşmektedir ve örgü sabitleri $a=3,24982 \text{ Å}$, $c=5,20661 \text{ Å}$ dur. ZnO birim hücresinin hegzagonal yapısında her Zn atomu, birinci kabukta dört O atomu ve ikinci kabukta on iki Zn atomu ile çevrilmiştir. II-IV bileşiklerinin çoğu ya kübik, ya “zinc blende” ya da “hegzagonal wurtzite” yapısına sahiptir. ZnO bileşiği de II-IV grubuna ait bir yarıiletkenidir. Sınırdaki iyonizitesi, kovalent ve iyonik yarıiletkenler arasındadır. [9]



Şekil 3.1. ZnO'nun kristal yapısı

ZnO, yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir ve oda sıcaklığında yaklaşık 3,3 eV’ luk direkt band geçişli yasak enerji aralığı bulunur. Yaklaşık 60 meV’ luk geniş band aralığına sahip ZnO yarıiletken ince filmler, elektronik ve optik aygıtlar için uygun malzemelerdir. Geniş band aralığına sahip bir materyal kullanılarak üretilen aygıtlar, yüksek kırılma voltajına ve düşük gürültüye sahip olurlar. Ayrıca bu aygıtlar yüksek sıcaklıklarda ve yüksek güçlerde çalıştırılabilirler. [9]

Yarıiletkenlerdeki elektron geçiş performansları, düşük ve yüksek elektrik alanda farklılıklar gösterir. Düşük elektriksel alanda, ZnO'nin sahip olduğu elektronların enerji dağılımı, fazla değişime uğramaz. Çünkü elektronlar uygulanan elektrik alandan fazla enerji alamazlar. Bu nedenle elektron mobiliteleri sabit olacaktır. Saçılma oranı, elektron mobilitesi ile belirlendiğinden, fazla değişime uğramayacaktır. Yüksek elektrik alanda, uygulanan elektrik alandan dolayı elektronların enerjileri kendi termal enerjileriyle karşılaştırılabilir. Elektron dağılım fonksiyonu dengede sahip olduğu değerden daha uzak bir değere doğru sapacaktır. Bu elektronlar, ortalama sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa sahip sıcak elektronlar olmaktadır.[9] Elektron sürüklenme hızları, kararlı durumda sahip oldukları sürüklenme hızından büyüktür. Bu nedenle yüksek frekansa sahip aygıtlar yapmak olasıdır.

ZnO, ferroelektrik olmayan bir bileşiktir ve oldukça büyük bir elektro mekanik çiftlenim katsayısına sahiptir. Bundan dolayı ZnO delay line cihazları ve yüzey akustik dalga cihazları (SAW) için bir transduser olarak kullanılan ve iyi bilinen bir piezoelektrik malzemedir. Çinkonun doğada bol miktarda bulunması ve ucuz bir malzeme oluşu çinko oksitinin maliyetini düşürmektedir. Çinko oksit görünür ışık bölgesinde saydam oluşu nedeniyle saydam iletken malzeme olarak çok büyük ilgi görmektedir. ZnO bileşimi görünür bölgede yaklaşık %80-%90 optik geçirgenliğe ve $10^{-3} - 10^{+2} \Omega\text{cm}$ bölgesinde bir elektriksel direnç sahiptir. [9]

ZnO kendi doğasından dolayı n-tipi yapıya sahiptir. n-tipi iletkenlik, stokiometriden sapmasından dolayı oluşur. Araya sıkışmış oksijen ve çinko eksiklikleri, olası akseptör düzeyleri yaratabilmesine karşılık, serbest yük taşıyıcılar, oksijen boşlukları ve interstitiyal çinko ile bağlantılı olarak donör düzeylerden kaynaklanır. Katkılanmamış ZnO, kararsız elektriksel özelliklere sahiptir.

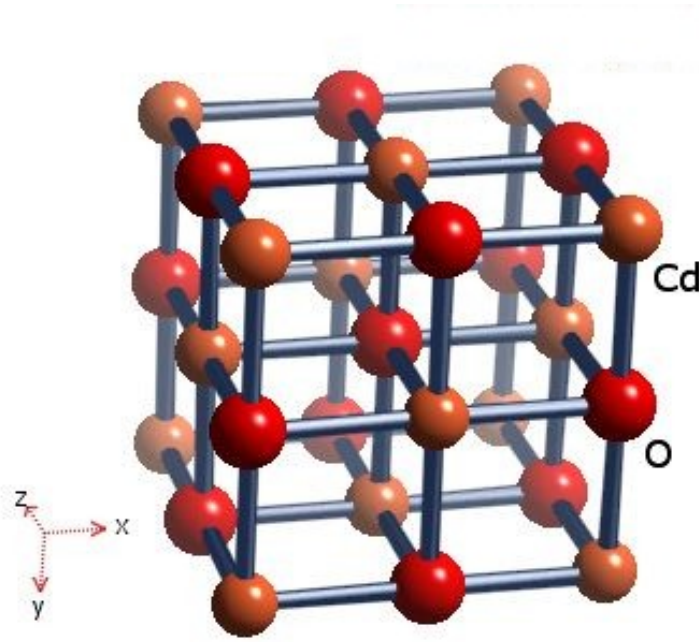
p-tipi ZnO elde etmek için n-tipi ZnO materyalleri katkılanması gerekir. p-tipi ZnO elektriksel aygıtlar için yapılan uygulamalar açısından oldukça önem taşımaktadırlar. Güvenilir bir p-tipi ZnO ince filmin üretilmesi ZnO optoelektronik aygıtların gelişimini oldukça hızlandıracaktır.

Amfoterik bir bileşik olan çinko oksit organik ve inorganik asitlerle reaksiyona girer. Çinko oksit, amonyak çözeltisi içerisinde de çözünerek çinko asetat oluşturur. Beyaz renkli olan çinko oksit, 300 °C sıcaklıkta sarı renge döner. [9]

3.2 CdO Bileşiğinin Özellikleri

Kadmiyum oksit (CdO) yarıiletken bileşiği periyodik tablonun II. Grup elementlerinden olan Cd ile VI. Grup elementlerinden olan O' den oluşan II-VI grup bileşiğidir.

CdO n-tipi yarıiletken olup kristal yapısı NaCl (FCC) yapısına benzemektedir. Ayrıca 2,2–2,8 eV direkt geçişli yasak enerji aralığına sahiptir. Diğer geçirgen iletken oksitler ile karşılaştırıldığında CdO' nun yasak enerji aralığı daha dardır ve diğer geçirgen iletken oksitlerden beş ile on kat daha fazla yüksek elektron mobilitesine sahiptir .



Şekil 3.2. CdO' nun kristal yapısı

CdO yarıiletken bileşiği yüksek iletkenliğe ve görünür bölgede yüksek optiksel geçirgenliğe sahiptir. Özdirenci $4,87 \times 10^{-4} \text{ ohm}^{-\text{cm}}$ dir .

Son yıllarda CdO yarıiletken bileşiği, güneş pillerinde, transparan elektrotlarda, fototransistörlerde, fotodiyotlarda, gaz sensörlerde, fotovoltaiik ve optoelektronik devrelerde, sıvı kristal göstergelerde, IR dedektörlerde, yansıma yapmayan kaplamalarda kullanılmaktadır. CdO bu uygulamalarda çok sık kullanılan bir yarıiletken bileşiktir [4,10]

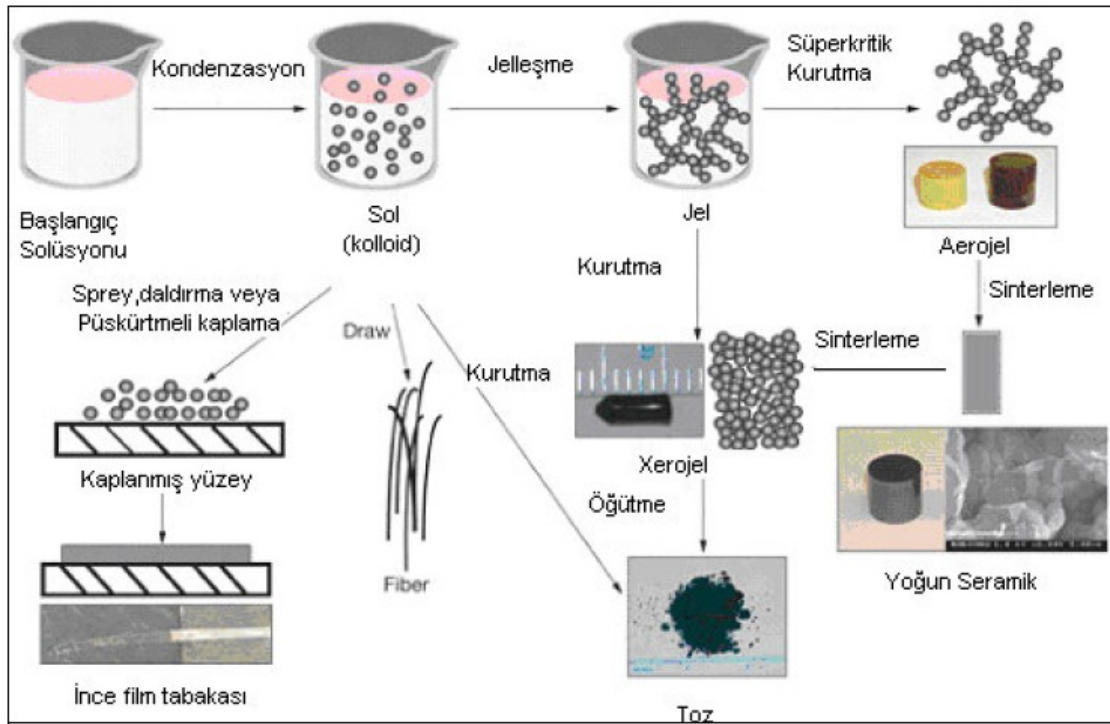
4 SOL-JEL METODU

Sol-jel üretim metodu laboratuvar koşullarında iyi uygulanabilen bir metot olmasının yanında, büyük ölçekli üretimler için de kullanımı giderek artmaktadır.

Sol-jel yöntemi, başlangıç malzemesi olarak metal bazlı hammaddeler; çoğunlukla da alkoksit çözeltileri kullanılarak metal oksitlerin hazırlanması için uygulanan bir metot olarak bilinir. [11]

Sol, çok küçük katı parçacıkların sıvı içerisinde asılı kalarak homojen bir dağılım gösterdiği denge durumudur. Sıvı içerisindeki parçacıkların boyutu $1\mu\text{m}$ den daha küçüktür. Sollar parçacıkların etkileşimine göre tanımlanırlar. Eğer parçacık çözücü etkileşimi zayıf ise liyofobik sol, değilse yani kuvvetli ise liyofilik sol olarak adlandırılır.

Jel, sıvı bileşen içeren içyapısı yüksek yoğunlukta sıvı ve katı dağılımına sahip durumdur. Bütün sollar jel olmayabilir. Jel için önemli ölçüt en küçük çözücü parçacıkları ile çözünen parçacıklar arasında bağ kurulmasıdır. [7]



Sekil 4.1. Sol-jel yönteminin şematik olarak gösterimi

Sol-jel yönteminde, saf bileşikler içeren inorganik veya metal organik bileşikler kullanılır. Bu bileşiklerin sulu çözeltileri veya organik çözücüler M-O-M (metal-oksijen-metal) bağları içeren inorganik polimer formuna hidroliz edilir.

Bazı metal oksitleri elde etmek güç olduğundan dolayı bunların tuzlarını reaksiyonlarda kullanmak daha avantajlıdır. Örneğin I ve II. grup elementlerinin uçuculuğu az ve çözünürlükleri iyi değildir. Bu nedenle onların tuzları kullanılır ve bu grup elementlerinin metal tuzları ısıtılarak veya oksitlenme yoluyla kolay bir biçimde dönüştüklerinden dolayı bu reaksiyonlarda daha çok tercih edilirler. Organik asit tuzları olarak, asetatlar, nitratlar, formatlar ve sitratlar kullanılır. Nitratlar daha yaygın olarak kullanılır fakat başlangıç maddesi olarak asetatlar daha uygundur. Çünkü asetatlar daha iyi çözünür ve bazik olduklarından dolayı jelleşme daha hızlı meydana gelir. Sol-Jel çözeltisini tuz kullanarak hazırlamak için önce alkoksit bileşiklerin çözeltisi elde edilir veya birkaç tuzun bileşiği alkol içerisindeki çözeltileri ilk çözelti ile karıştırılarak jel elde edilir. [7]

Sol-jel Metodu sade bir biçimde üç kimyasal reaksiyondan meydana gelir. Bunlar kompleks üretme, hidroliz ve polikondensasyon (kondensasyon iki atomun birleşerek bağ oluşturması ve beraber serbest hareket etmeleri) reaksiyonlarıdır. İlk aşamada oksit karışımını meydana getirecek olan kimyasal bileşiklerin başlangıç maddeleri ile bir karışım hazırlanır, ardından karışımda meydana gelen hidroliz ve polikondensasyon reaksiyonları sonucunda elde edilen ürüne termal işlem uygulanarak oksit meydana getirilir. İki çeşit sol-jel yöntemi vardır; ilki metal tuz çözeltisini kullanarak hazırlanan sıvı bazlı ikincisi ise metal oksit kullanarak hazırlanan alkol bazlı sistemdir. Bu sistem inorganik ve metal organik bileşiklerin organik çözücüler içinde metal-oksijen-metal bağlarından oluşan inorganik polimerlerin meydana gelmesiyle gerçekleşir.

Bu işlemlerde en çok kullanılan metal organik bileşiği metal oksittir. Alkoksit, alkol içerisinde çözünerek, baz yada asit içerisinde çözünerek hidroliz olur. Alkoksit çözeltinin hidrolizi ve yoğunlaşması sayesinde sıvı fazdan daha yoğun sıvı faza geçişi yani jel oluşumu meydana gelir. Bu metotla hazırlanan ürünler homojen ve saf olmaktadır. [7]

Bu metodun avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

4.1 Sol-jel yönteminin avantajları

- Kimyasal yönü kontrol edilebilir
- Ham maddelere kıyasla daha homojen numuneler üretilebilir
- Üretilen toz boyutu mikronun altındadır

- Malzeme üretimi için düşük sıcaklıklar yeterlidir
- İnce film yapımı için de elverişlidir
- İstenilen yapı ve kalınlık elde edilebilir.
- Diğer üretim teknikleri ile karşılaştırıldığında daha ucuz bir yöntemdir.
- Çok çeşitli elementlerin katılımıyla yeni ve değişik türde bileşikler elde edilebilir
- Ürünler yüksek saflıkta elde edilir. Ortamdan gelen safsızlıklar ve reaksiyon kabıyla etkileşim oldukça düşüktür. Bu özellikten dolayı optik ürünlerde önemli avantajlar sağlar.
- Polimerizasyon sırasında jel içinde değişik zincir uzunluğunda polimer moleküllerinin bulunması ve işlem sırasında bunların kısmen faz ayrımına uğramaları nedeniyle yapıda bileşim farklılığı göstermeden yapısal değişiklikler gösteren bölgelerin oluşabilmesi mümkündür.
- İşlem için gerekli ısı işlem sıcaklıkları genellikle 1000 ° C' nin altında olduğundan önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanır.
- Eritme işleminde buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar bu yöntemde en aza indirilir. [8][7]

4.2 Sol-jel yöntemin dezavantajları

- Hammadde fiyatları yüksek olduğundan uygulamalar bazı özel seramikler ve kaplama üretimi ile sınırlı kalabilir.
- İşlem süresi uzundur.
- İşlem süresinin uzunluğu üretim miktarını kısıtlayıcı bir faktördür. Seri olarak malzeme üretmek ve kaplama yapmak çok zordur.
- Kullanılan organik hammaddelerin sağlığa zararlı olmaları uygulamalarda özel koruyucu tedbirler alınmasına neden olduğundan maliyet artar.
- Jel içinde kalan gözenekler, hidroksil iyonları ve karbon atomları bazı özel amaçlı ürünlerde hataya neden olur.
- Üretilen tozların maliyeti yüksektir.
- Yapım esnasında büzülme miktarı çoktur.
- Yapıda çatlaklar yer alabilir.
- Yapıda OH (hidroksil) veya C grubu bulunabilir. [7] [8]

5 MATERYAL VE METOT

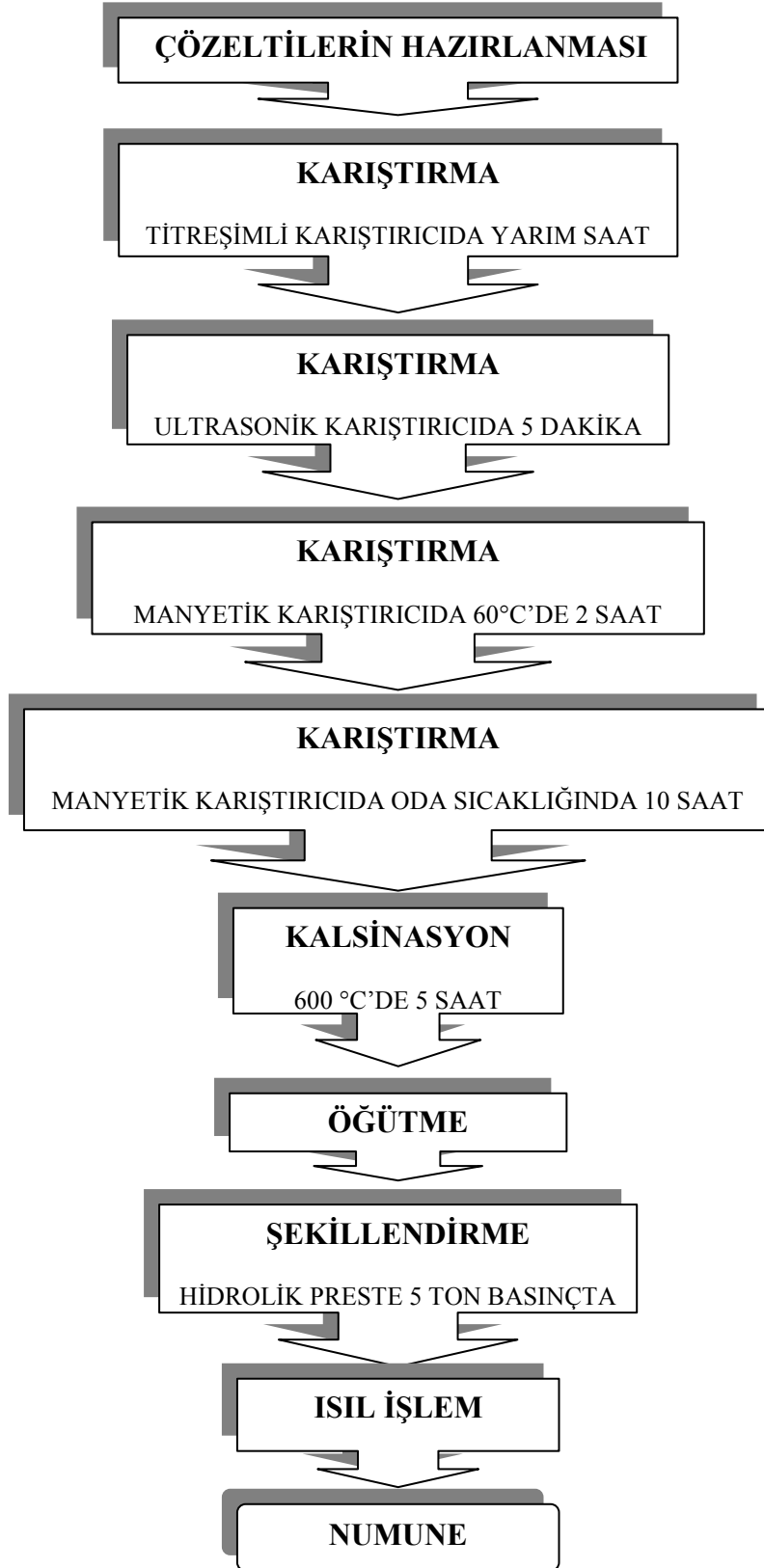
5.1 Deneysel İşlemler

Bu çalışmada yüksek saflıkta malzeme üretilmesi, malzemelerin homojen olması, üretilen toz boyutunun mikron altında olması gibi avantajları olan Sol-Jel yöntemi ile metal oksit katkılı yarıiletken malzeme üretilmeye çalışılmıştır. Bunun için Kadmiyum Asetat $((CH_3COO)_2.Cd.2H_2O)$ ve Çinko Asetat $((ZnCH_3COO)_2.2H_2O)$ tozları kullanılmıştır.

Kadmiyum Asetat $((CH_3COO)_2.Cd.2H_2O)$ içine molce %5, %10, %15, %20 oranlarında Demir klorid 6-hidrat $(FeCl_3.6H_2O)$, molce %5, %10, %15, %20 Alüminyum Nitrat Nonahidrat $(Al(NO_3)_3.9H_2O)$ ve Çinko Asetat $((ZnCH_3COO)_2.2H_2O)$ içine molce %5, %10, %15, %20 oranlarında Demir klorid 6-hidrat $(FeCl_3.6H_2O)$, molce %5, %10, %15, %20 Alüminyum Nitrat Nonahidrat $(Al(NO_3)_3.9H_2O)$ katkı yapılmıştır.

Her bir çözelti 2 Molar 10 ml olacak şekilde $M = \frac{n}{V}$ formülünden mol miktarı(n) hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan mol miktarı $n = \frac{m}{Ma}$ yerine koyulmuş ve esas matris için katı madde miktarı hesaplanmıştır. Yapılacak katkı miktarları için ise esas matrise göre hesaplanan mol miktarının katkı oranına göre yüzdesi alınarak katılacak madde miktarları hesaplanmıştır. Madde miktarları hesaplanan tozların ayrı ayrı tartımları alınmış ve her bir toz karışımı deney tüpleri içine koyulmuştur. Katı halde 5 dakika titreşimli karıştırıcıda karıştırılarak kısmen de olsa bir homojenlik elde edilmiştir. Ardından her bir deney tüpüne çözücü olarak 10 ml yi tamamlayacak şekilde N,N-Dimetilformamid $((CH_3)_2NOCH)$ koyulmuştur. Deney tüpleri içerisinde tartımları tamamlanan numuneler yarım saat titreşimli karıştırıcıda karıştırılmıştır. Homojenleştirilen çözeltiler daha sonra oda sıcaklığında Ultrasonik karıştırıcı da 5 dakika karıştırılmıştır. Ultrasonik karıştırıcıdan alınan deney tüpleri sıcaklığı 60 °C'ye ayarlanmış manyetik karıştırıcı üzerine alınarak 2 saat karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından tozların çözücüde iyice çözünmesini sağlamak amacıyla son olarak yine manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında her bir çözelti 10 saat karıştırılmıştır. Karıştırma işlemiyle iyice homojenleşen çözeltiler içindeki çözücünün uzaklaştırılması için Kalsinasyon ısı işlemi uygulanmıştır. Kalsinasyon için fırın kademeli olarak 600 °C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 5 saat

bekletilmiş ardından deney tüpleri fırın içinde soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan deney tüpleri fırından alınarak içindeki tozlar 5 dakika öğütülmüş ve hidrolik preste 5 ton basınç uygulanarak 1,2 cm çapında tabletler halinde şekillendirilmiştir. Preslenen numuneler Kadmiyum matrisli olanlar için 400°C(Kadmiyumun erime sıcaklığı düşük olduğu için), Çinko matrisli olanlar için ise 1100°C de yarım saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen numuneler için deney akım şeması Şekil 5.1. de verilmiştir.



Şekil 5.1. Numunelerin üretim şeması

5.2 Numunelerin Yapısal Özellikleri

Bir kristal, atomların üç boyutlu uzayda periyodik dizilmeleriyle oluşturdukları katı olarak tarif edilebilir. Katıların kristal yapısı materyali oluşturan atom, atom grupları ve moleküllerin üç boyutlu uzayda belirli bir geometrik düzende sıralanarak bir araya gelmesi ile oluşur.

Görünür ışık kullanarak kristalin içyapısı hakkında bilgiler elde edemeyiz. Çünkü görünür ışığın dalga boyu, kristalin atom ve molekülleri arasındaki boşluklarla kıyaslandığında oldukça büyüktür. Kristal yapısını incelemek için dalga boyları görünür ışığa göre çok daha küçük olan foton, nötron ve elektronların kırınımı yoluyla incelenir. Fakat en fazla kullanılan yöntem x-ışını kırınım desenleridir.

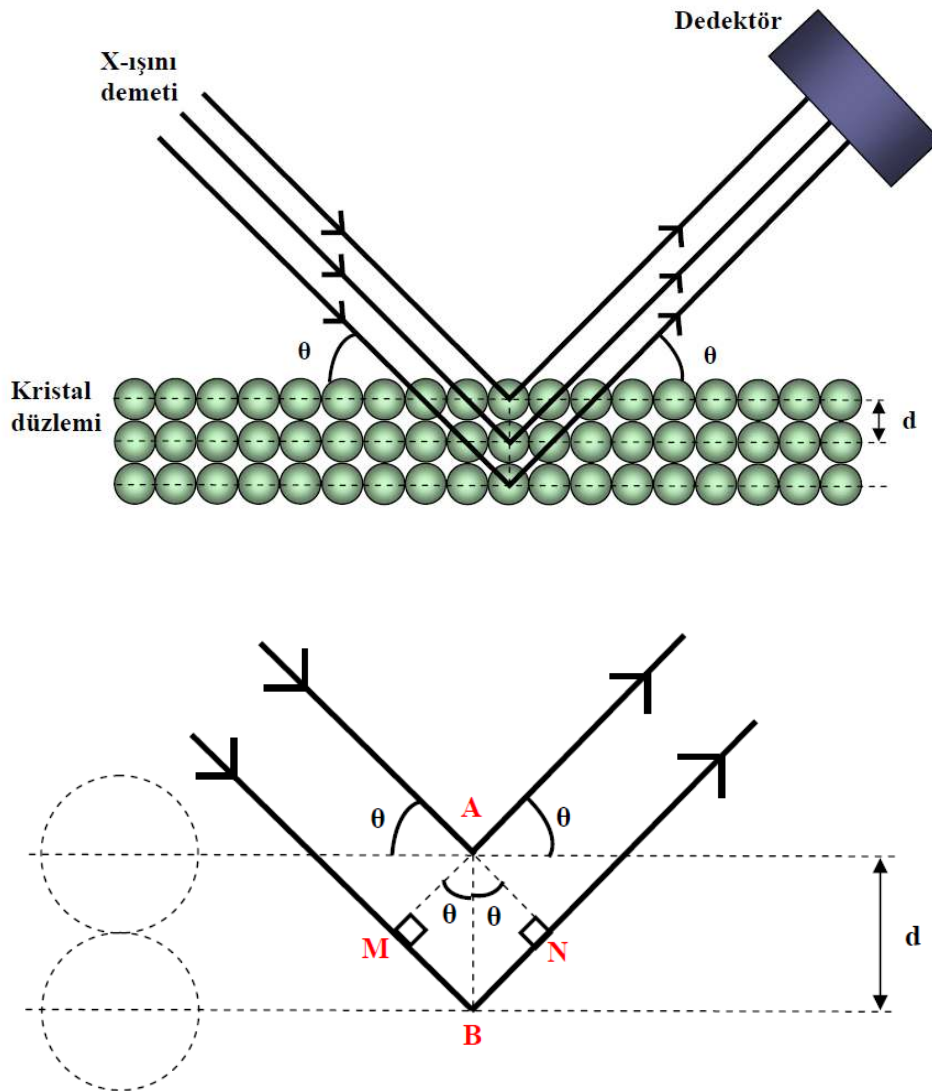
X-ışınlarının kristaller aracılığıyla kırınımının mümkün olduğunu ilk olarak 1912’de Alman fizikçi von Laue göstermiştir. Laue’nin yaptığı deneyler hem x-ışınlarının dalga yapısını, hem de atomların bir kristal içerisinde periyodik düzende olduğunu ispatlamıştır. Bu deneyleri inceleyen İngiliz fizikçi W.L. Bragg yine 1912 yılında Laue deneyini başarılı bir şekilde analiz etmiş ve kırınım için gerekli koşulları von Laue tarafından kullanılan daha basit bir matematiksel formda ifade edebilmiştir. Sonraki yıllarda da bazı kristal yapıları ilk olarak eksiksiz analiz etmiştir. [4,10,12]

5.2.1 X-Işını Kırınımı

Materyallerin kristal yapıları ile ilgili çalışmalarda x-ışınlarının kırınımından yararlanılmaktadır. Bir x-ışınının enerjisi, dalga boyu ile ters orantılıdır ve enerjisi $E=hc/\lambda$ ’dır, dalga boyu ise 0.1Å ile 100Å arasında değişir. Kristal çalışmalarında 0,2 Å ile 2,5 Å arasındaki dalga boylu x-ışınları kullanılır. Bu çalışmada dalga boyu 1,5406 Å olan CuK α olan tek dalga boylu x-ışınları kullanılmıştır.

X-ışınlarının kristalde kırınımına uğraması için belirli geometrik şartların gerçekleşmesi gerekmektedir. Bir kristale x-ışını gönderildiği zaman, kristaldeki atomlara ait elektronlar aynı frekansta titreşmeye zorlanırlar. Böylece, kristaldeki elektronlar, her yönde aynı dalga boyunda ışın yayarlar. Kristaldeki her atomun bütün elektronları, x-ışınlarının saçılmasına katkıda bulunurlar ve küresel dalga şeklinde aynı faz ile aynı frekansta ışımaya yaparlar. Aynı frekansta ışımaya yapan bu örgü noktalarındaki atomlar birer kaynak gibi davranırlar. Bu ışımalar bazı yönlerde birbirlerini kuvvetlendirirken bazı yönlerde ise zayıflatırlar, yani bu ışımalar yapıcı ve yıkıcı girişim yaparlar.

Bir kristalden kırınım olayının açıklanması W.L. Bragg tarafından yapılmıştır. Kırınım olayı Şekil 5,2’de gösterildiği gibi, kristaldeki atomların oluşturduğu farklı düzlem tabakalarından yansıyan dalgaların girişimleri sonucu oluşur. Yansıma düzlemleri kristalin yüzeyini oluşturan düzlemlerden tamamen farklı olabilir. Kristalin paralel düzlemlerine θ açısı yaparak gelen tek dalga boylu x-ışınlarının kırılmadığı kabul edilirse, kristale giren x-ışınları düzlemlerden θ açısı yaparak yansıyacaktır. Bu ışınlar yol farkından dolayı birbirlerini yapıcı veya yıkıcı yönde etkilerler. Girişim yapıcı ise ışınlar arasındaki yol farkı, dalga boylarının tam katlarına eşit olmalıdır. [4] [10][12]



Şekil 5.2. Bir kristal düzleminde x ışını kırınımının meydana gelmesi

$$\text{Yol Farkı} = MB + BN = d\sin\theta + d\sin\theta \quad (5.1)$$

ile verilir. Buradan,

$$2d\sin\theta = n'\lambda \quad (5.2)$$

yol farkının dalga boyunun tam katlarına eşit olması gerektiği görülür. Bu eşitlik Bragg yasası olarak bilinir. Burada,

d , kristal düzlemleri arası uzaklığı,

n' , bir tam sayı olmak üzere yansıma mertebesini,

λ , gelen x-ışının dalga boyunu göstermektedir.

Pek çok katı malzemenin mikro yapıları, birçok taneden meydana gelir. Tane, içerisinde atom dizilimlerinin özdeş olduğu malzemenin bir kısmıdır. Buna karşın atomların yönelimi veya kristal yapı, her komşu tane için farklıdır. Tanelerin büyüklüklerinin ve yönelimlerinin; malzemenin elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Tane sınırları, aynı kristal yapı içinde fakat değişik doğrultulardaki kristal bölgeleri birbirinden ayıran ve atomların düzgün yerleşmediği yüzeysel kusurlardır. Tane boyutunun küçülmesi tane sayısının ve tane sınırlarının artmasına sebep olur. Bu durumda, herhangi bir çizgisel kusur, bir tane sınırı ile karşılaşmadan önce kısa bir mesafe hareket eder. Böylece malzemenin sertliği ve dayanımı artar.

Polikristal yapılar birden fazla faz içerebilir. Bu durumda polikristal yapının özelliği doğal olarak her fazın tek başına sahip olduğu özelliğe ve bu fazların polikristal yapı içinde bulunuş şekline bağlı olacaktır. Her fazın tanelerinin boyutu, mükemmelliği ve yönü diğer fazlardaki tanelerinkinden farklıdır.

Ticari metallerde ve alaşımlarda karşılaşılan tane büyüklükleri 10^{-1} - 10^{-4} cm aralığındadır. Bu sınırlar oldukça uç değerleri gösterir. Tipik değerler ise 10^{-2} - 10^{-3} cm aralığında kalırlar. Kristal tanelerinden birinin boyutu 10^{-5} cm den daha küçük olursa, genellikle kristal tanecik terimi kullanılır. Scherrer formülü ile genişleme miktarı,

$$G = \frac{0,9 \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (5.3)$$

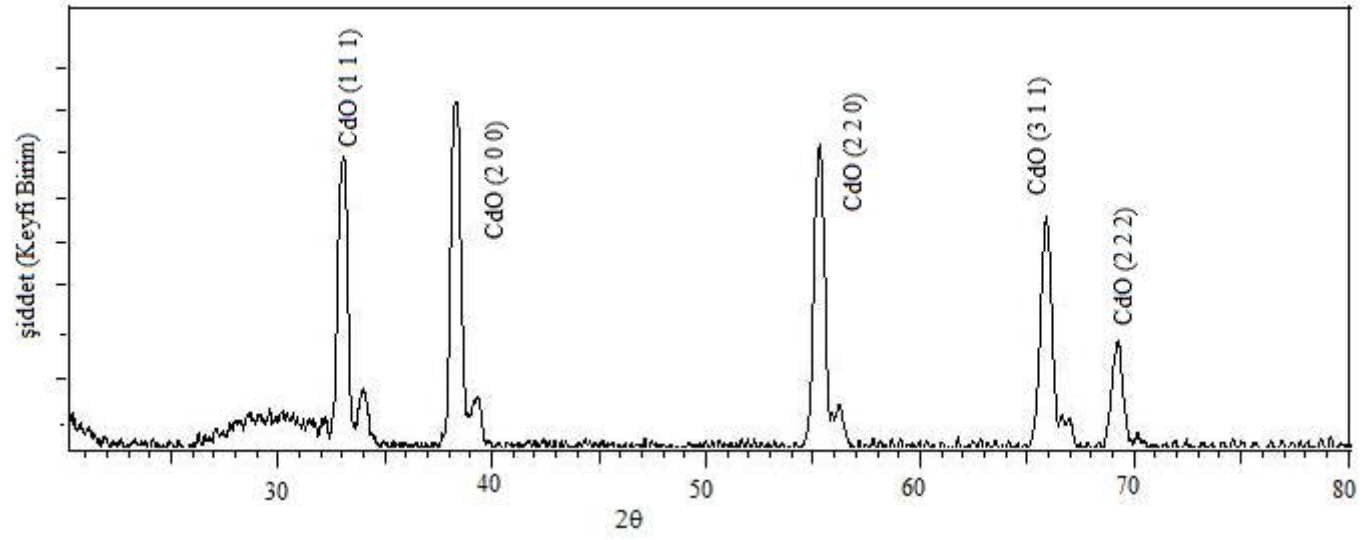
ile verilir. Burada; β maksimum şiddetli pikin radyan olarak yarı pik genişliği, G tanecik boyutu, θ Bragg açısı ve λ kullanılan ışının dalga boyudur. [4,10,12,14]

5.2.2 Numunelerin X-ışını Sonuçları

Üretilen numunelerin x-ışını kırınım spektrumları Bruker marka D8 Advance model x-ışınları kırınım cihazında 1,5406 Å dalga boylu CuK α ışını kullanılarak $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ sınır değerlerinde incelenmiştir.

Spektrum üzerindeki piklerin şiddetlerine, yarı pik genişliklerine ve zemin (background) şiddetine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilmiştir. İyi bir kristalleşme seviyesine sahip malzemenin XRD spektrumu (Xışını Kırınım Spektrumu), şiddeti minimum olan bir zemin üzerinde bulunan yüksek şiddetli ve yarı pik genişlikleri dar olan piklere sahiptir. Eğer zemin şiddeti yüksek, yarı pik genişlikleri geniş ve pik şiddetleri düşük ise kristalleşme seviyesinin kötü olduğu söylenebilir. Spektrum üzerinde zemin şiddetinin yüksek olması düşük şiddete sahip pikleri görüntülenemeyecek hale getirir.

Numunelerin kırınım spektrumları incelendiğinde pik şiddetleri ve genişlikleri arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Şiddetleri büyük ve genişlikleri dar olan piklerde kristallenme iyi, şiddetleri küçük ve genişlikleri büyük olan piklerde kristalleşmenin iyi olmadığı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada elde edilen numunelerin x-ışını kırınım spektrumlarında, piklerin üzerinde ilgili düzlemlerin Miller indisleri belirtilmiştir.



Şekil 5.3. 400 °C’de ısıt işlem görmüş, katkısız CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

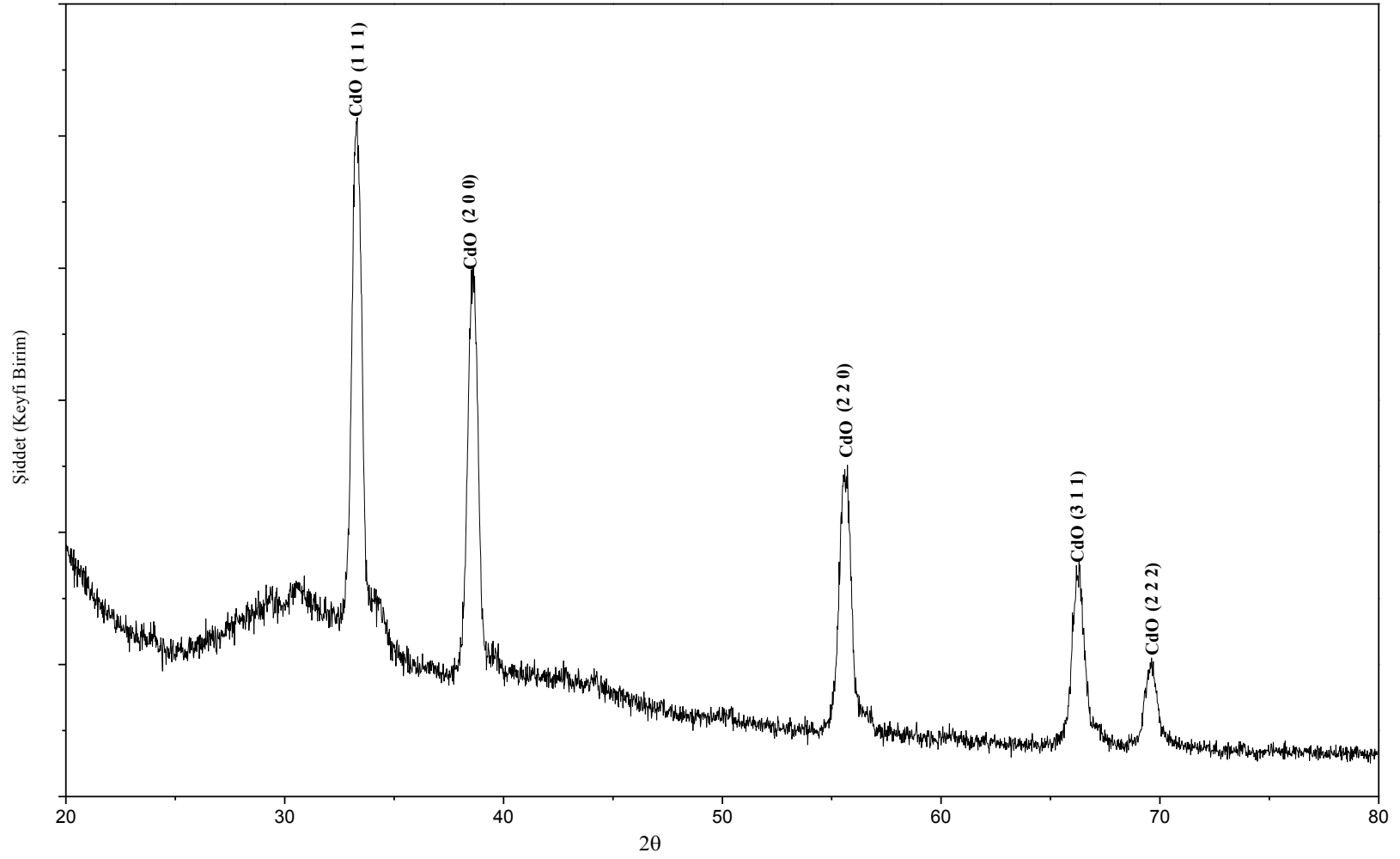
Tablo 5.1. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	570	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	698	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	565	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	448	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	211	Kübik CdO	2	2	2	1.35495

Şekil 5.3.'de Katkısız CdO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. Bu pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) dir. Bu numunedeki kristal atomları (111),(200) ve (220) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (200) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Tablo 5.1. 'de Katkısız , CdO yarıiletken numunenin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan $2\theta=38,292^\circ$ deki (200) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,489 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 172 Å olarak hesaplanmıştır.



Şekil.5.4., 400 °C 'de ısıtılmış, molce %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.2. %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

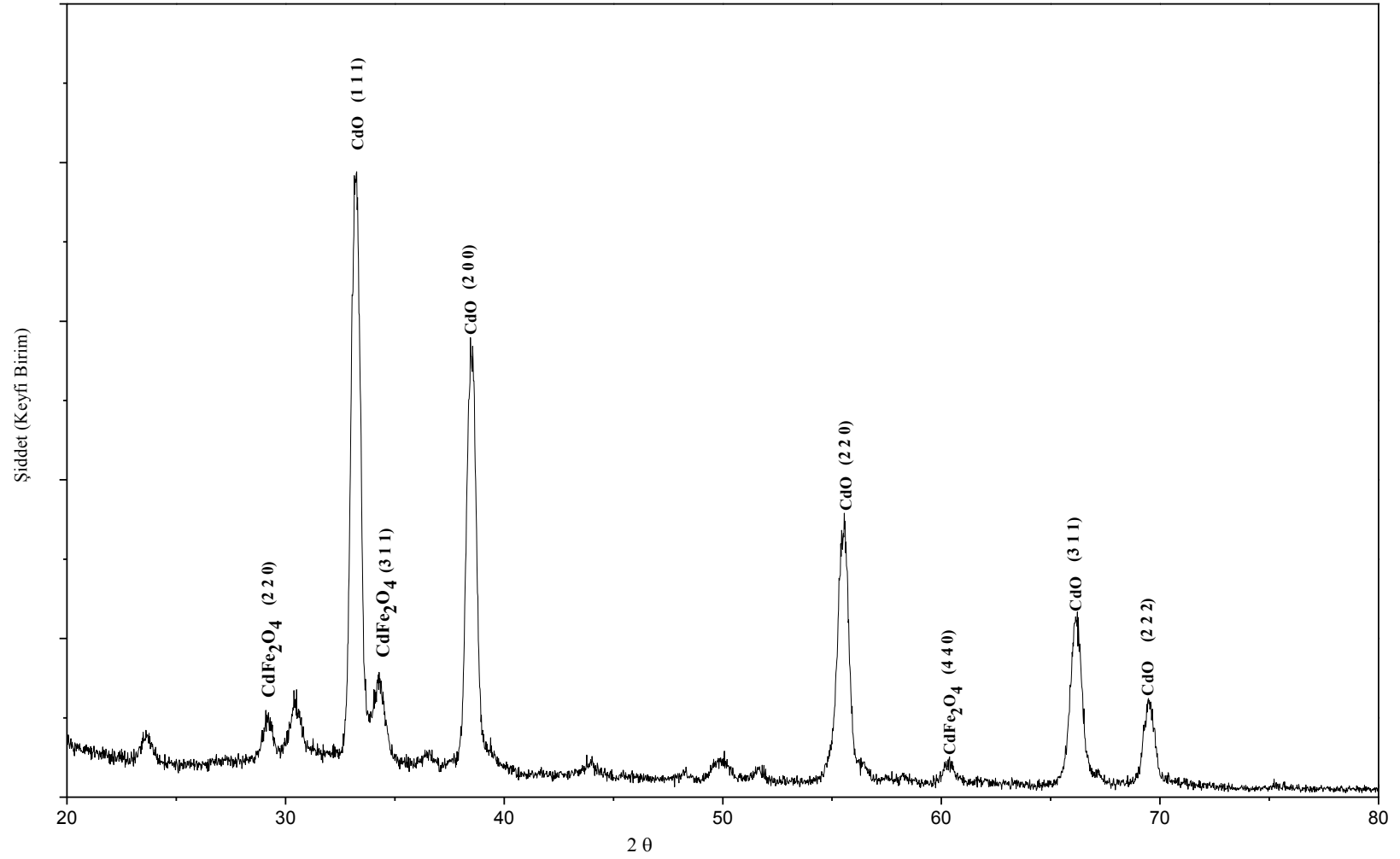
2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	1018	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	802	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	518	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	358	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	166	Kübik CdO	2	2	2	1.35495

Şekil 5.4.'de %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. Bu pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) dir. Bu numunedeki kristal atomları (111) ve (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (111) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında (111) ve (200) düzlemlerindeki piklerin şiddeti artmış (220), (311) ve (222) deki pik şiddetleri ise azalmıştır. Yarı pik genişliğinin de arttığı görülmüştür.

Tablo 5.2. 'de %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan $2\theta=32,995^\circ$ deki (111) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,499 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 166 Å olarak hesaplanmıştır. Katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı görülmüştür.



Şekil.5.5. 400 °C’de ısıtılmış, molce %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.3. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

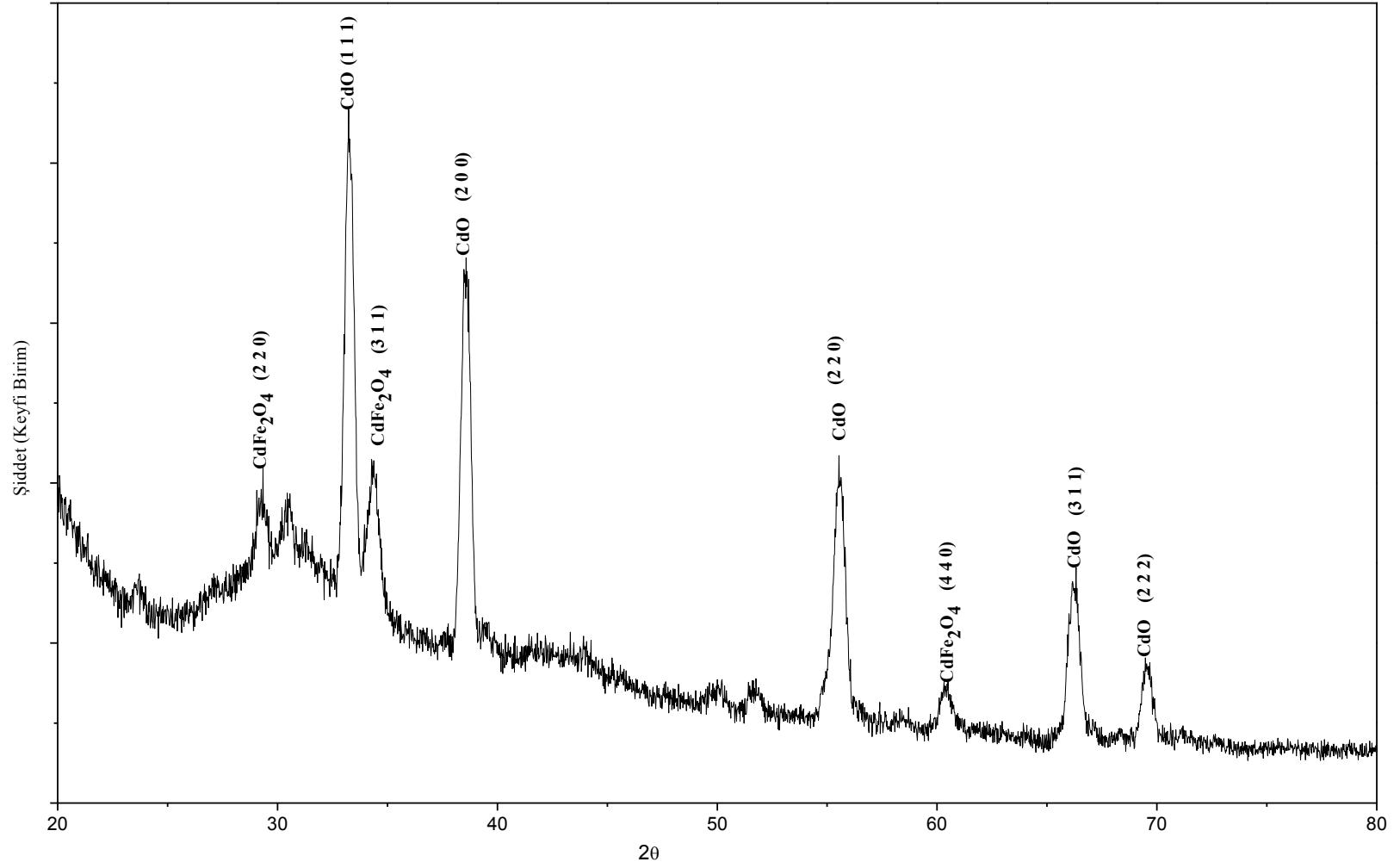
2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	984	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	703	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	424	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	293	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	141	Kübik CdO	2	2	2	1.35495
29,014	56,9	Kübik CdFe ₂ O ₄	2	2	0	3.07508
34,165	111	Kübik CdFe ₂ O ₄	3	1	1	2.62228
60,107	29,9	Kübik CdFe ₂ O ₄	4	4	0	1.53812

Şekil 5.5.'de %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO, CdFe₂O₄ bileşiklerine ve çok az da olsa Fe₂O₃'e ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222), CdFe₂O₄'e ait pikler(220)(311) ve (440) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak (111) ve (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (111) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında (111) ve (200) düzlemlerindeki piklerin şiddeti artmış (220), (311) ve (222) deki pik şiddetleri ise azalmıştır. Yarı pik genişliğinin de arttığı görülmüştür. %5 katkılı CdO numunesi ile kıyaslandığında ise tüm CdO pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de azalmıştır. Buna Fe oranının artması ve Cd ile Fe 'nin CdFe₂O₄ bileşiğini oluşturmasının sebep olduğu düşünülmüştür.

Tablo 5.3. 'de %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=32,995° deki (111) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,492 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 168 Å olarak hesaplanmıştır. Katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %5 Fe katkılı CdO kristallerine göre de arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.6. 400 °C 'de ısıtılmış, molce %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.4. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

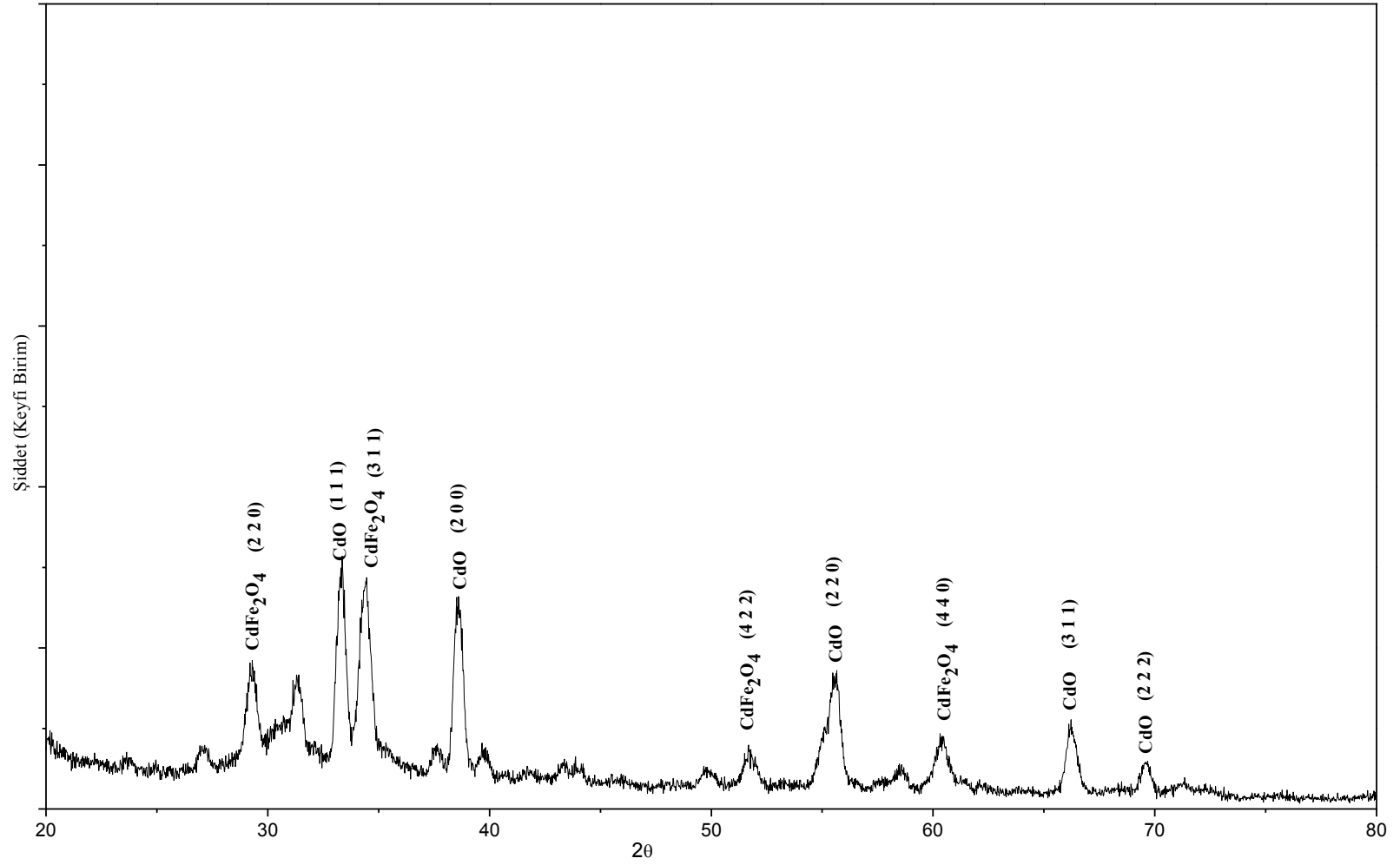
2 θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	790	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	634	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	408	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	262	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	136	Kübik CdO	2	2	2	1.35495
29,014	138	Kübik CdFe ₂ O ₄	2	2	0	3.07508
34,165	241	Kübik CdFe ₂ O ₄	3	1	1	2.62228
60,107	68,6	Kübik CdFe ₂ O ₄	4	4	0	1.53812

Şekil 5.6.'da %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO ve CdFe₂O₄ bileşiklerine ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222), CdFe₂O₄'e ait pikler(220)(311) ve (440) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak (111) ve (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (111) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında (111) düzlemindeki pikin şiddeti artmış (200) (220), (311) ve (222) deki pik şiddetleri ise azalmıştır. Yarı pik genişliğinin de azaldığı görülmüştür. %10 katkılı CdO numunesi ile kıyaslandığında ise tüm CdO pik şiddetlerinin azaldığı, aksine tüm CdFe₂O₄ pik şiddetlerinin ise arttığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de azalmıştır.

Tablo 5.4. 'de %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2 θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2 θ =32,995° deki (111) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik (FWHM) 0,484 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 171 Å olarak hesaplanmıştır. Katkısız CdO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %10 Fe katkılı CdO kristallerine göre de arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.7. 400 °C 'de ısıtılmış, molce %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.5. %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	275	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	275	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	178	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	115	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	52,7	Kübik CdO	2	2	2	1.35495
29,014	148	Kübik CdFe ₂ O ₄	2	2	0	3.07508
34,165	293	Kübik CdFe ₂ O ₄	3	1	1	2.62228
51,401	54,9	Kübik CdFe ₂ O ₄	4	2	2	1.77624
60,107	78,3	Kübik CdFe ₂ O ₄	4	4	0	1.53812

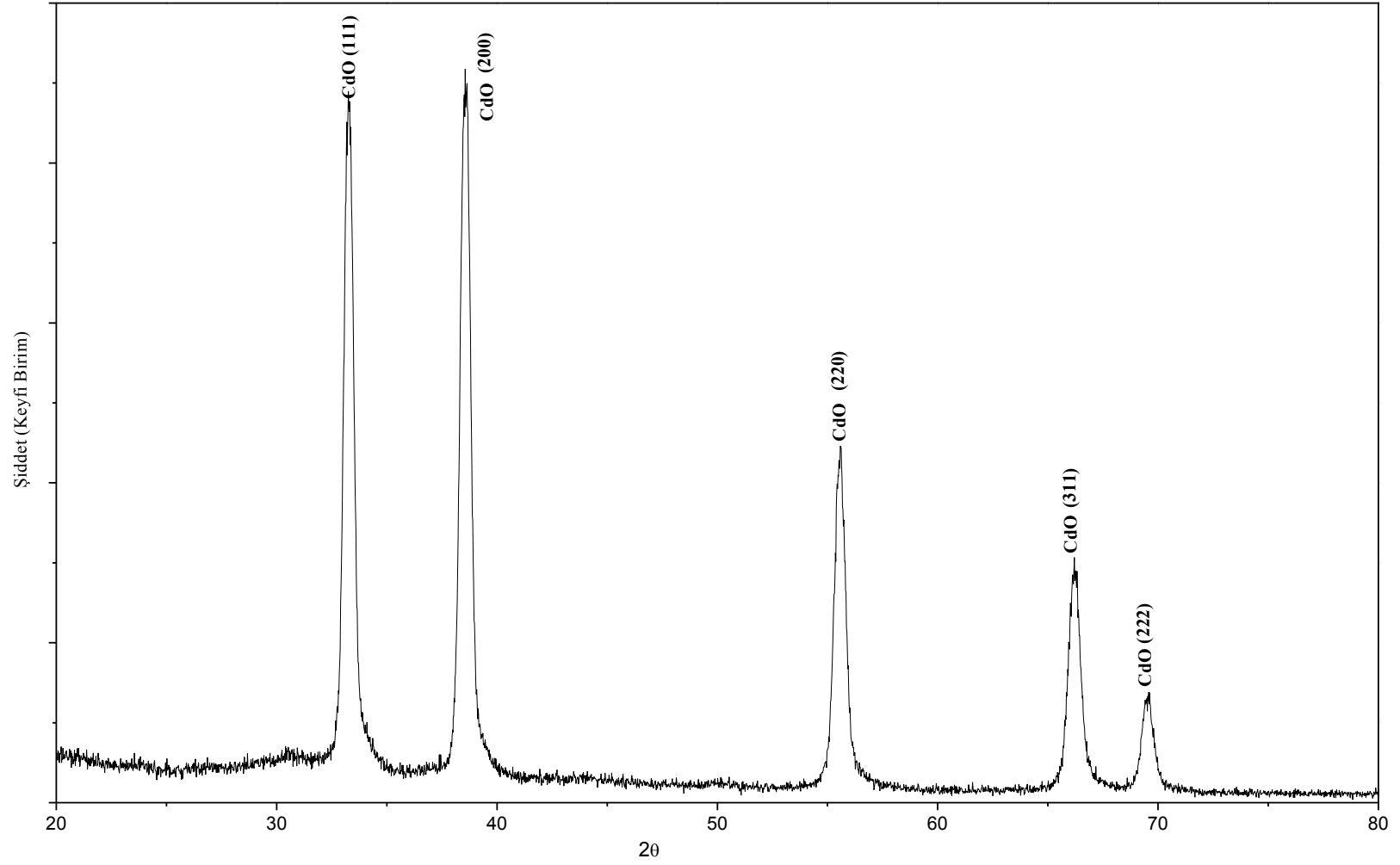
Şekil 5.7.'da %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO ve CdFe₂O₄ bileşiklerine ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222), CdFe₂O₄'e ait pikler(220)(311)(422) ve (440) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak CdFe₂O₄ (311) ve CdO (111) (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti CdFe₂O₄ (311) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında CdO' e ait tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği artmıştır. %15 katkılı CdO numunesi ile kıyaslandığında ise yine tüm CdO pik şiddetlerinin azaldığı, buna bağlı olarak tüm CdFe₂O₄ pik şiddetlerinin ise arttığı görülmüştür. CdFe₂O₄ 'ün ise en yüksek pik şiddetine ulaştığı gözlenmiştir. Yarı pik genişliği de artmıştır.

Tablo 5.5. 'de %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=34,165° deki CdFe₂O₄ (311) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik (FWHM) 0,543 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 153 Å olarak hesaplanmıştır.

Kristal boyutu katkısız CdO ve %15 Fe katkılı CdO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.8. 400 °C 'de ısıt işlem görmüş, molce %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.6. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	1094	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	1132	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	546	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	374	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	152	Kübik CdO	2	2	2	1.35495

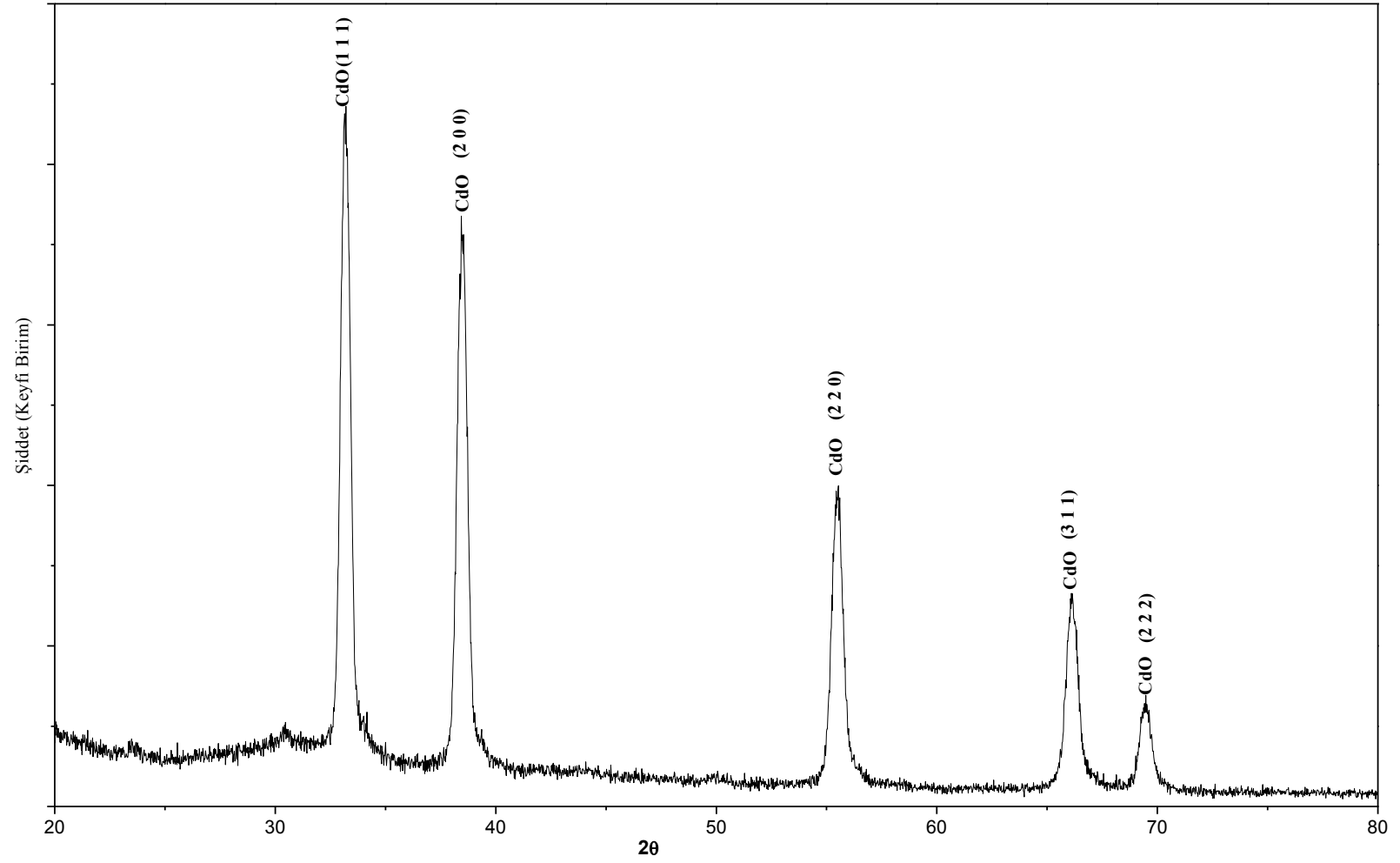
Şekil 5.8.'da %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak CdO (111) (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti CdO (200) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında CdO' e ait (111) ve (200) düzlemlerinin pik şiddetlerinin artmış, (220), (311) ve (222) düzlemlerinin pik şiddetinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği artmıştır.

Tablo 5.6. 'de %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=38,292° deki CdO (200) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik (FWHM) 0,529 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 159 Å olarak hesaplanmıştır.

Kristal boyutu katkısız CdO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.9. 400 °C 'de ısıtılmış, molce %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.7. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	1044	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	870	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	481	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	313	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	131	Kübik CdO	2	2	2	1.35495

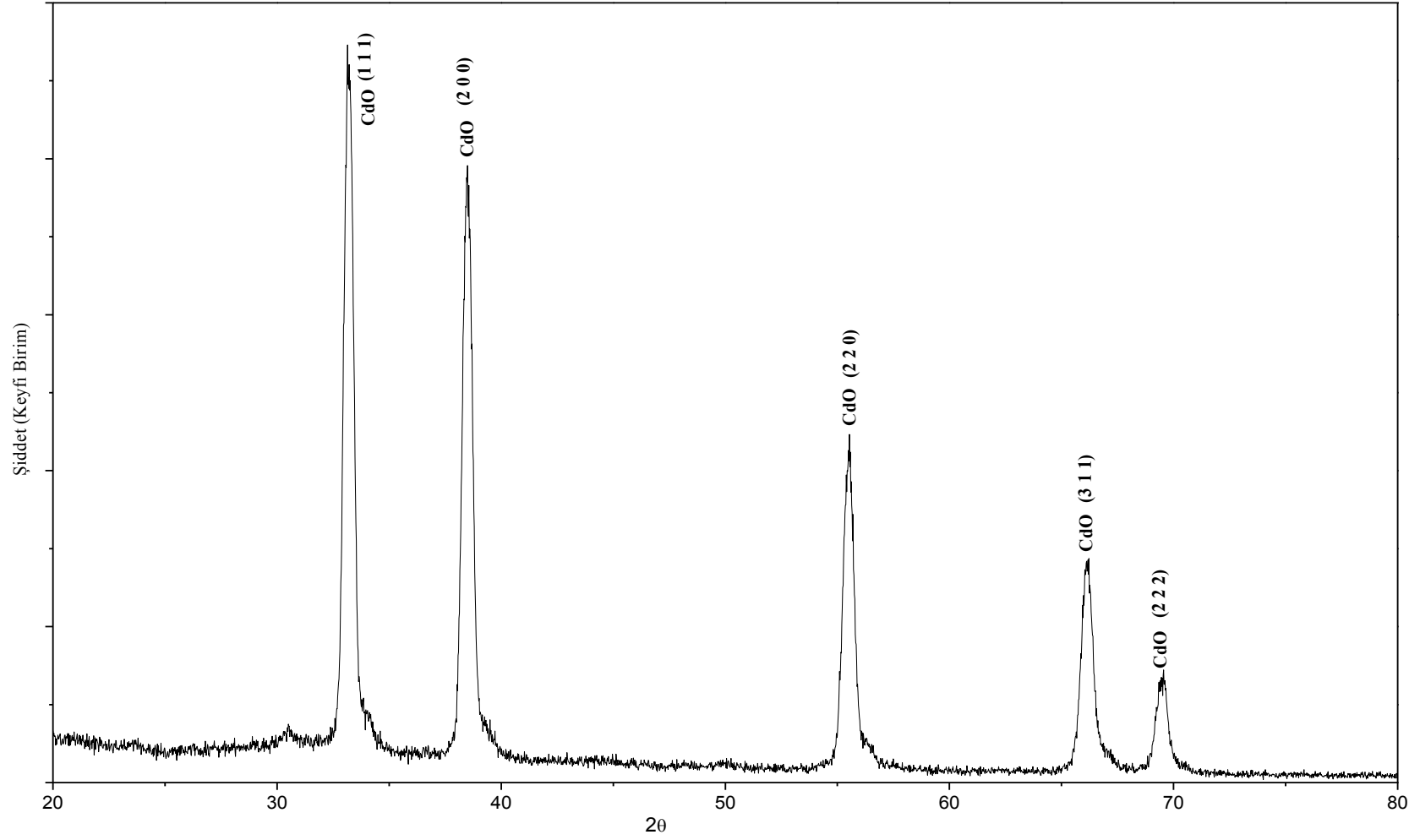
Şekil 5.9.'da %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak CdO (111) (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti CdO (111) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında CdO' e ait (111) ve (200) düzlemlerinin pik şiddetlerinin artmış, (220), (311) ve (222) düzlemlerinin pik şiddetinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği artmıştır. %5 Al katkılı CdO ile kıyaslandığında CdO'in tüm pik şiddetlerinin ve yarı pik genişliğinin azaldığı görülmüştür.

Tablo 5.7. 'de %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan $2\theta=32,995^\circ$ deki CdO (111) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik (FWHM) 0,512 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 161 Å olarak hesaplanmıştır.

Kristal boyutu katkısız CdO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %5 Al Katkılı CdO kristalleri ile kıyaslandığında ise kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.10. 400 °C 'de ısıtılmış, molce %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.8. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	1166	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	977	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	536	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	365	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	151	Kübik CdO	2	2	2	1.35495

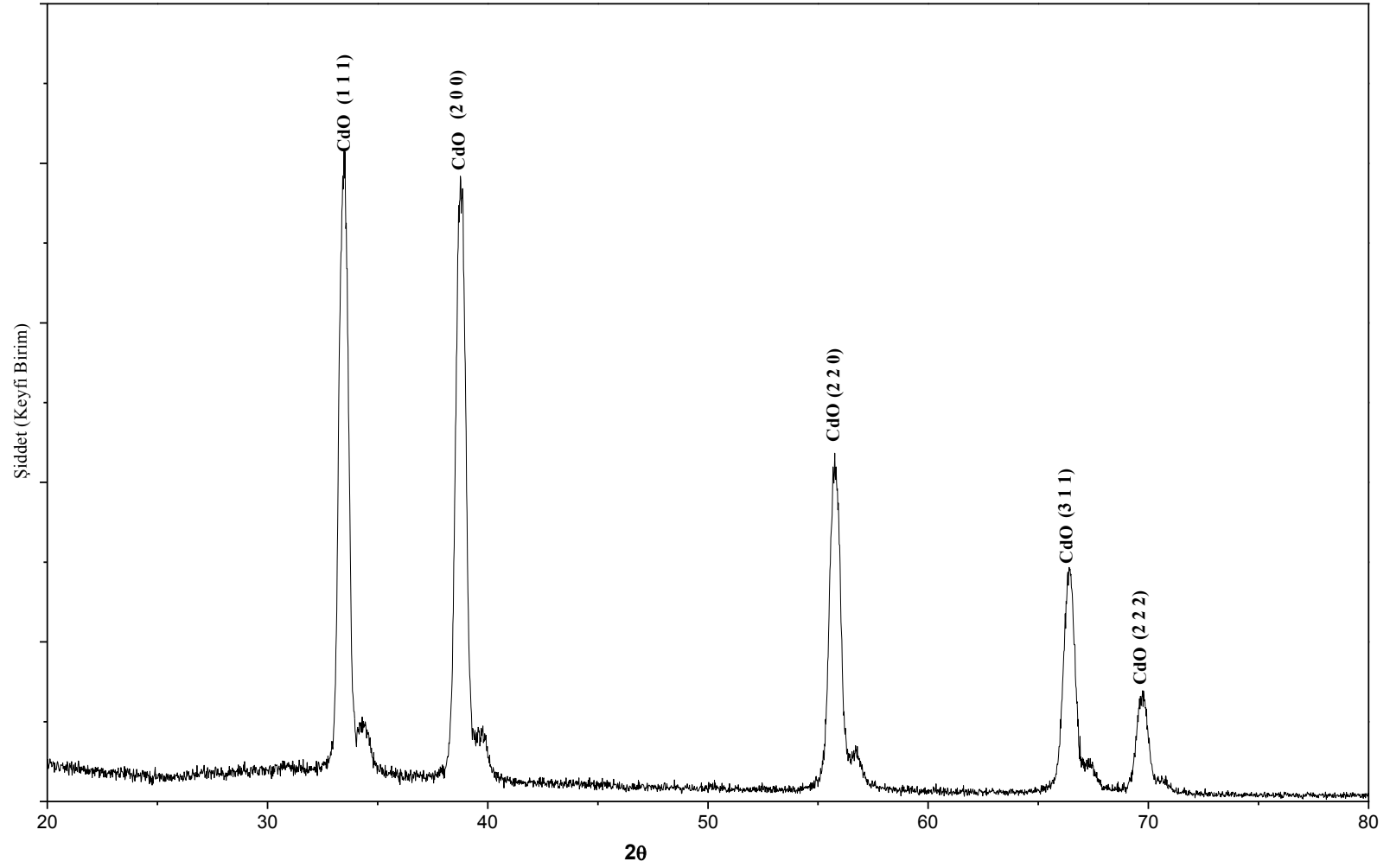
Şekil 5.10.'da %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak CdO (111) (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti CdO (111) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında CdO' e ait (111) ve (200) düzlemlerinin pik şiddetlerinin artmış, (220), (311) ve (222) düzlemlerinin pik şiddetinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği artmıştır. %10 Al katkılı CdO ile kıyaslandığında CdO'in tüm pik şiddetlerinin arttığı ve yarı pik genişliğinin ise azaldığı görülmüştür.

Tablo 5.8. 'de %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=32,995° deki CdO (111) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik (FWHM) 0,507 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 163 Å olarak hesaplanmıştır.

Kristal boyutu katkısız CdO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %10 Al Katkılı CdO kristalleri ile kıyaslandığında ise kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.11. 400 °C 'de ısıtılmış, molce %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.9. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
32,995	849	Kübik CdO	1	1	1	2.71258
38,292	835	Kübik CdO	2	0	0	2.34862
55,26	455	Kübik CdO	2	2	0	1.66099
65,921	328	Kübik CdO	3	1	1	1.41583
69,293	165	Kübik CdO	2	2	2	1.35495

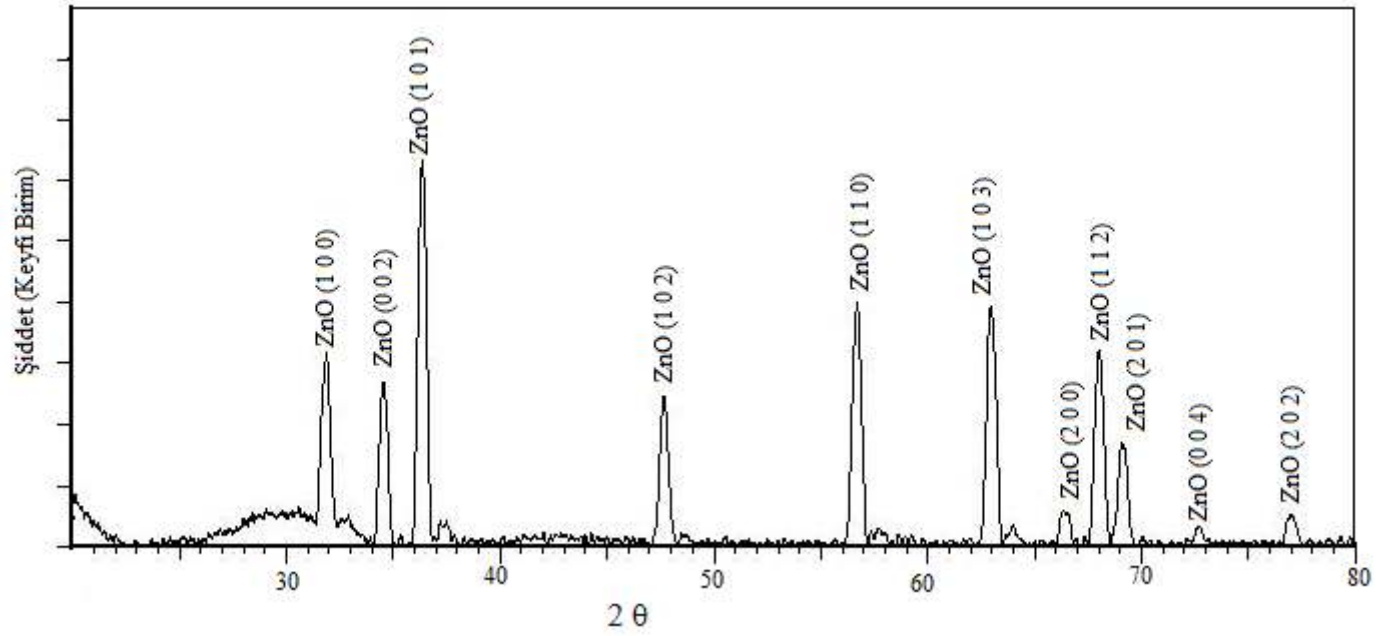
Şekil 5.11.'da %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin X - ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden CdO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı kübik olup, CdO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. CdO' e ait pikler (111), (200), (220), (311) ve (222) dir. Bu numunedeki kristal atomları ağırlıklı olarak CdO (111) (200) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti CdO (111) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız CdO numunesi ile karşılaştırıldığında CdO' e ait (111) ve (200) düzlemlerinin pik şiddetlerinin artmış, (220), (311) ve (222) düzlemlerinin pik şiddetinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği artmıştır. %15 Al katkılı CdO ile kıyaslandığında (111), (200), (220), (311) düzlemlerindeki tüm pik şiddetlerinin arttığı fakat (222) düzlemindeki pik şiddetinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır.

Tablo 5.9. 'de %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan $2\theta=32,995^\circ$ deki CdO (111) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik (FWHM) 0,492 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 168 Å olarak hesaplanmıştır.

Kristal boyutu katkısız CdO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %15 Al Katkılı CdO kristalleri ile kıyaslandığında ise kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.12. 1100 °C 'de ısıtılmış, katkısız ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

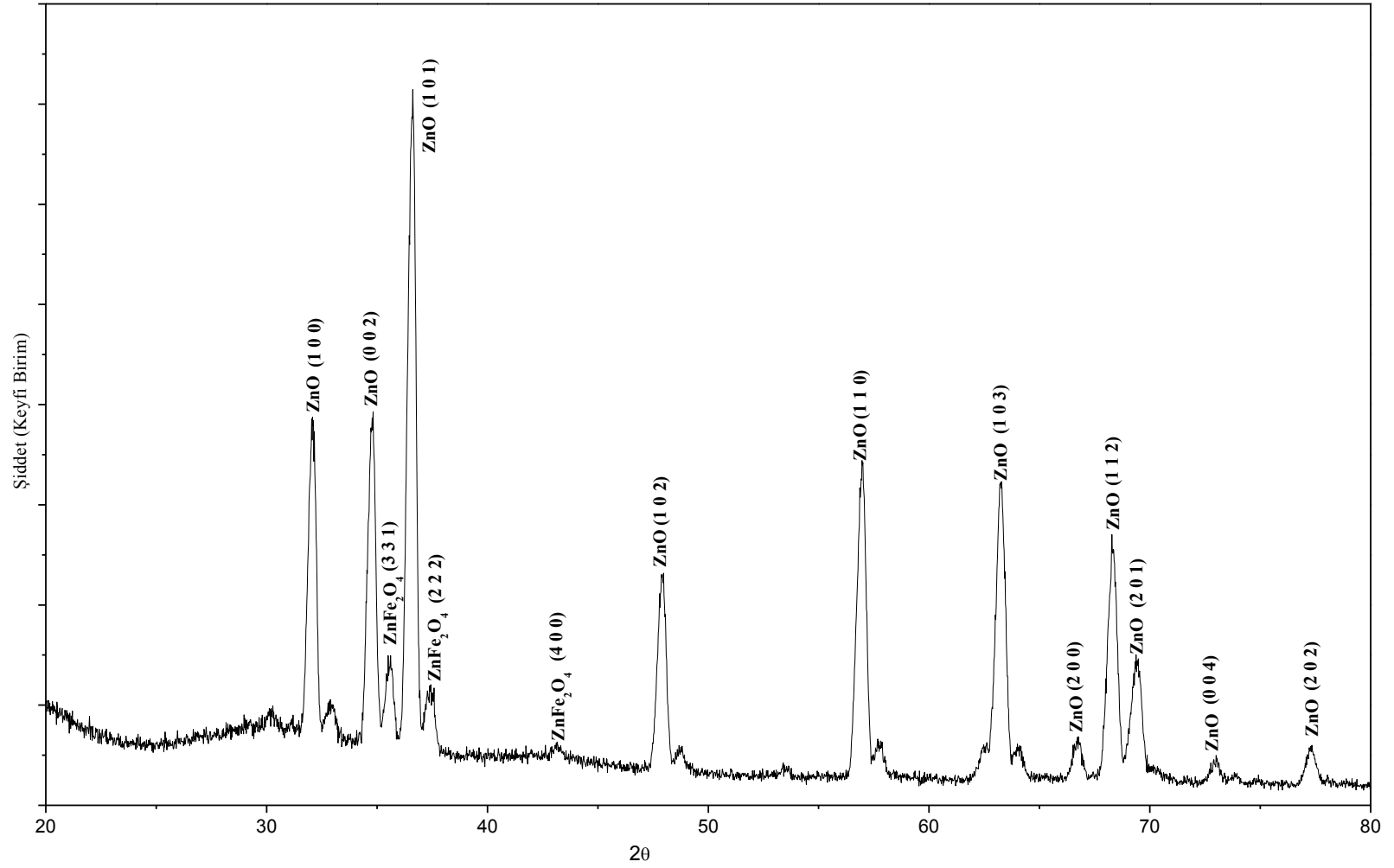
Tablo 5.10.Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2 θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	604	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	506	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	1197	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	430	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	727	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	725	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	110	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	618	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	332	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	50,2	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	94,3	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784

Şekil 5.12.'de Katkısız ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı Hegzagonal olup, ZnO bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. Bu pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) dir. Bu numunedeki kristal atomları (101), (110), (103) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Tablo 5.10. 'de Katkısız , ZnO yarıiletken numunenin kristal özelliklerine ait 2 θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2 θ =36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,474 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 176 Å olarak hesaplanmıştır.



Şekil.5.13. 1100 °C 'de ısıtılmış, molce %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

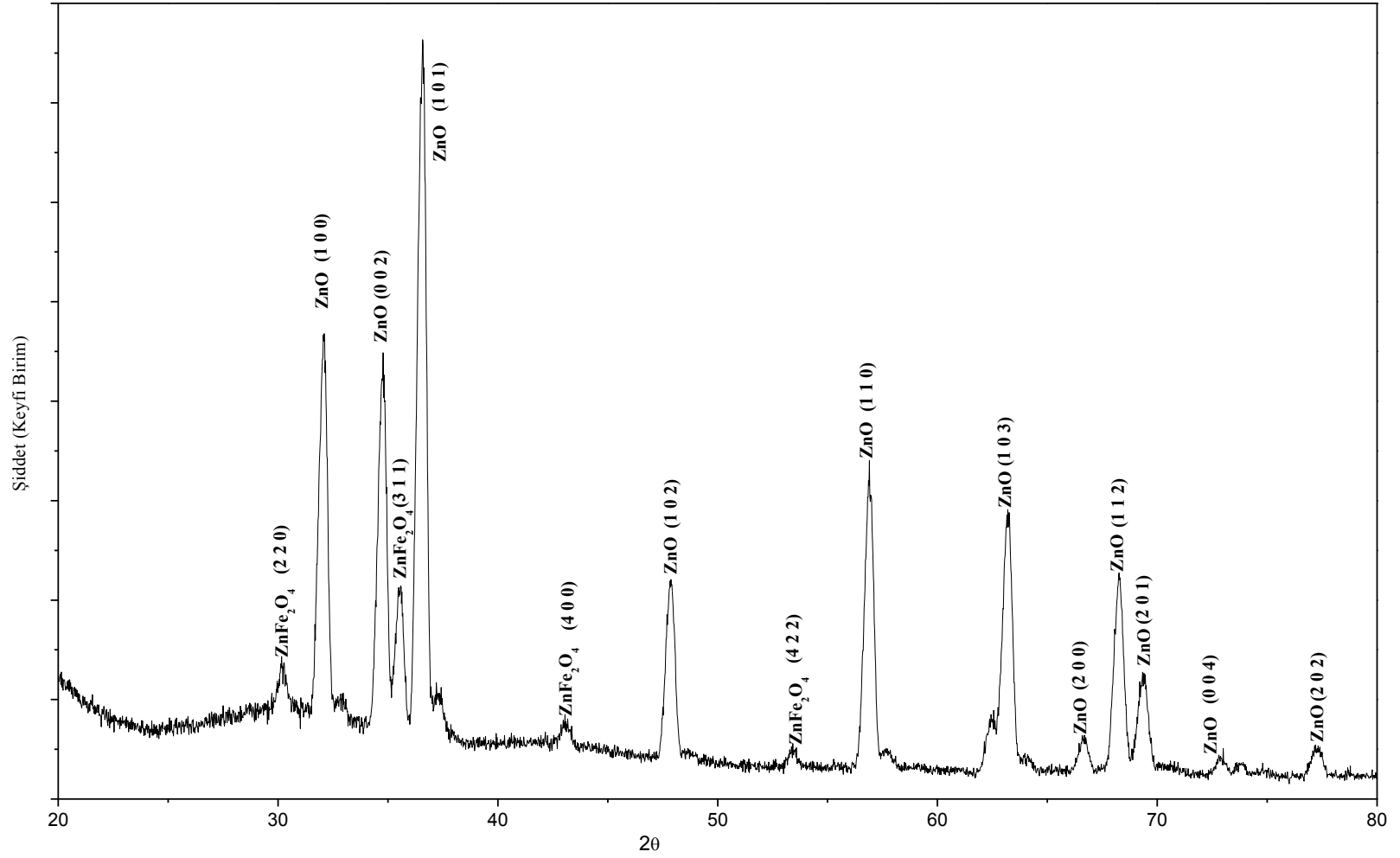
Tablo 5.11. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	728	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	675	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	1388	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	412	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	706	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	618	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	97,2	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	547	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	310	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	42,4	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	95,8	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
35,272	38,4	Kübik ZnFe ₂ O ₄	3	1	1	2.54252
36,858	191	Kübik ZnFe ₂ O ₄	2	2	2	2.43664
42,842	27,4	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	0	0	2.10917

Şekil 5.13.'de %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnFe₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnFe₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO'ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnFe₂O₄ 'e ait pikler ise (311)(222)(400) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (110) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (202) düzlemlerinin pik şiddetlerinin arttığı diğerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. Ayrıca katkı yapılan Fe ile ZnO nun ZnFe₂O₄ bileşiğini oluşturdukları gözlenmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,425 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 196 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.14. 1100 °C 'de ısıtılmış, molce %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

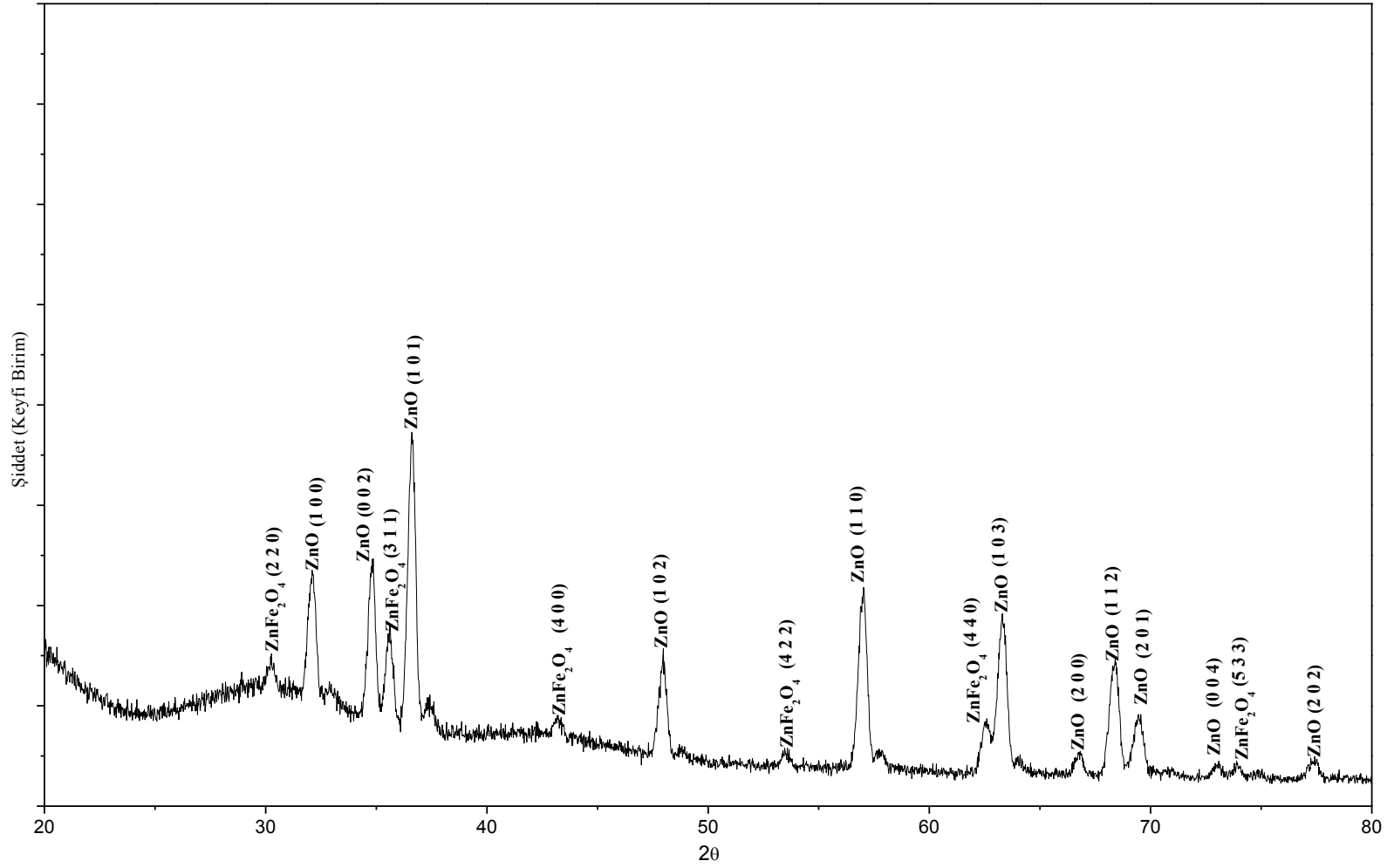
Tablo 5.12. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	901	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	824	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	1619	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	442	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	777	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	657	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	90,6	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	513	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	245	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	47,2	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	82,2	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
29,928	113	Kübik ZnFe ₂ O ₄	2	2	0	2.98325
35,272	367	Kübik ZnFe ₂ O ₄	3	1	1	2.54252
42,842	61,7	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	0	0	2.10917
53,106	41,5	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	2	2	1.72318

Şekil 5.14.'de %10 Fe katkılı , ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnFe₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnFe₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO' ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnFe₂O₄ 'e ait pikler ise (311), (220), (400) ve (422) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (002) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (102), (110) düzlemlerinin pik şiddetlerinin arttığı diğerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. % 5 Fe katkılı ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında ise (100), (002), (101), (102), (110), (103), (004) düzlemlerinin pik şiddetlerinin arttığı diğerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği artmıştır. Ayrıca artan Fe miktarına bağlı olarak ZnFe₂O₄ piklerinin sayısı ve şiddetleri de artmıştır.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,459 olarak ölçülmüştür. Bu değerın Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 182 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun arttığı, %5 Fe katkılı ZnO kristallerine göre kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.15. 1100 °c 'de ısıt işleml görmüş, molce %15 Fe katkı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

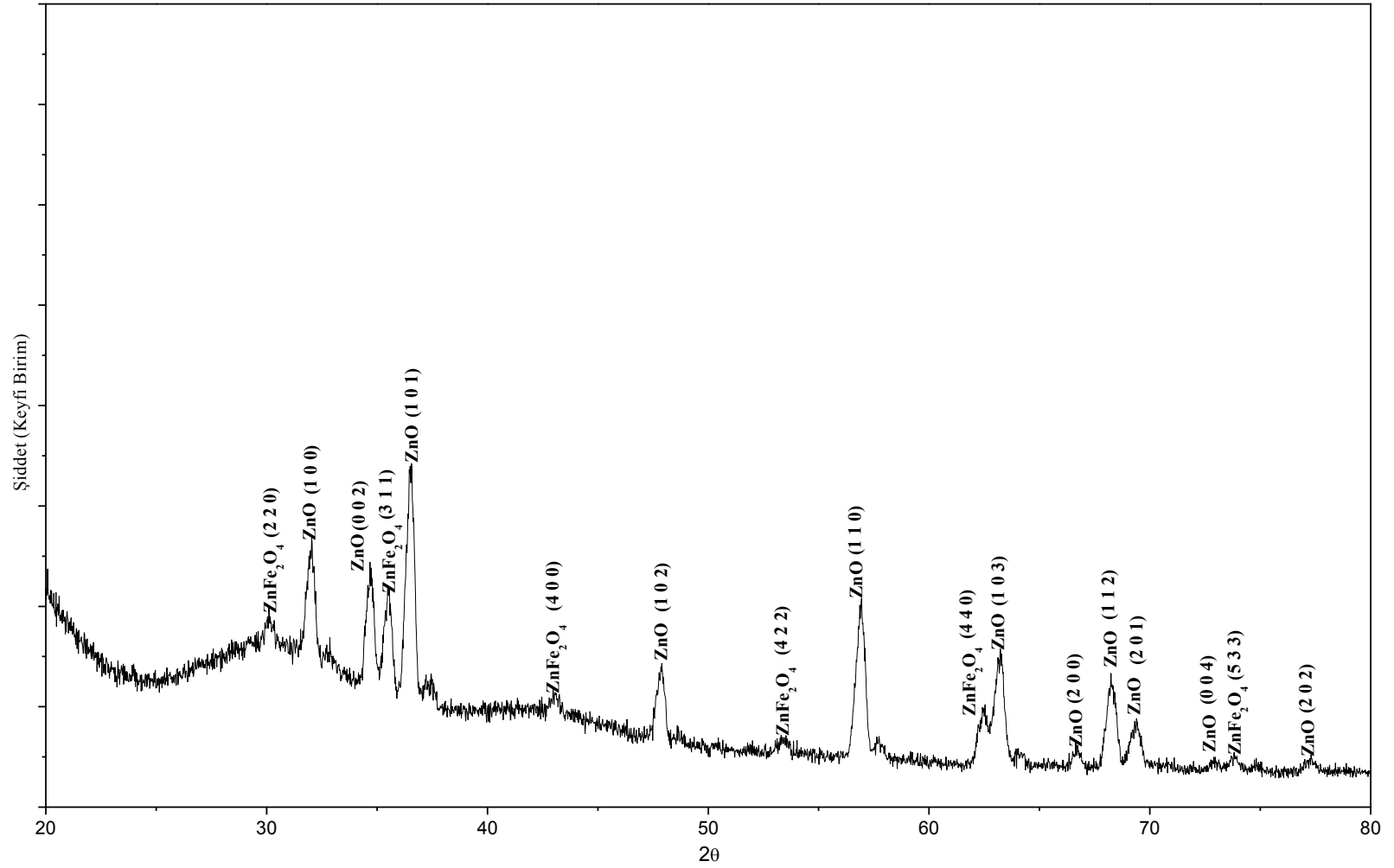
Tablo 5.13 %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	283	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	260	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	537	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	146	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	366	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	270	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	47,1	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	240	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	135	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	25,2	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	47,9	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
29,928	80,7	Kübik ZnFe ₂ O ₄	2	2	0	2.98325
35,272	196	Kübik ZnFe ₂ O ₄	3	1	1	2.54252
42,842	42,1	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	0	0	2.10917
53,106	31,1	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	2	2	1.72318
62,21	117	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	4	0	1.49108
73,512	16	Kübik ZnFe ₂ O ₄	5	3	3	1.28724

Şekil 5.15.'de %15 Fe katkılı , ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnFe₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnFe₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO' ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnFe₂O₄ 'e ait pikler ise (311), (220), (400), (440), (422) ve (533) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (110) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. % 10 Fe katkılı ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında da tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de azalmıştır. Ayrıca artan Fe miktarına bağlı olarak ZnFe₂O₄ piklerinin sayısı artmış, şiddetleri azalmıştır.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,4348 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 240 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO ve %15 Fe katkılı ZnO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.16. 1100 °c 'de ısıtılmış, molce %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

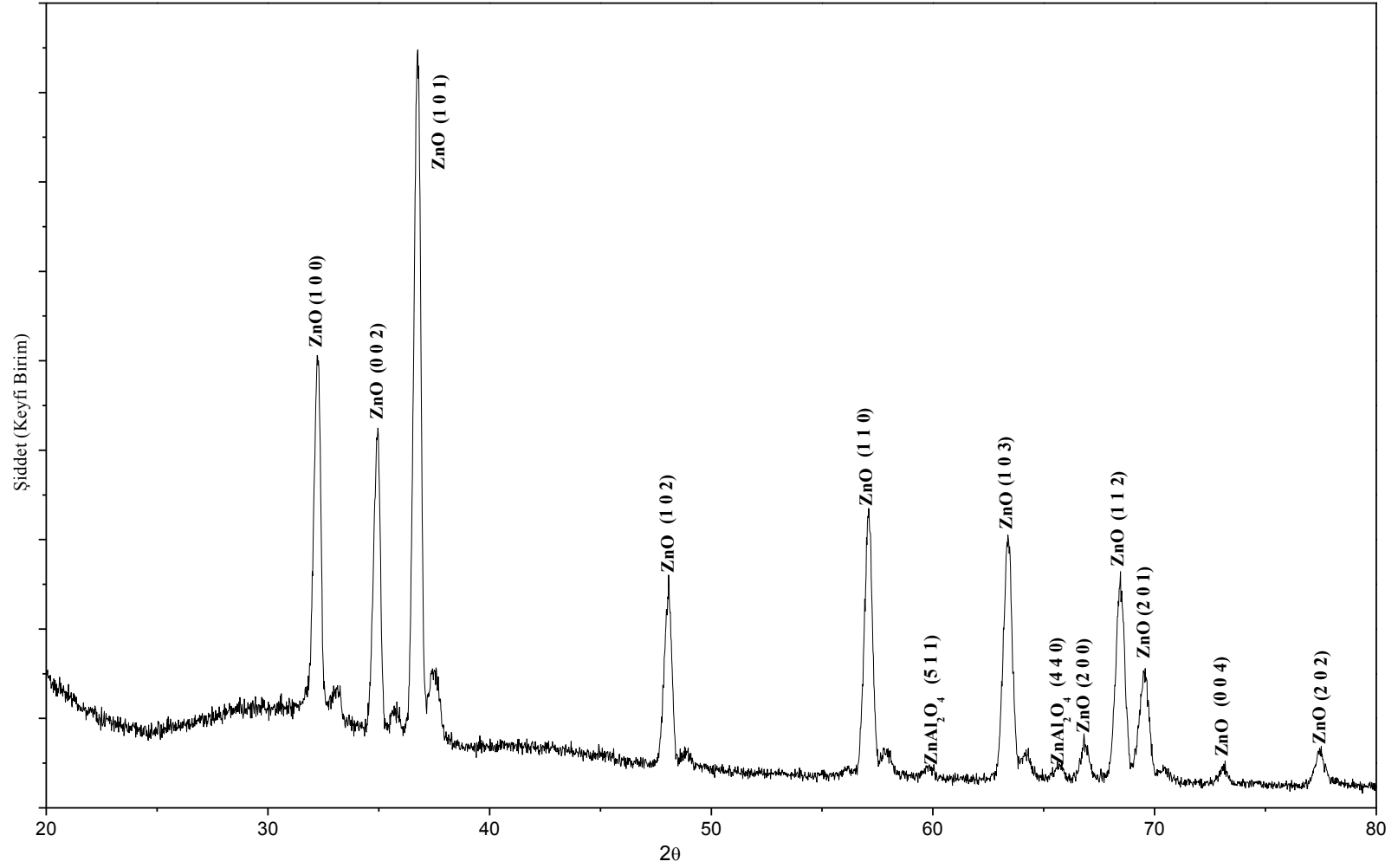
Tablo 5.14. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2 θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	317	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	273	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	572	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	155	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	380	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	261	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	43,1	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	233	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	108	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	25,7	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	23,6	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
29,928	117	Kübik ZnFe ₂ O ₄	2	2	0	2.98325
35,272	251	Kübik ZnFe ₂ O ₄	3	1	1	2.54252
42,842	65,6	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	0	0	2.10917
53,106	40,4	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	2	2	1.72318
62,21	133	Kübik ZnFe ₂ O ₄	4	4	0	1.49108
73,512	39,5	Kübik ZnFe ₂ O ₄	5	3	3	1.28724

Şekil 5.16.'de %20 Fe katkılı , ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnFe₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnFe₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO' ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnFe₂O₄ 'e ait pikler ise (311), (220), (400), (440), (422) ve (533) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (110) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. % 15 Fe katkılı ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (102), (110) düzlemlerindeki pik şiddetlerinin arttığı diğer pik şiddetlerinin ise azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de artmıştır. Ayrıca ZnFe₂O₄ piklerinin şiddetleri artmıştır.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2 θ =36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,439 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 190 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO kristallerine göre artmış, %15 Fe katkılı ZnO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.17. 1100 °c 'de ısıtılmış, molce %5 Al katkı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.15. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

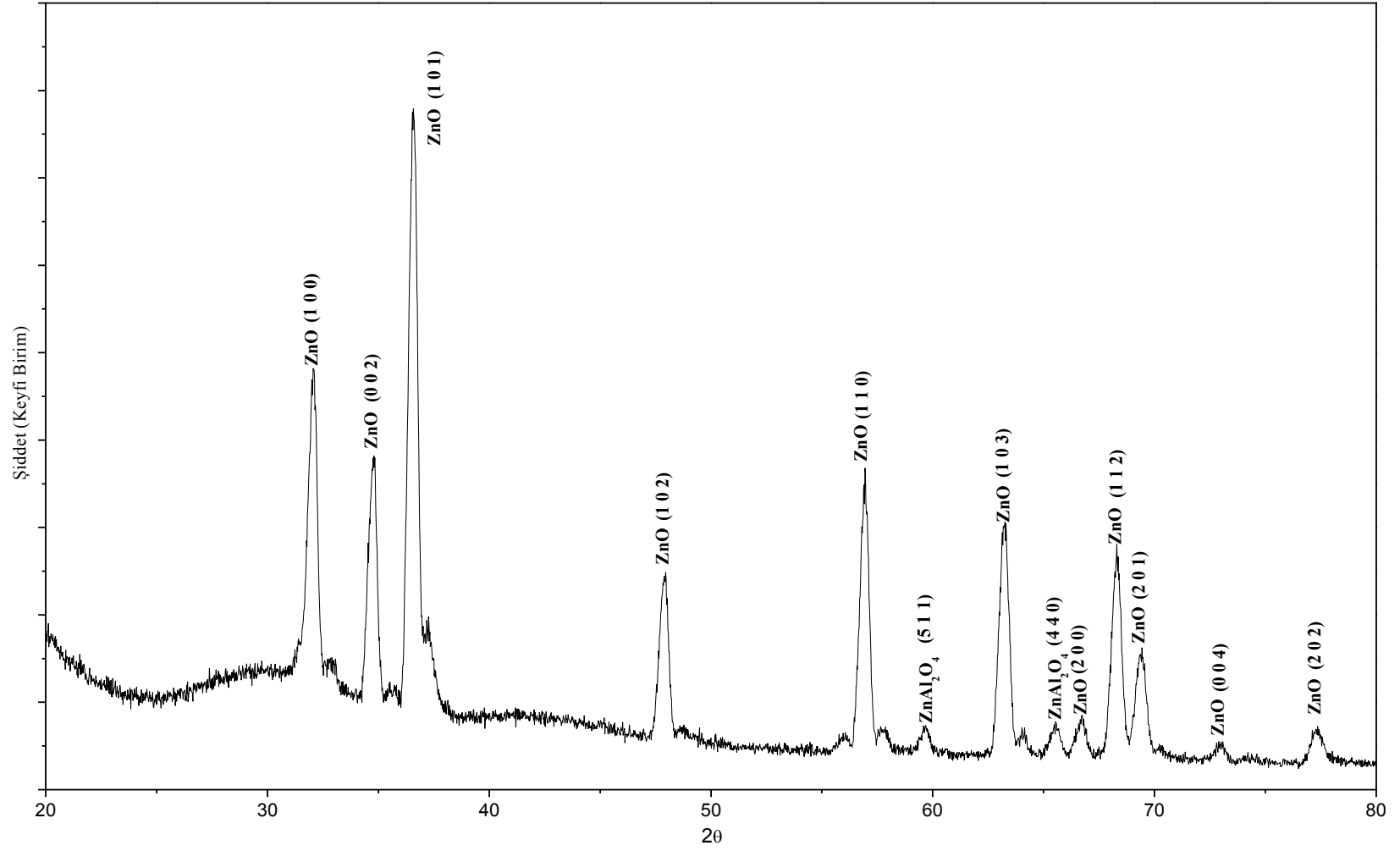
2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	338	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	202	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	487	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	140	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	315	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	279	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	46,6	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	279	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	208	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	25,5	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	56,4	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
59,337	18,9	Kübik ZnAl ₂ O ₄	5	1	1	1.55623
65,229	21,7	Kübik ZnAl ₂ O ₄	4	4	0	1.42917

Şekil 5.17.'de %5 Al katkılı , ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnAl₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnAl₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO' ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnAl₂O₄ 'e ait pikler ise (511), (440) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (110) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır.

Tablo 5.15. 'de %5 Al katkılı, ZnO yarıiletken numunenin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,351 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 238 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO kristallerine göre artmıştır.



Şekil.5.18. 1100 °c 'de ısıtılmış, molce %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

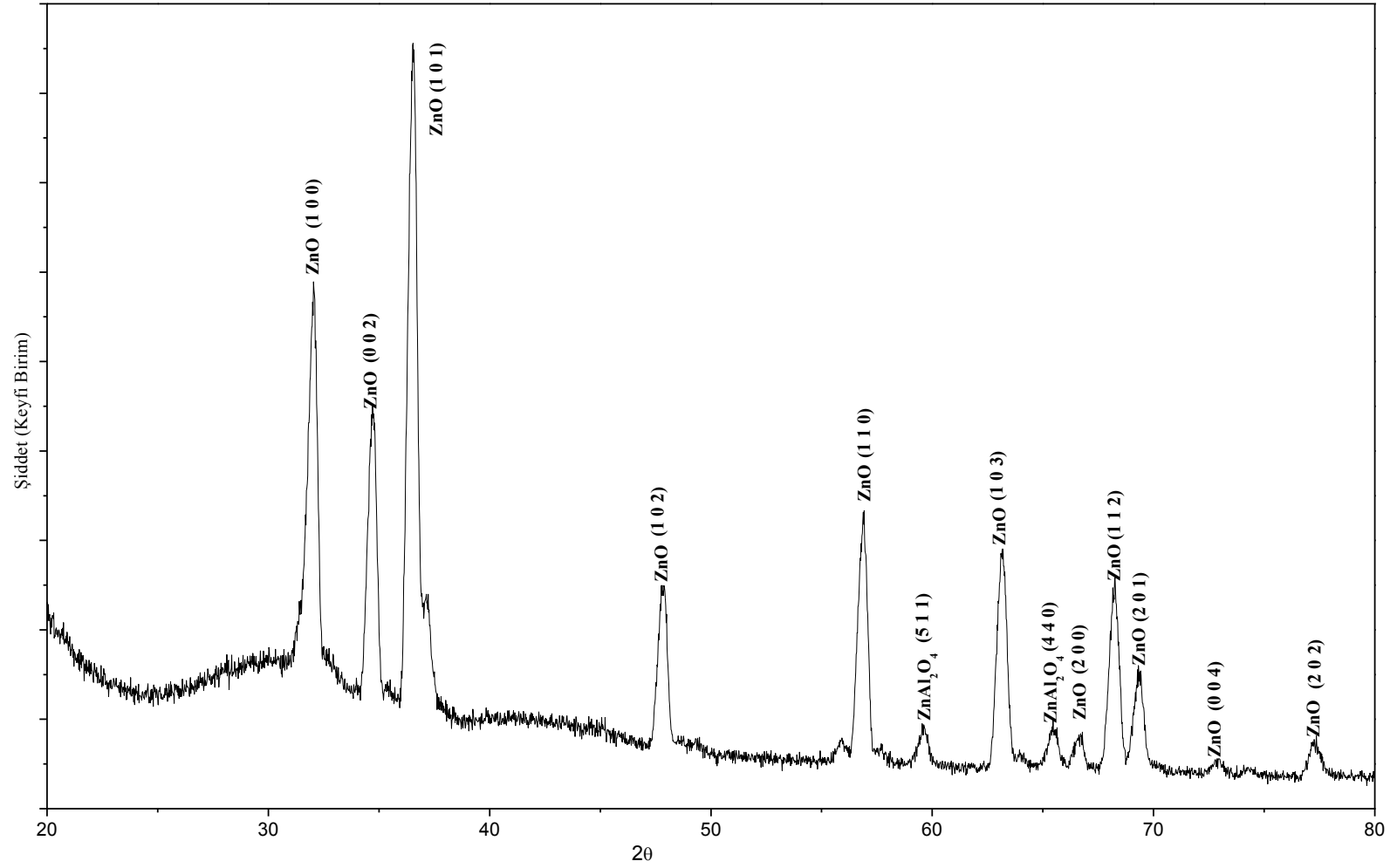
Tablo 5.16. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	858	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	608	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	1571	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	427	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	744	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	623	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	90	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	576	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	315	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	45,7	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	102	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
59,337	65,7	Kübik ZnAl ₂ O ₄	5	1	1	1.55623
65,229	77,1	Kübik ZnAl ₂ O ₄	4	4	0	1.42917

Şekil 5.18.'de %10 Al katkılı , ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnAl₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnAl₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO' ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnAl₂O₄ 'e ait pikler ise (511), (440) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (110) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (202), (110) düzlemlerindeki pik şiddetleri artmış geriye kalan tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. % 5 Al katkılı ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında tüm pik şiddetlerinin arttığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de artmıştır. Ayrıca ZnAl₂O₄ piklerinin şiddetleri artmıştır.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,454 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 184 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO kristallerine göre artmış, %5 Al katkılı ZnO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.19. 1100 °c 'de ısıtılmış, molce %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.17. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

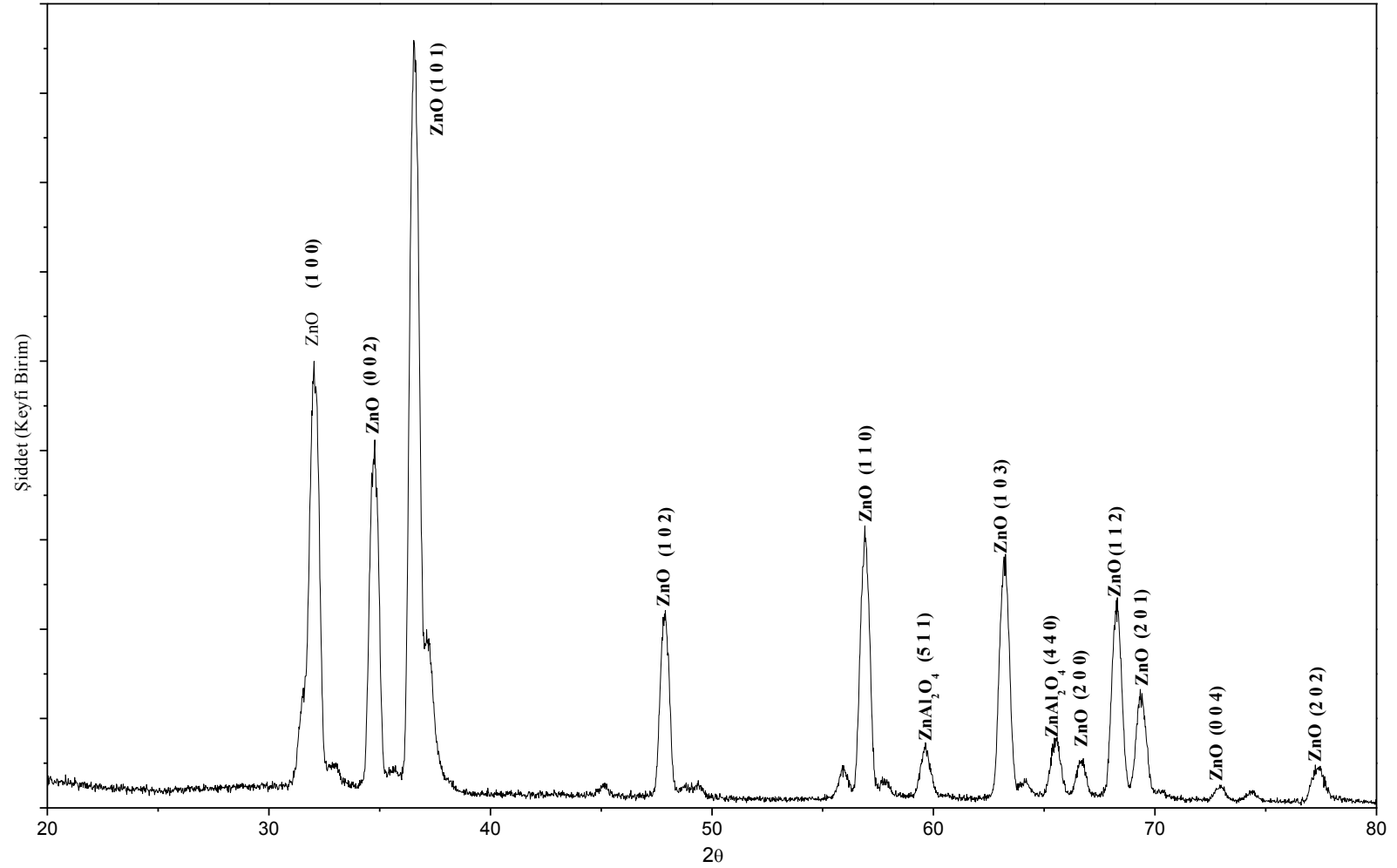
2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	1097	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	797	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	1839	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	469	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	720	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	646	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	84	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	567	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	298	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	40,8	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	114	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
59,337	115	Kübik ZnAl ₂ O ₄	5	1	1	1.55623
65,229	118	Kübik ZnAl ₂ O ₄	4	4	0	1.42917

Şekil 5.19.'de %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnAl₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnAl₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO'ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnAl₂O₄ 'e ait pikler ise (511), (440) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (002) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (202), (102) düzlemlerindeki pik şiddetleri artmış geriye kalan tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. % 10 Al katkılı ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (202), (102), (103) düzlemlerindeki pik şiddetleri artmış, diğer pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de artmıştır. Ayrıca ZnAl₂O₄ piklerinin şiddetleri artmıştır.

Tablo 5.17. 'de %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunenin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,455 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 183 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO kristallerine göre artmış, %5 Al katkılı ZnO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil.5.20. 1100 °c 'de ısıtılmış, molce %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin x - ışını kırınım deseni

Tablo 5.18. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin kristal özellikleri

2θ (°)	Pik Şiddeti (Count)	Kristal yapısı	h	k	l	d (Å)
31,761	1197	Hegzagonal ZnO	1	0	0	2.81512
34,414	903	Hegzagonal ZnO	0	0	2	2.60394
36,245	2055	Hegzagonal ZnO	1	0	1	2.47642
47,534	498	Hegzagonal ZnO	1	0	2	1.91134
56,602	756	Hegzagonal ZnO	1	1	0	1.62475
62,865	688	Hegzagonal ZnO	1	0	3	1.47710
66,384	102	Hegzagonal ZnO	2	0	0	1.40708
67,962	581	Hegzagonal ZnO	1	1	2	1.37820
69,11	320	Hegzagonal ZnO	2	0	1	1.35809
72,574	38	Hegzagonal ZnO	0	0	4	1.30156
76,968	92,4	Hegzagonal ZnO	2	0	2	1.23784
59,337	148	Kübik ZnAl ₂ O ₄	5	1	1	1.55623
65,229	159	Kübik ZnAl ₂ O ₄	4	4	0	1.42917

Şekil 5.20.'de %20 Al katkılı , ZnO yarıiletken numuneye ait x-ışını kırınım deseni görülmektedir. Kırınım deseninden ZnO numunesinin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir. Kristal yapısı ZnO için Hegzagonal, ZnAl₂O₄ için Kübik olup, ZnO ve ZnAl₂O₄ bileşiğine ait pikler tespit edilmiştir. ZnO' ya ait pikler (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202) ZnAl₂O₄ 'e ait pikler ise (511), (440) dır. Bu numunedeki kristal atomları ZnO (100), (101), (002) düzlemlerinde tercihli yönelime sahiptir. Ancak en yüksek pik şiddeti (101) düzlemine ait olduğu için bu düzlemin tercihli yönelimi daha baskındır.

Burada elde edilen pikler katkısız ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (100), (002), (101), (110), (102) düzlemlerindeki pik şiddetleri artmış geriye kalan tüm pik şiddetlerinin azaldığı görülmüştür. Yarı pik genişliği azalmıştır. % 15 Al katkılı ZnO pikleri ile karşılaştırıldığında (202),(004) düzlemlerindeki pik şiddetleri azalmış, diğer pik şiddetlerinin arttığı görülmüştür. Yarı pik genişliği de artmıştır. Ayrıca ZnAl₂O₄ piklerinin şiddetleri artmıştır.

Tablo 5.17. 'de %20 Al katkılı, ZnO yarıiletken numunenin kristal özelliklerine ait 2θ açıları, pik şiddetleri, kristal yapıları, düzlemlerin Miller İndisleri ve düzlemler arası mesafelerine ait değerler verilmiştir.

En yüksek pik şiddetine sahip olan 2θ=36,245° deki (101) düzlemine ait maksimum pik şiddetinin yarısına denk gelen genişlik(FWHM) 0,471 olarak ölçülmüştür. Bu değer Radyan cinsinden karşılığı yardımıyla Scherrer formülünden kristal boyutu 177 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO kristallerine göre artmış, %15 Al katkılı ZnO kristalleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.

5.3 Numunelerin Yüzey Morfolojileri

AFM, yüzey topografisini angstrom seviyesinden 100-150 mikrona kadar ölçebilen bir tekniktir. AFM 1986'da Binnig, Quate ve Gerber tarafından icat edilmiştir. Teknik, uç-yüzey arasındaki atomlar arası etkileşimleri esas alır. Tipik bir AFM'nin çalışma prensibi oldukça basittir. Cantilever'in sonuna yerleştirilmiş birkaç mikron uzunluğunda atomik sivrilikte bir uç ile numune yüzeyi taranır. Tarama esnasında uç-yüzey arasındaki atomlar arası kuvvetler (10^{-11} - 10^{-6} N) 'cantilever'in sapmasına sebep olur. Bu sapma bir sensörle ölçülerek numune yüzeyinde taranan alanın yüzey topografisi elde edilir. AFM ile incelenen numunenin yüzey topografisinden büyüme modu, numunenin yüzey pürüzlülüğü, numune yüzeyindeki kusur tipleri ve kusur yoğunluğu hakkında bilgi edinilebilir. AFM; benzer amaçlar için kullanılan diğer teknikler (SEM, TEM, STM) gibi vakum gerektirmez, hava ve sıvı içerisinde çalışabilir. Ayrıca kaplama vb. numune hazırlığı gerektirmediğinden yüzeye zarar vermez. Bu nedenle çok yönlü, hızlı ve düşük maliyetli bir tekniktir. AFM'nin çözünürlüğü SEM' den daha iyidir, uygun şartlar sağlandığında STM ve TEM ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Görüntü boyutları (tarama alanı ve derinlik), görüntü kalitesinin ucun eğrilik yarıçapıyla sınırlı olması ve piezoelektrik malzemeden etkilenmesi AFM tekniğinin önemli dezavantajlarıdır. [13]

5.3.1 AFM'nin çalışma prensibi

AFM ölçümleri kontak, non-kontak ve yarı-kontak (semicontact or tapping) olmak üzere üç farklı modda gerçekleştirilir. İşlemin modu uç-numune mesafesine göre belirlenir. Uçun numuneye yaklaştırıldığı ilk durumda uç, numune yüzeyi tarafından zayıf bir biçimde çekilir. Uç-numune mesafesinin azalmasıyla bu çekim, uç ve numune yüzeylerindeki atomların elektron bulutlarının birbirlerini elektrostatik olarak itmeye başladığı mesafeye kadar artar. Mesafenin biraz daha azalması durumunda itici kuvvet artar ve net kuvvet kimyasal bağ uzunluğu mertebesinde (birkaç Å) bir mesafede sıfır olur. Bu noktada uç ile numune yüzeyi arasında fiziksel kontak başlar. Bundan sonraki daha yakın mesafelerde ise itici kuvvet baskındır.

Kontak modda uç-numune mesafesi birkaç Å mertebesinde dir. Bu yüzden uç numune yüzeyi ile hafif fiziksel temas halindedir ve itici kuvvetlere (10^{-9} N) maruz kalır. Bu modda yüzey topografisi, sabit yükseklikte tarama sonucu cantilever sapmasından veya cantilever

sapması sabit tutularak yüzey yükseklik değişiminden olmak üzere iki değişik şekilde elde edilebilir.

Non-kontak mod da ise uç-numune mesafesi yaklaşık 50-150 Å mertebesinde dir. Bu durumda uç zayıf çekici kuvvetlere maruz kalır. Bu çekici kuvvet kontak moddaki kuvvetlerden daha zayıftır ve yüzey yükseklik değişimine daha az duyarlıdır. Bu yüzden bu modda yüzey topografisini elde etmek için kontak moddakinden farklı bir mekanizma kullanılır. Cantilever, rezonans frekansına yakın bir frekansta titreştirilir. Uç numuneye yaklaştırıldığında frekans veya genlikteki değişimler saptanır. Non-kontak ölçümler dış titreşimlerden, uç ve cantilever kalitesinden çok etkilenir.

Yarı-kontak mod non-kontak modun biraz değişik şeklidir. Bu modda cantilever kendi rezonans frekansında titreştirilir. Uç her bir salınımında numune yüzeyi ile anlık fiziksel temas sağlar. Numuneye yaklaşma durumunda salınımın şiddetinde meydana gelen değişim esas alınır. Ancak bu modda kuvvetler non-kontak moddakinden daha yüksek olduğundan ölçüm ucun kalitesine veya dış titreşimlere karşı duyarsızdır. [13]

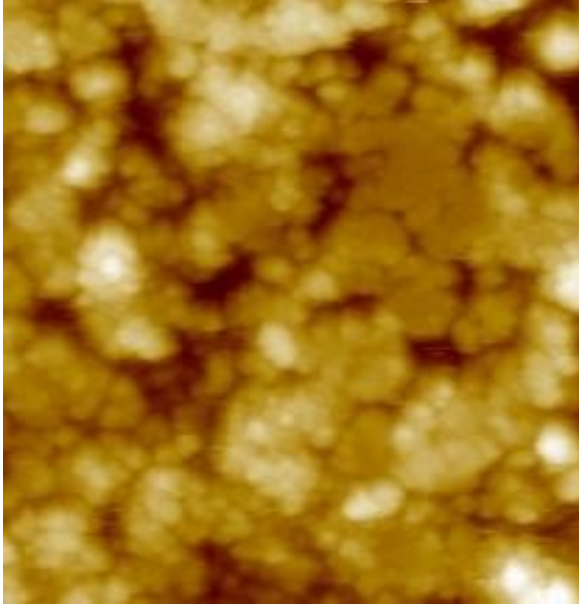
5.3.2 Numunelerin AFM Yüzey Görüntüleri

Üretilen yarıiletken numunelerin yapısal özelliklerini incelemek amacıyla yüzeylerin 2 ve 3 boyutlu görüntüleri PARK SYSTEM marka XE-100E model Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile çekilmiştir.

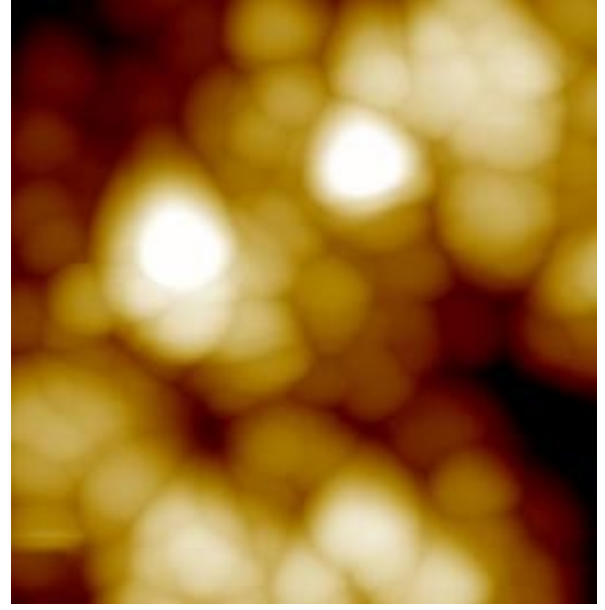
Numunelerin oluşum aşamalarının yapısal özellikleri incelenmiştir. Numune yüzeylerinden görüntü almak için kontak mod da çalışılmış ve buna uygun cantilever kullanılmıştır. Hazırlanan tablet halindeki yarıiletken numunelerin 40µm x 40µm ve 5µm x 5µm boyutlarında görüntüleri alındıktan sonra her bir numune yüzeyinde taranan bölgelerdeki tanelerin ortalama alanları, hacimleri ve büyüklükleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 5.19.verilmiştir.

Tablo 5.19. AFM de ölçülen tanelerin ortalama değerleri

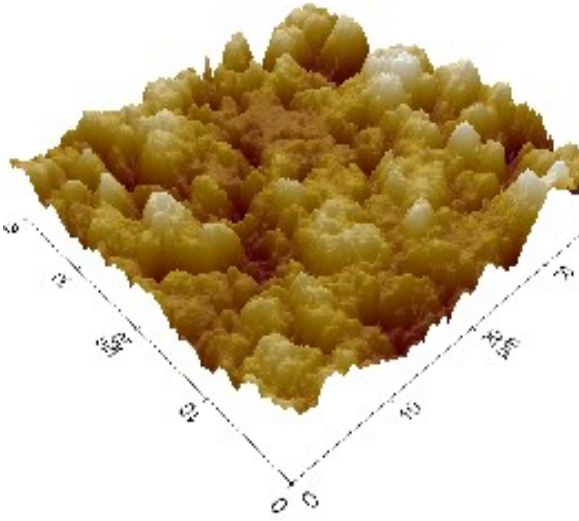
Numune	Tanelerin ortalama alanı(μm^2)	Tanelerin Ortalama hacmi(μm^3)	Tanelerin ortalama boyutu(μm)
Katkısız CdO	0,85	0,22	1,332
Molce %5 Fe Katkılı CdO	0,89	0,25	1,369
Molce %10 Fe Katkılı CdO	0,81	0,24	1,306
Molce %15 Fe Katkılı CdO	0,79	0,13	1,285
Molce %20 Fe Katkılı CdO	0,82	0,16	1,315
Molce %5 Al Katkılı CdO	0,76	0,07	1,268
Molce %10 Al Katkılı CdO	0,80	0,07	1,298
Molce %15Al Katkılı CdO	0,85	0,21	1,350
Molce %20 Al Katkılı CdO	0,80	0,09	1,299
Katkısız ZnO	0,47	0,12	0,994
Molce %5 Fe Katkılı ZnO	0,81	0,19	1,300
Molce %10 Fe Katkılı ZnO	0,85	0,35	1,336
Molce %15 Fe Katkılı ZnO	0,85	0,22	1,324
Molce %20 Fe Katkılı ZnO	0,86	0,26	1,343
Molce %5 Al Katkılı ZnO	0,81	0,18	1,302
Molce %10 Al Katkılı ZnO	0,88	0,28	1,360
Molce %15Al Katkılı ZnO	0,89	0,50	1,376
Molce %20 Al Katkılı ZnO	0,91	0,33	1,391



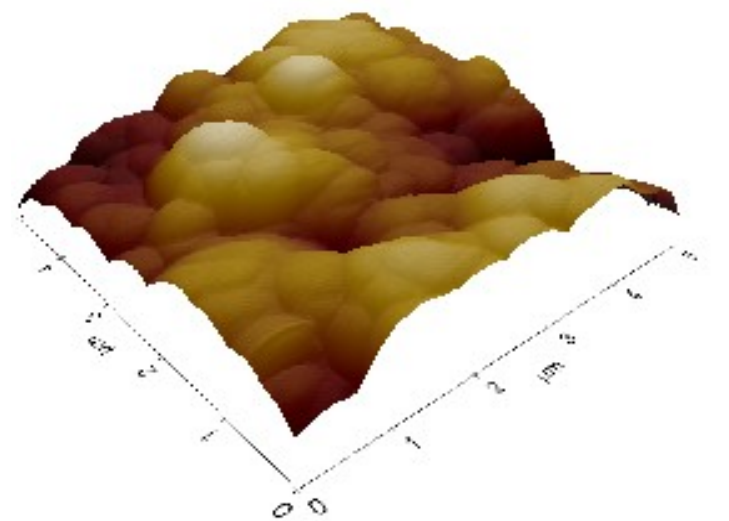
Şekil 5.21. Katkısız CdO numunesinin $40\mu\text{x}40\mu$ 2 boyutlu AFM görüntüsü



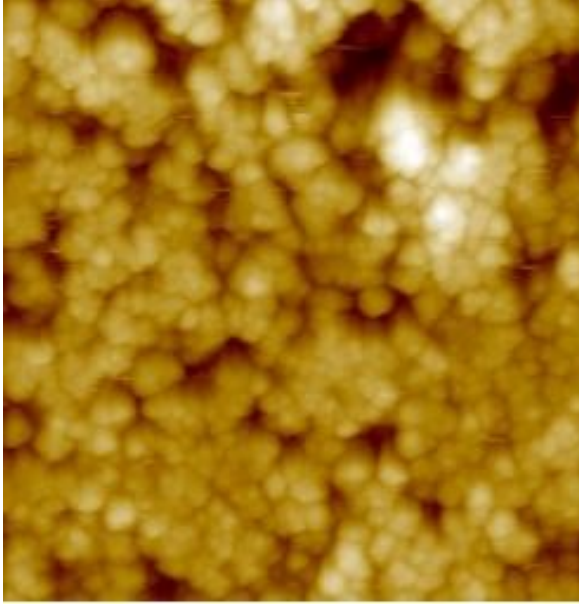
Şekil 5.23. Katkısız CdO numunesinin $5\mu\text{x}5\mu$ 2 boyutlu AFM görüntüsü



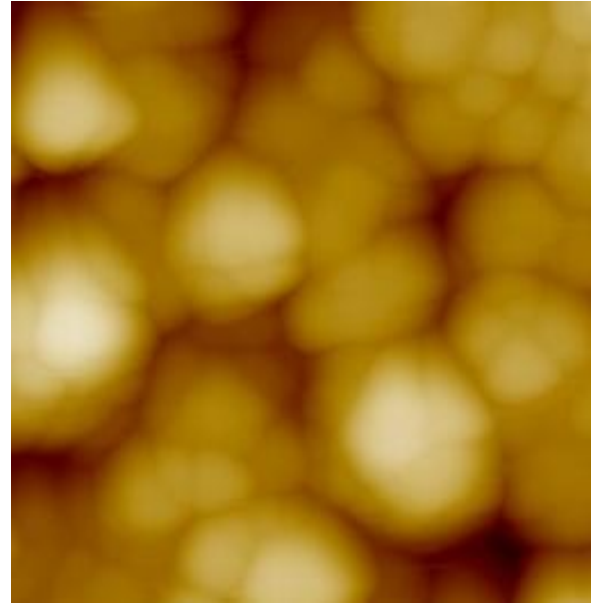
Şekil 5.22. Katkısız CdO numunesinin $40\mu\text{x}40\mu$ 3 boyutlu AFM görüntüsü



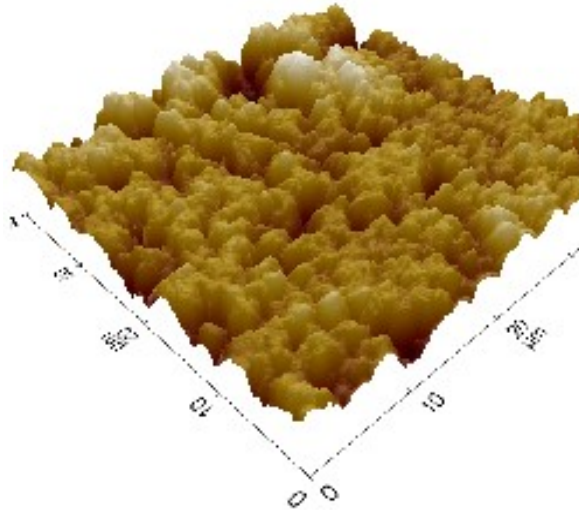
Şekil 5.24. Katkısız CdO numunesinin $5\mu\text{x}5\mu$ 3 boyutlu AFM görüntüsü



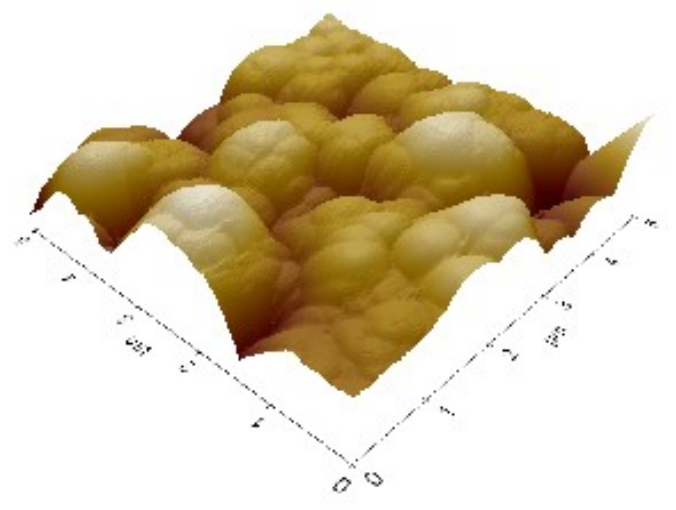
Şekil 5.25. % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



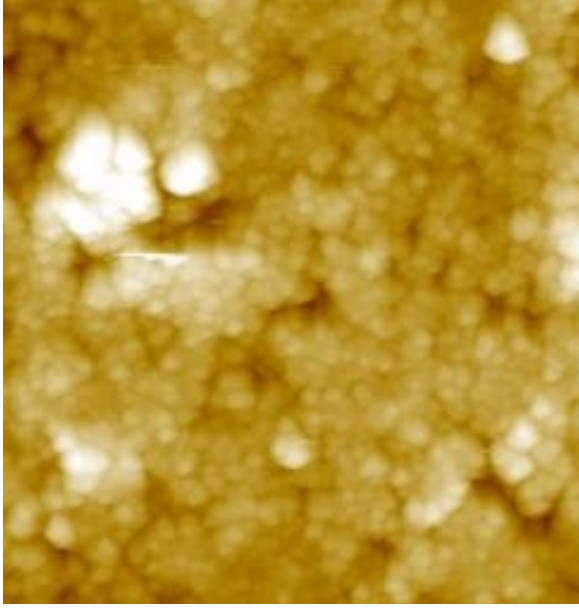
Şekil 5.27. % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



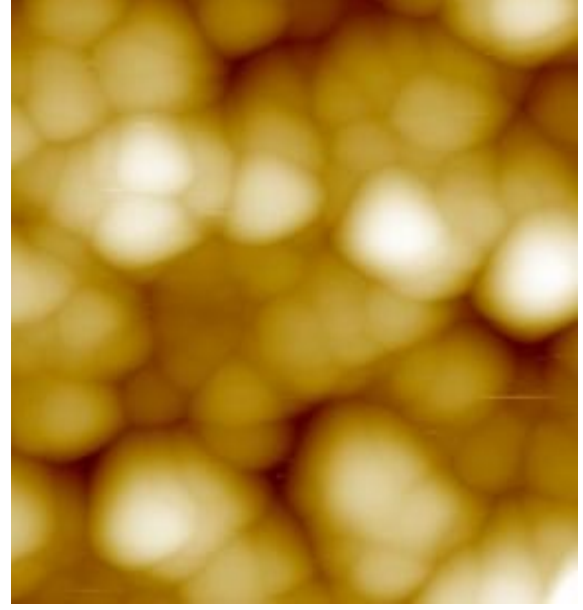
Şekil 5.26 % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



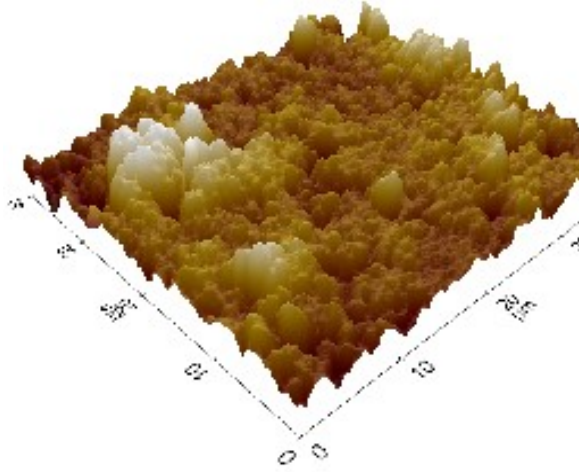
Şekil 5.28. % 5 Fe katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



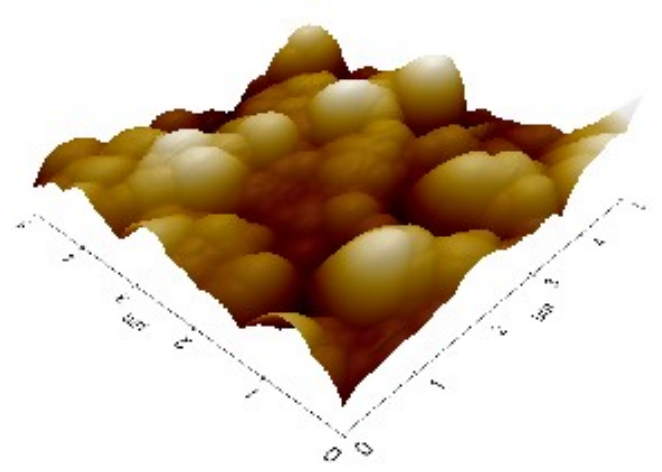
Şekil 5.29. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 40μm x 40μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



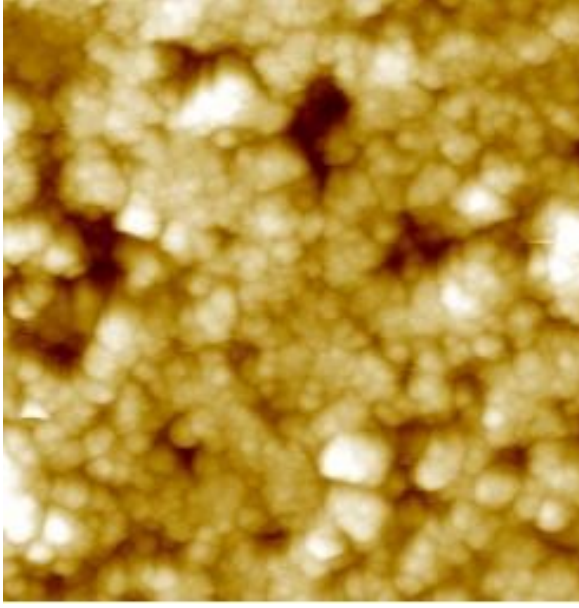
Şekil 5.31. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 5μm x 5μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



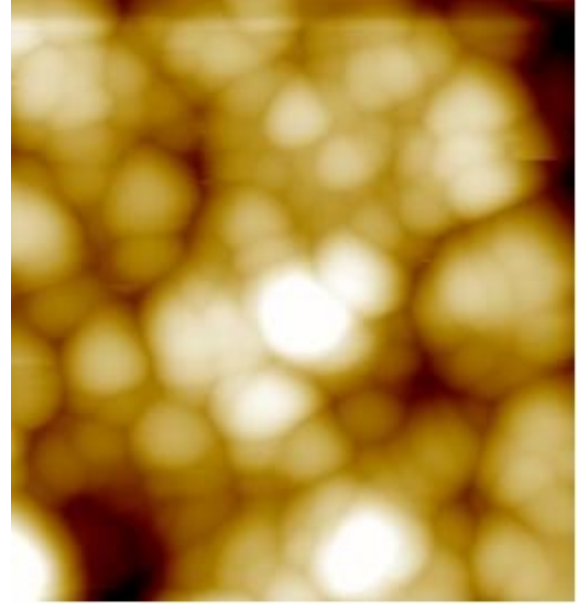
Şekil 5.30. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 40μm x 40μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



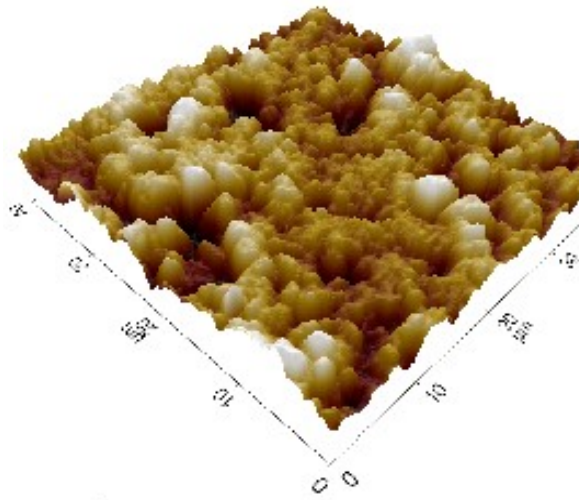
Şekil 5.32. % 10 Fe katkılı CdO numunesinin 5μm x 5μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



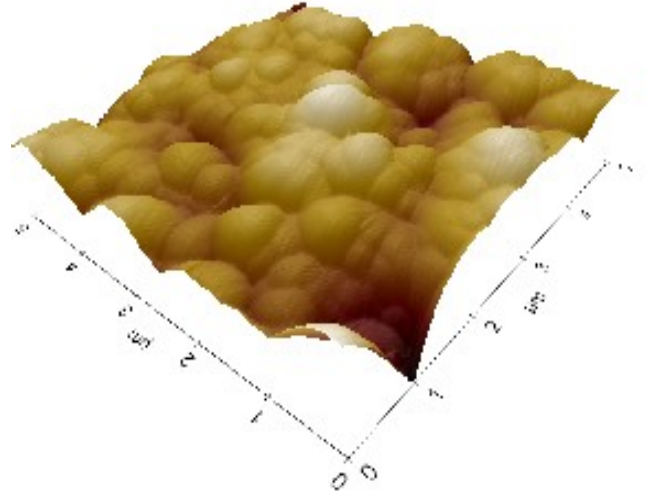
Şekil 5.33. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 2 boyutlu AFM görüntüsü



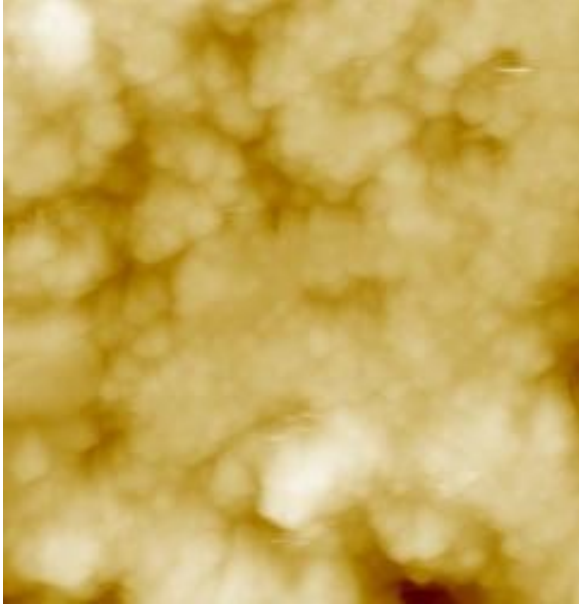
Şekil 5.35. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 2 boyutlu AFM görüntüsü



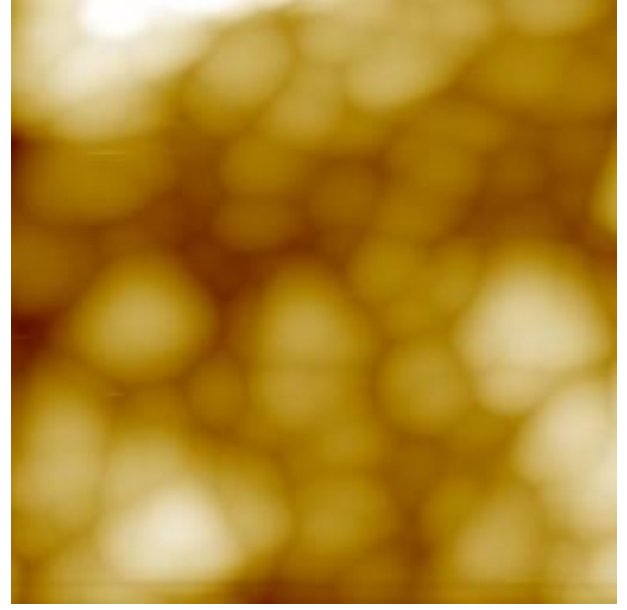
Şekil 5.34. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 3 boyutlu AFM görüntüsü



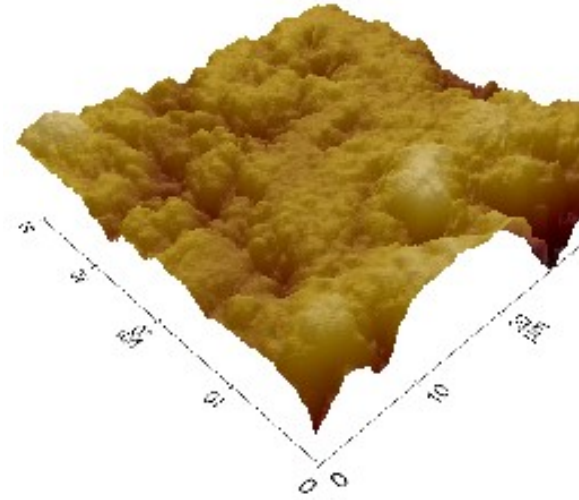
Şekil 5.36. % 15 Fe katkılı CdO numunesinin $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 3 boyutlu AFM görüntüsü



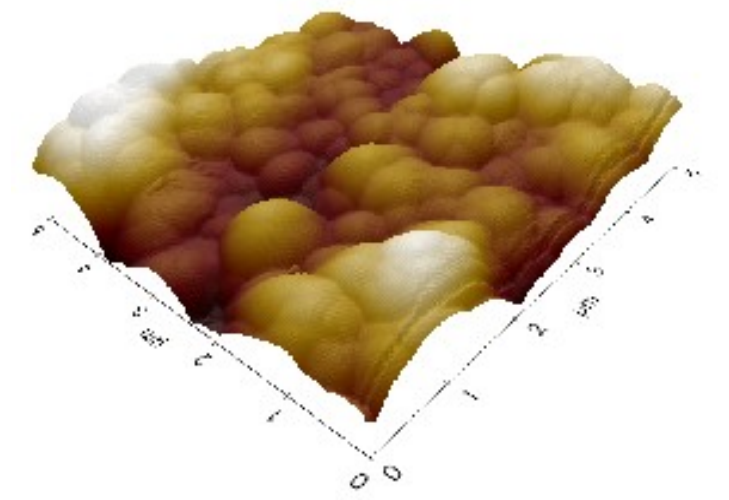
Şekil 5.37. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



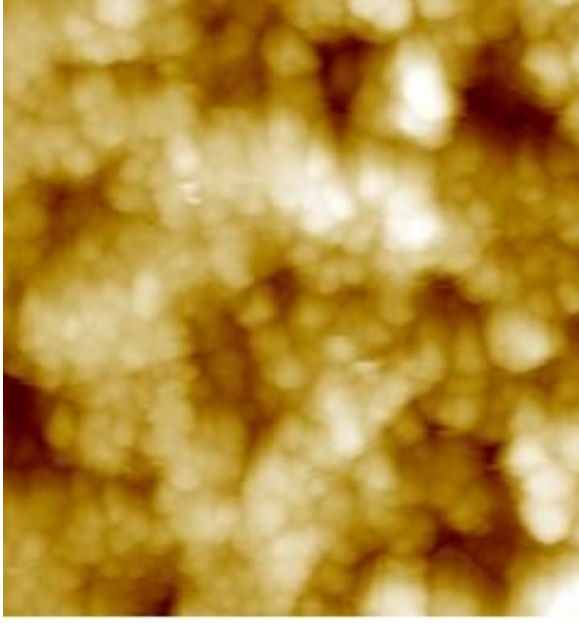
Şekil 5.39. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



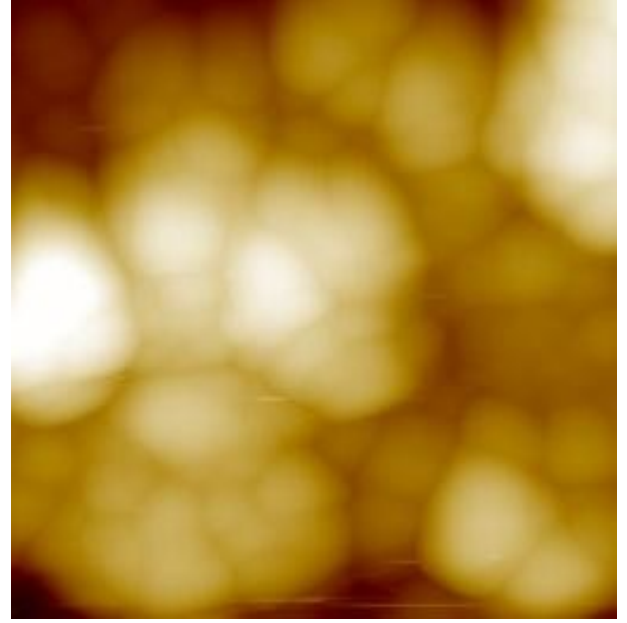
Şekil 5.38. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



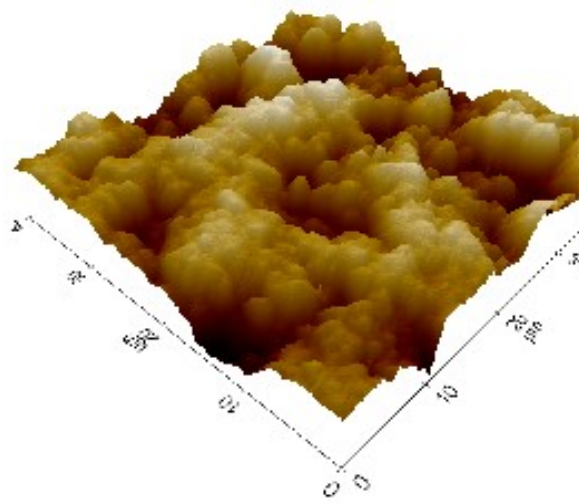
Şekil 5.40. % 20 Fe katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



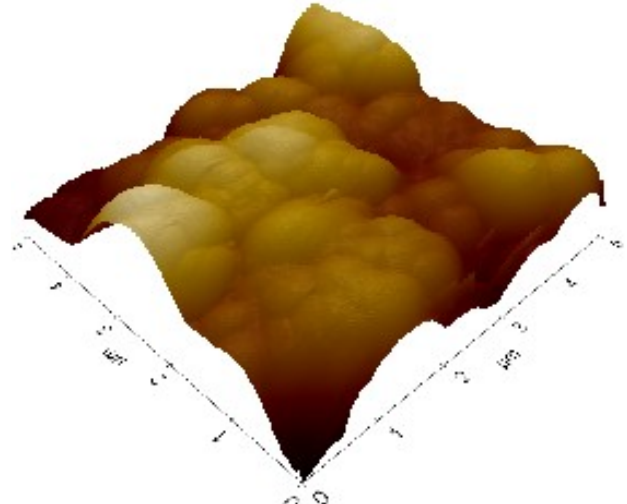
Şekil 5.41. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



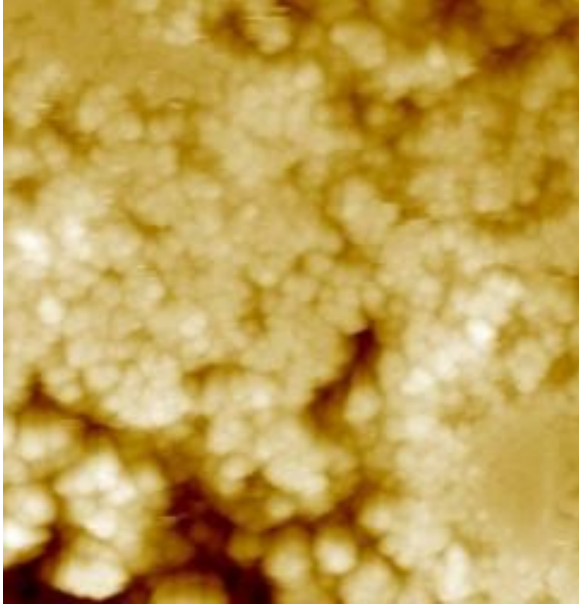
Şekil 5.43. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



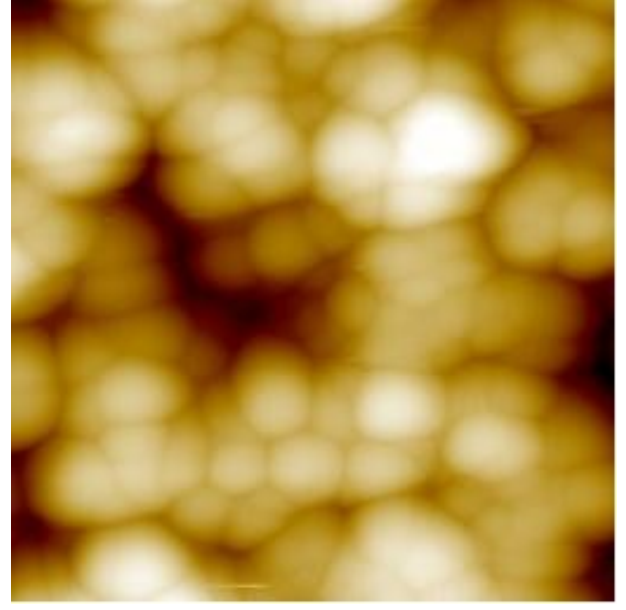
Şekil 5.42. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



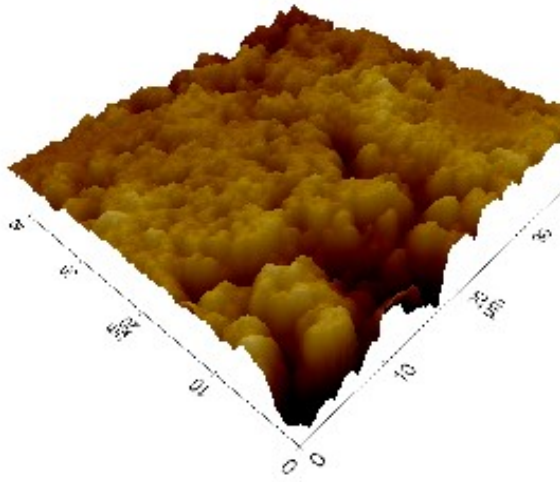
Şekil 5.44. % 5 Al katkılı CdO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



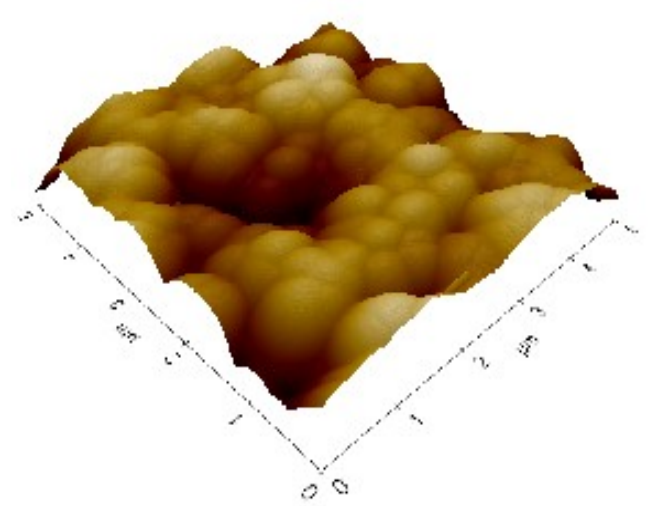
Şekil 5.45. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



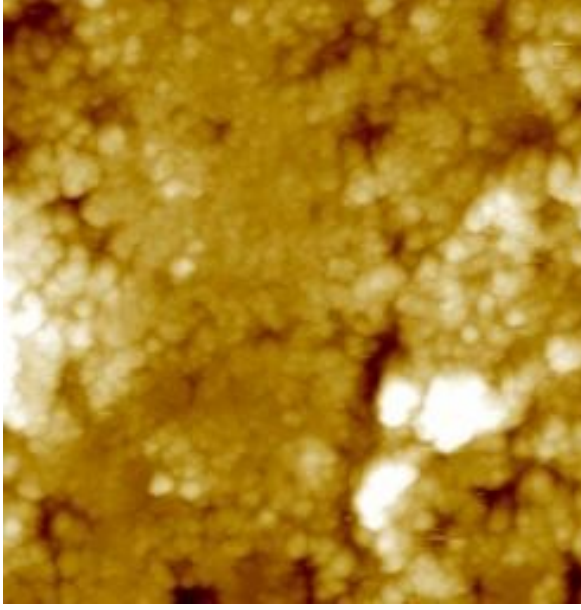
Şekil 5.47. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



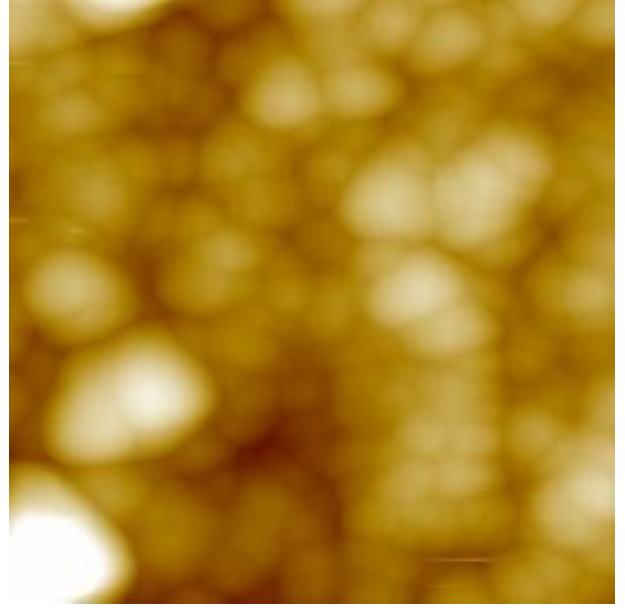
Şekil 5.46. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



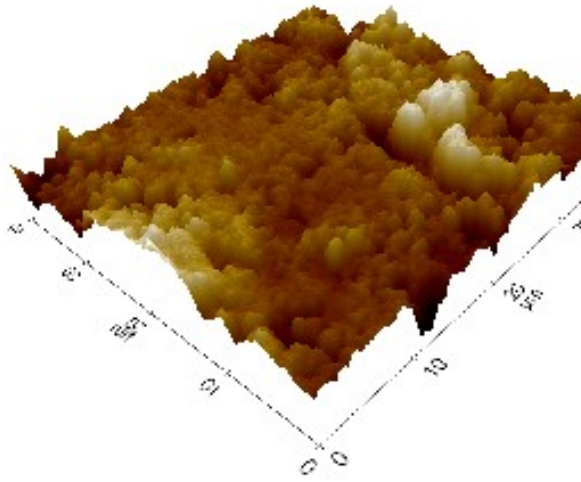
Şekil 5.48. % 10 Al katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



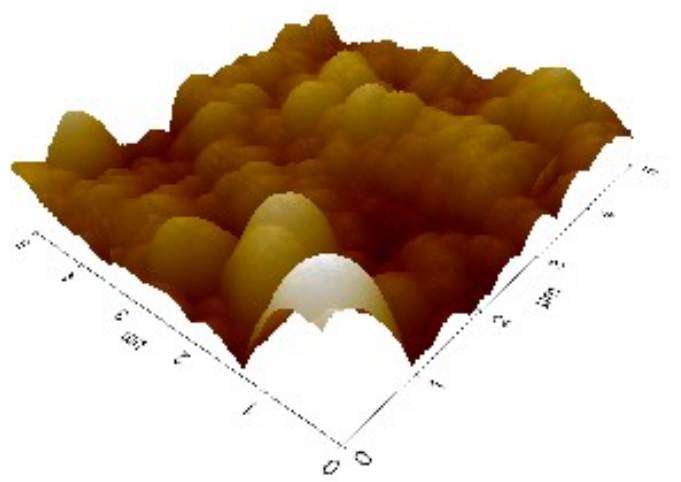
Şekil 5.49. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



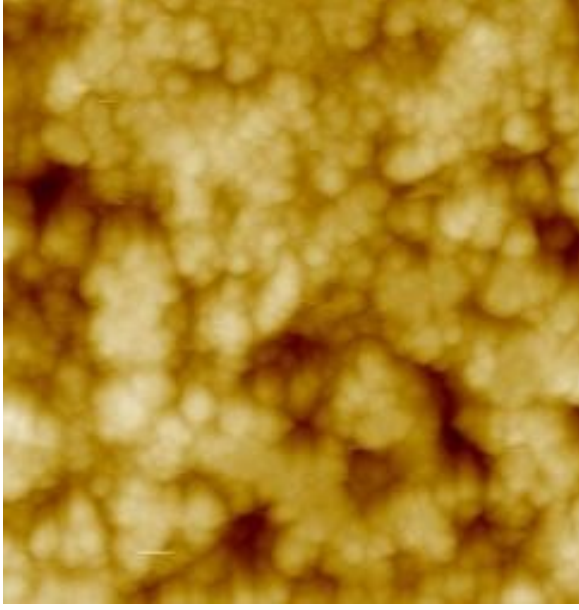
Şekil 5.51. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



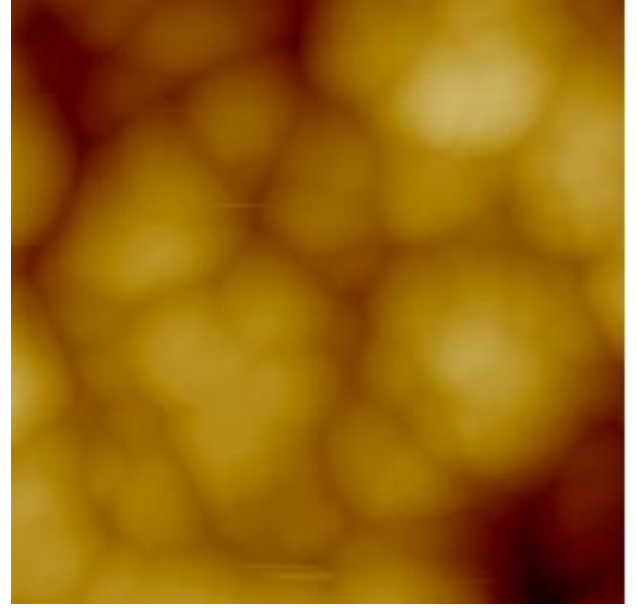
Şekil 5.50. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



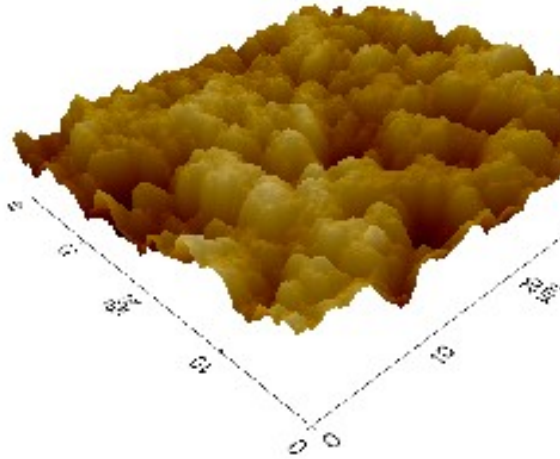
Şekil 5.52. % 15 Al katkılı CdO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



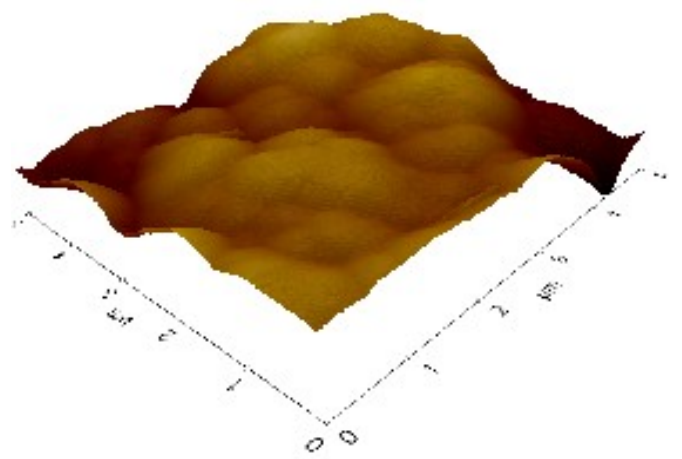
Şekil 5.53. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 40μm x 40μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



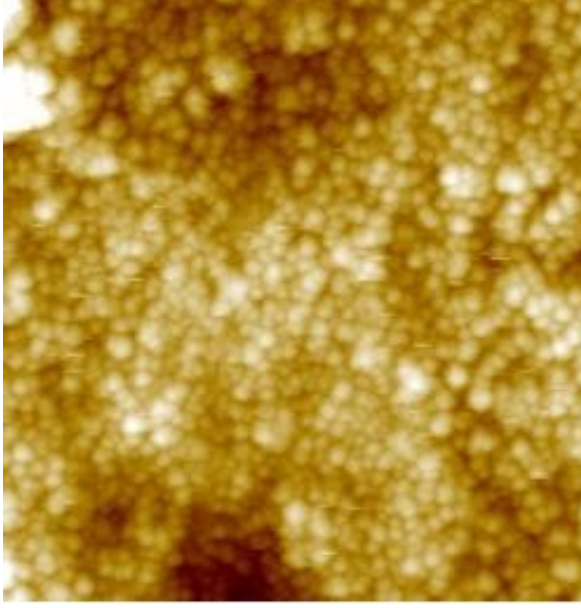
Şekil 5.55. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 5μm x 5μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



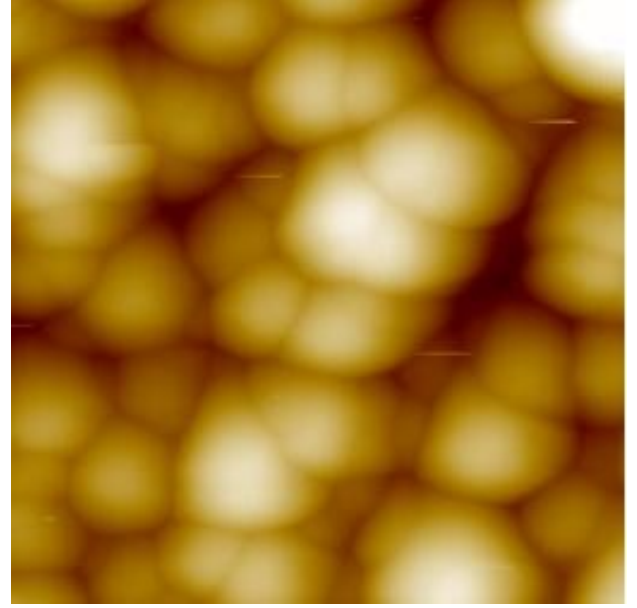
Şekil 5.54. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 40μm x 40μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



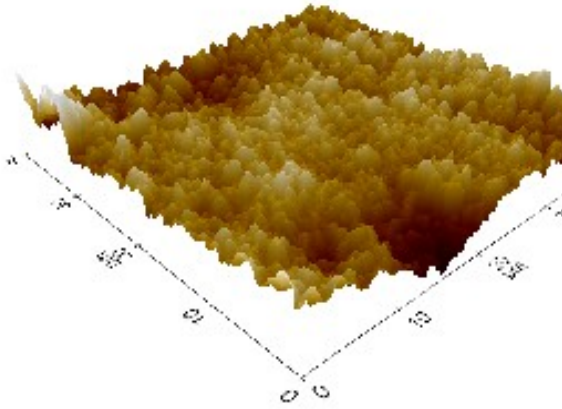
Şekil 5.56. % 20 Al katkılı CdO numunesinin 5μm x 5μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



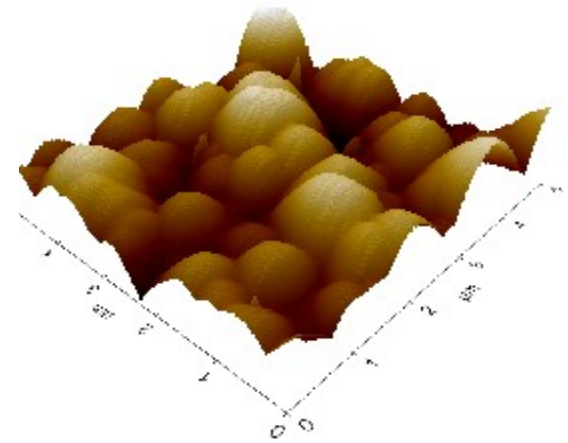
Şekil 5.57. Katkısız ZnO numunesinin $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 2 boyutlu AFM görüntüsü



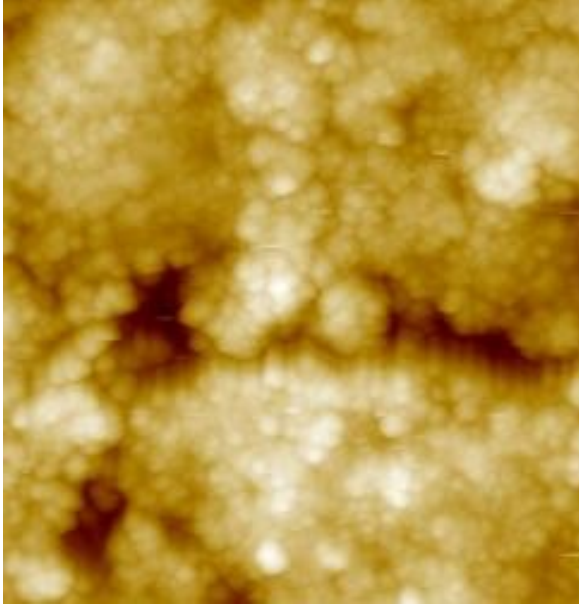
Şekil 5.59. Katkısız ZnO numunesinin $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 2 boyutlu AFM görüntüsü



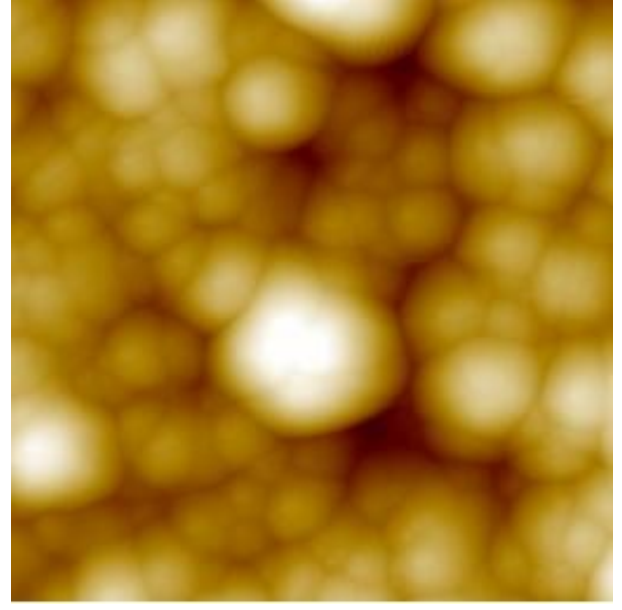
Şekil 5.58. Katkısız ZnO numunesinin $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 3 boyutlu AFM görüntüsü



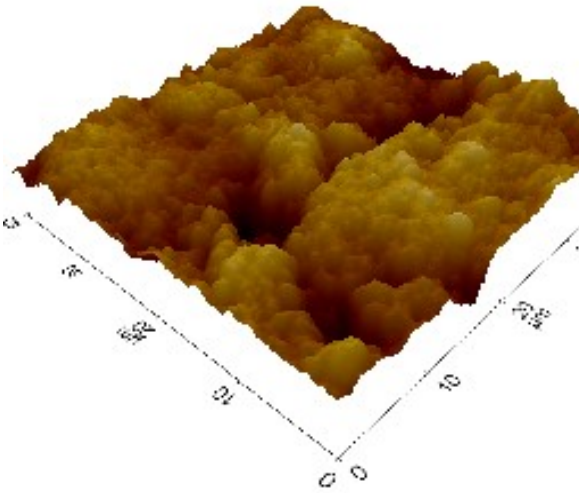
Şekil 5.60. Katkısız ZnO numunesinin $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 3 boyutlu AFM görüntüsü



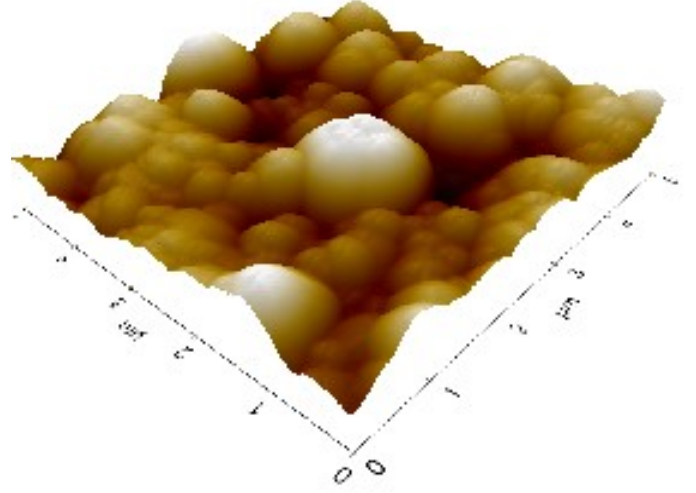
Şekil 5.61. %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



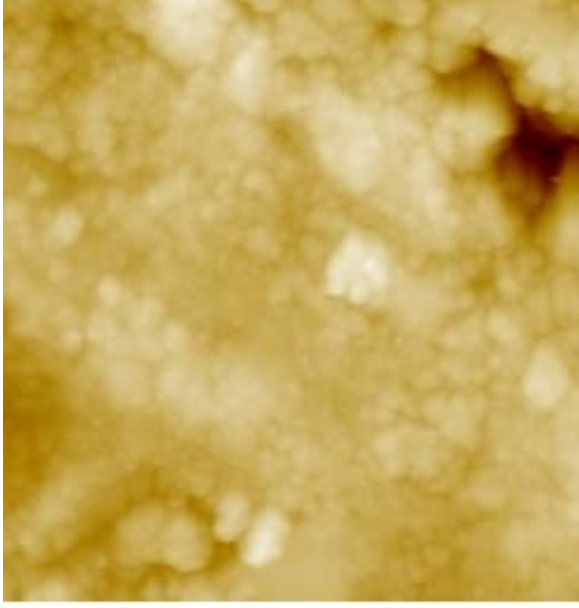
Şekil 5.63. %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



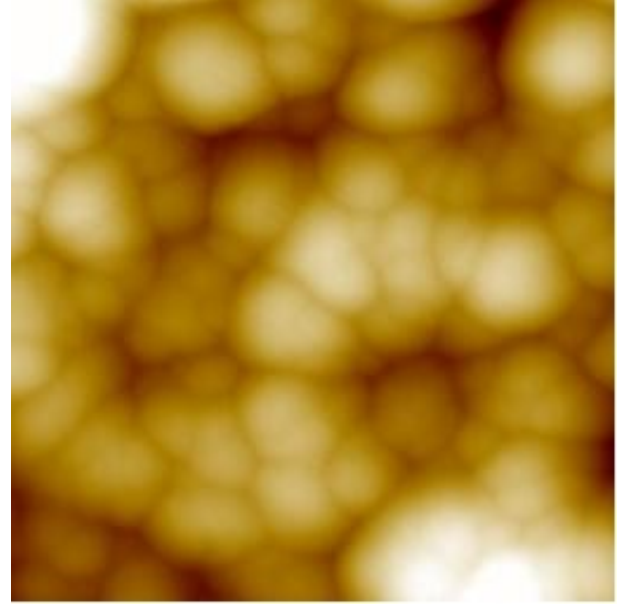
Şekil 5.62 %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



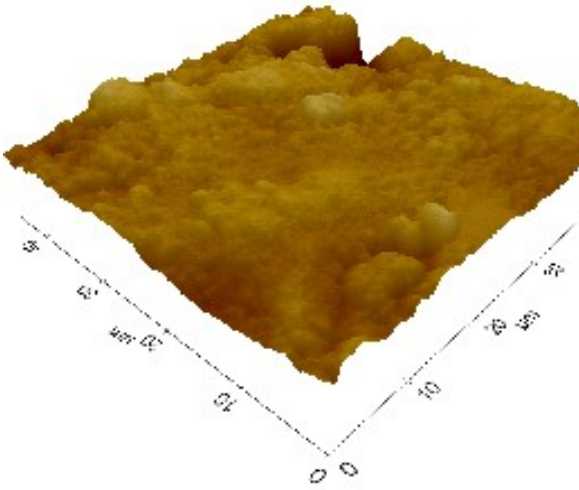
Şekil 5.64. %5 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



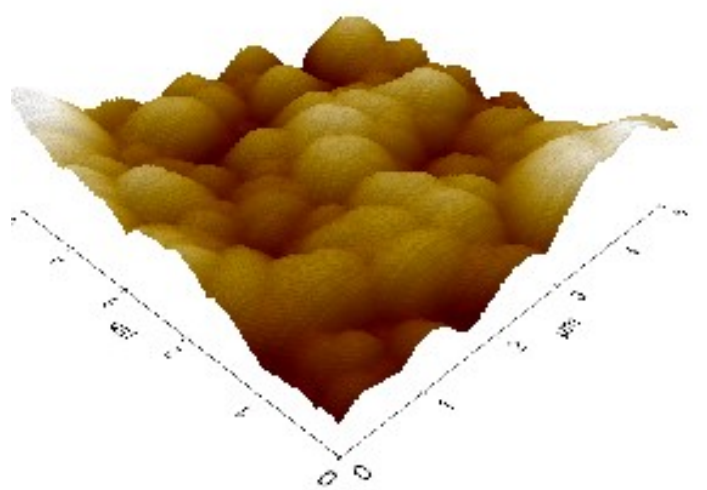
Şekil 5.65. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



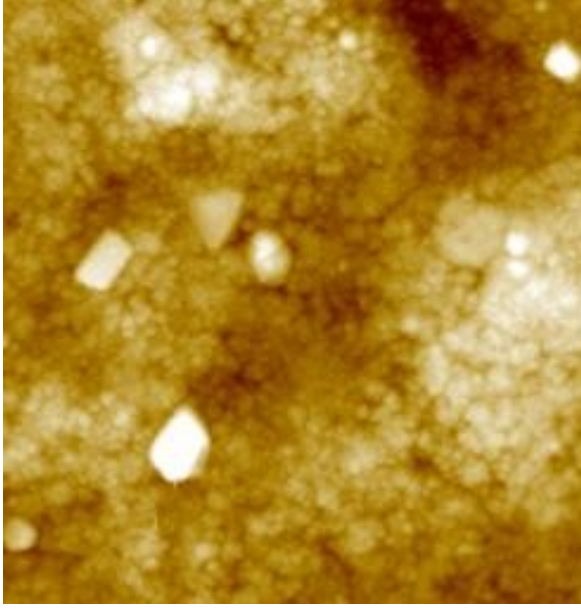
Şekil 5.67. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



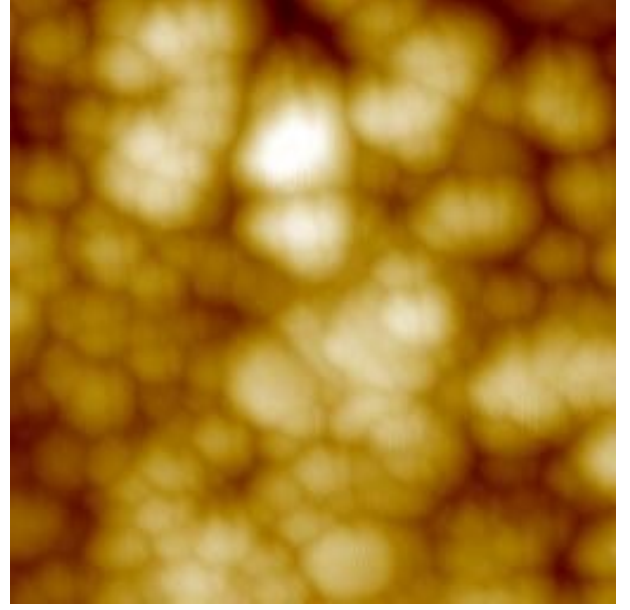
Şekil 5.66 %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



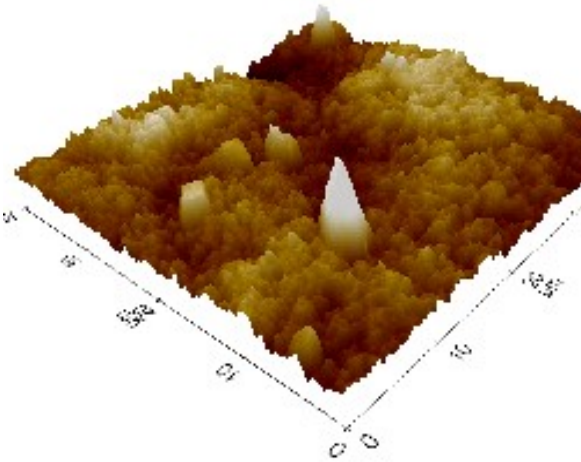
Şekil 5.68. %10 Fe katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



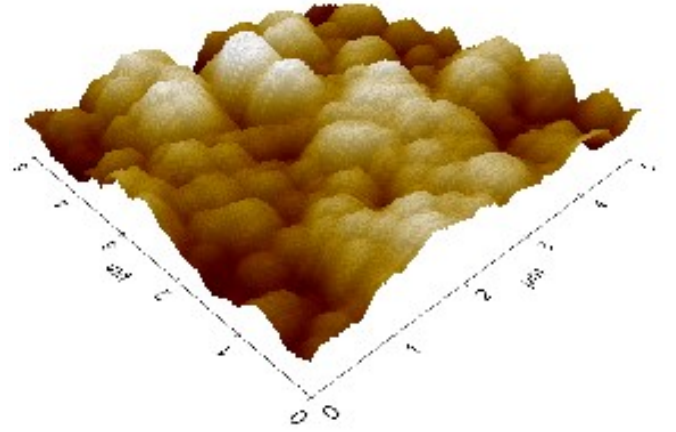
Şekil 5.69 %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



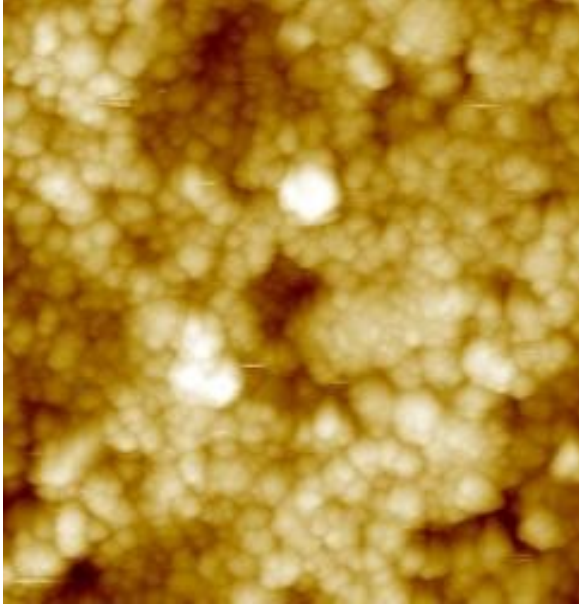
Şekil 5.71. %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



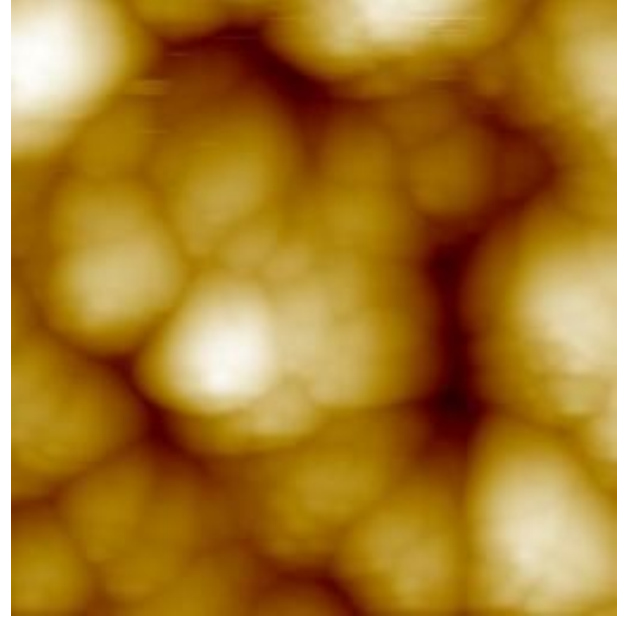
Şekil 5.70. %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



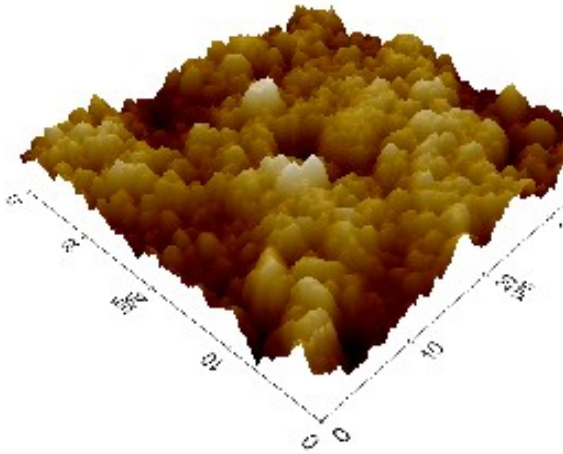
Şekil 5.72. %15 Fe katkılı ZnO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



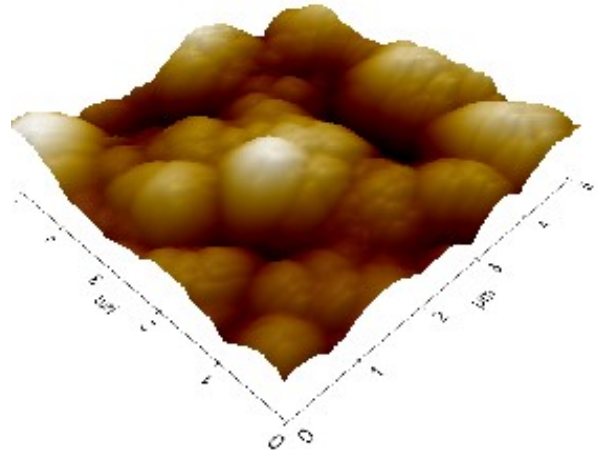
Şekil 5.73. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 40μm x 40μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



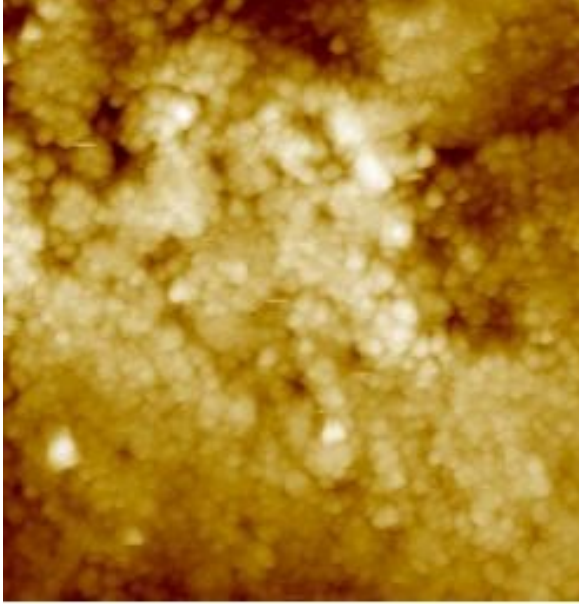
Şekil 5.75. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 5μm x 5μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



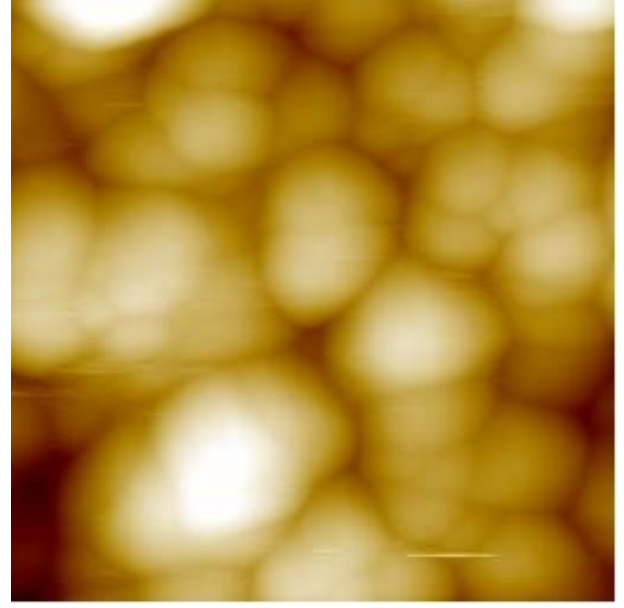
Şekil 5.74. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 40μm x 40μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



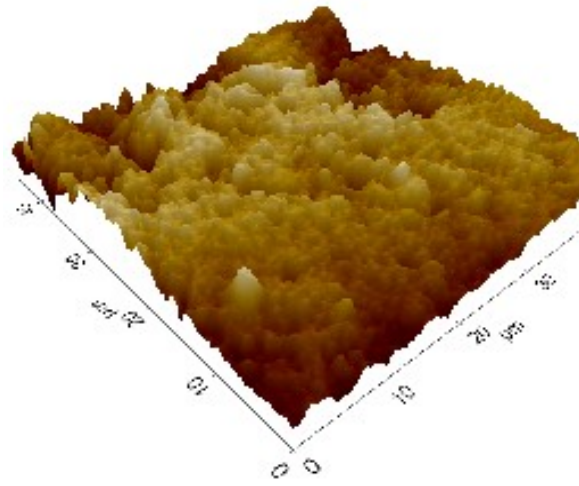
Şekil 5.76. %20 Fe katkılı ZnO numunesinin 5μm x 5μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



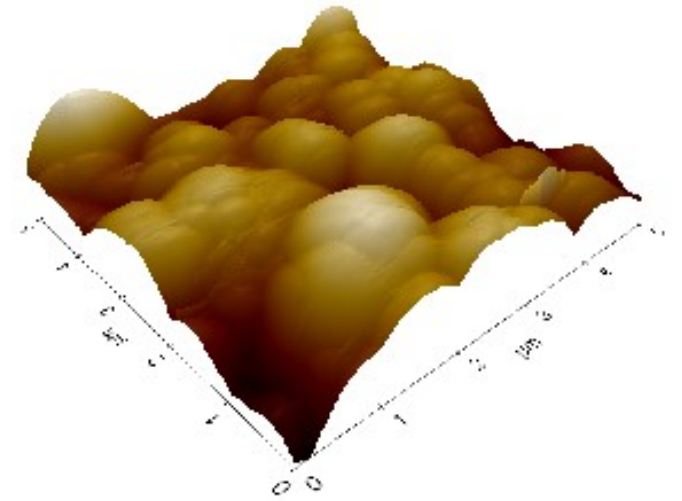
Şekil 5.77. %5 Al katkılı ZnO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



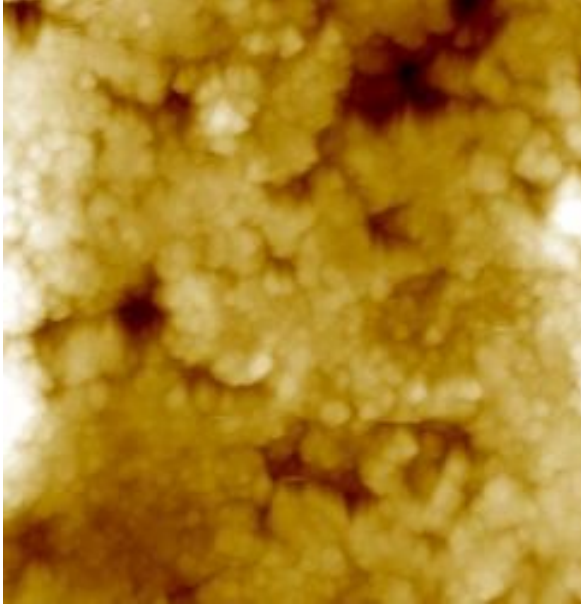
Şekil 5.79. %5 Al katkılı ZnO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



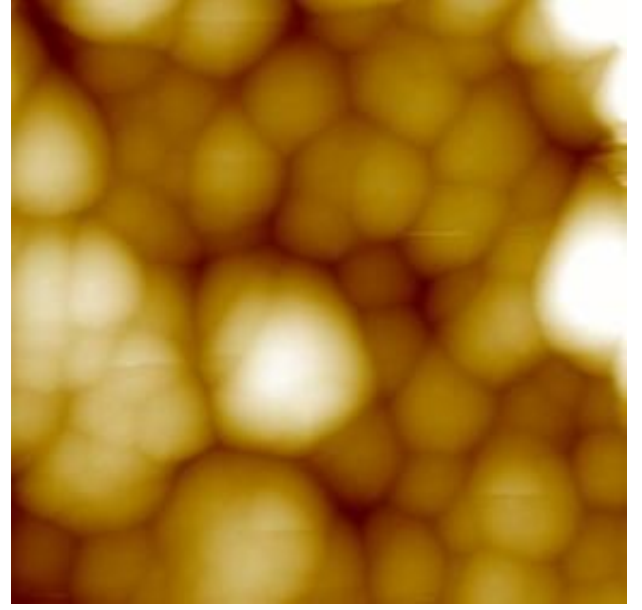
Şekil 5.78. %5 Al katkılı ZnO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



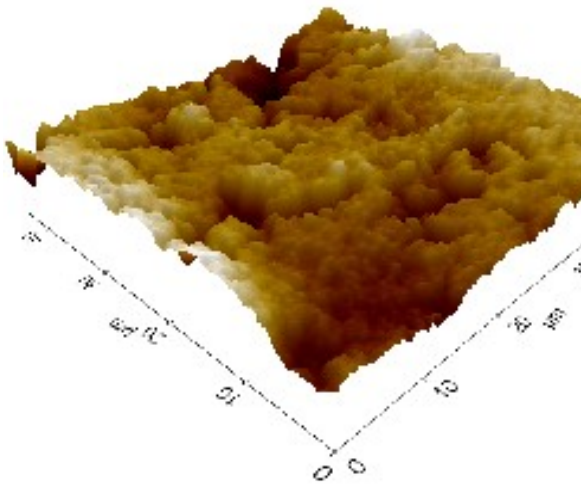
Şekil 5.80 %5 Al katkılı ZnO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



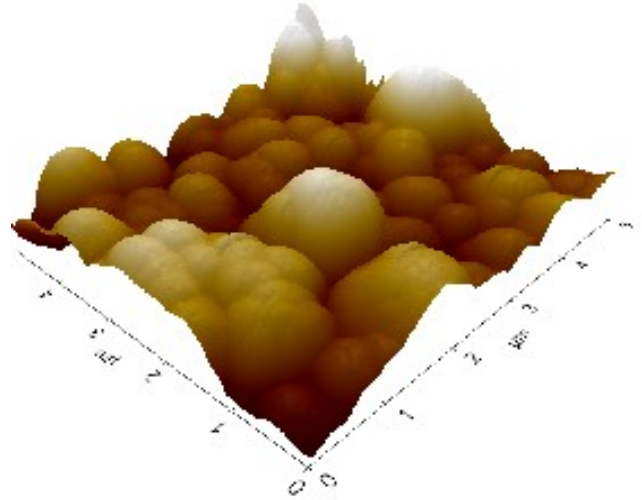
Şekil 5.81 %10 Al katkılı ZnO numunesinin 40μm x 40μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



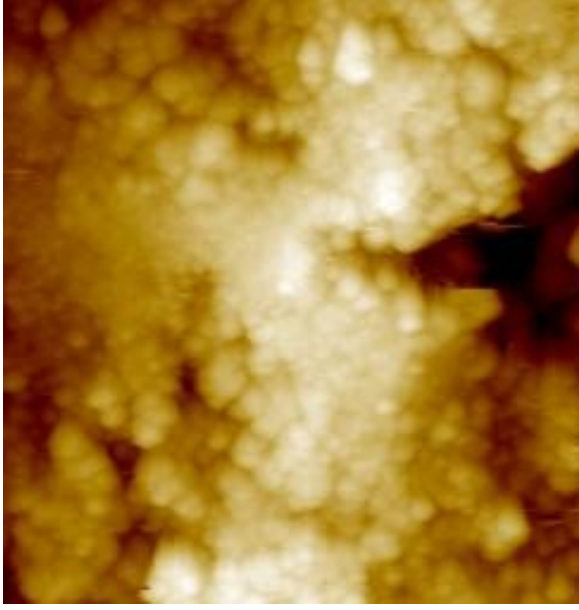
Şekil 5.83. %10 Al katkılı ZnO numunesinin 5μm x 5μm 2 boyutlu AFM görüntüsü



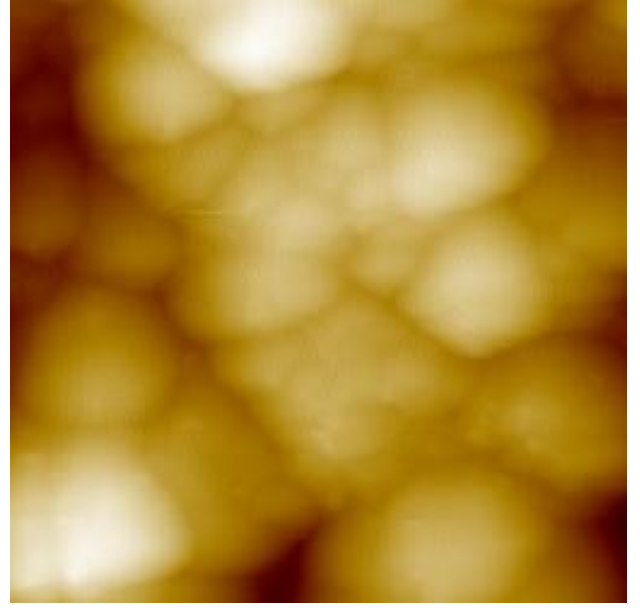
Şekil 5.82. %10 Al katkılı ZnO numunesinin 40μm x 40μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



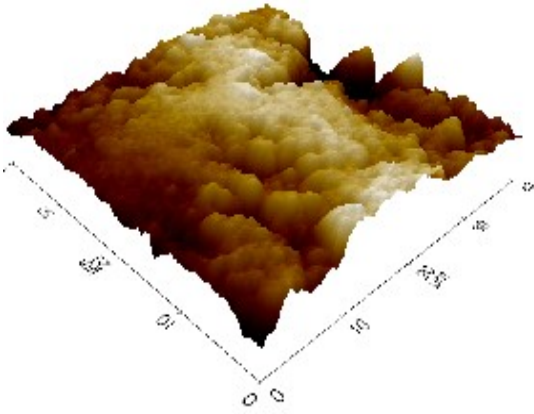
Şekil 5.84. %10 Al katkılı ZnO numunesinin 5μm x 5μm 3 boyutlu AFM görüntüsü



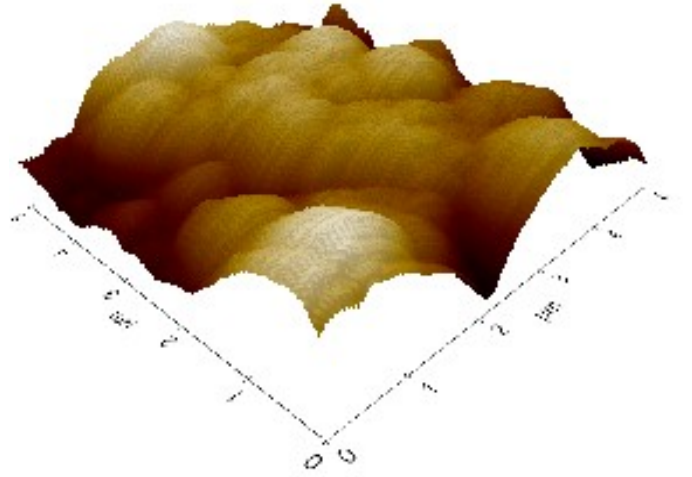
Şekil 5.85. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



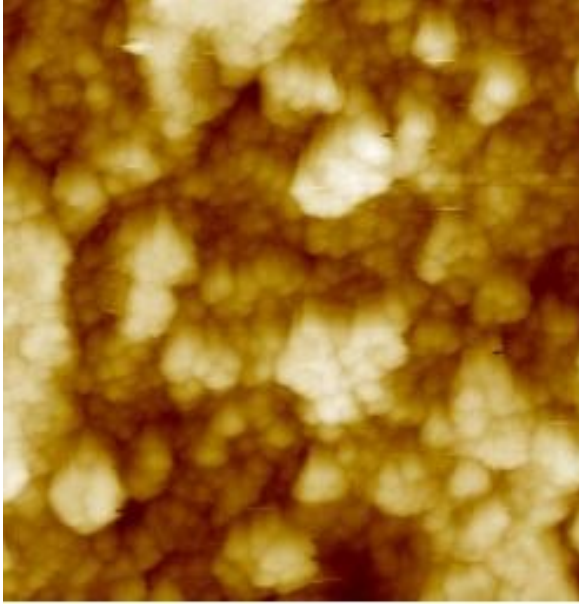
Şekil 5.87. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 2 boyutlu AFM görüntüsü



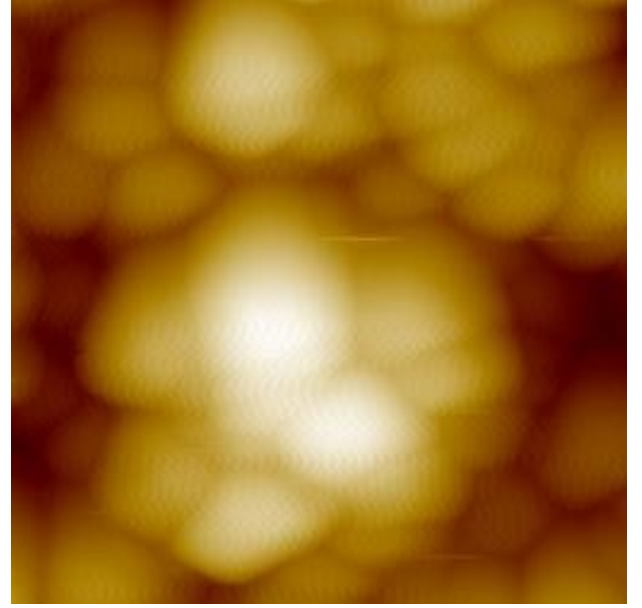
Şekil 5.86. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 40 μ m x 40 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



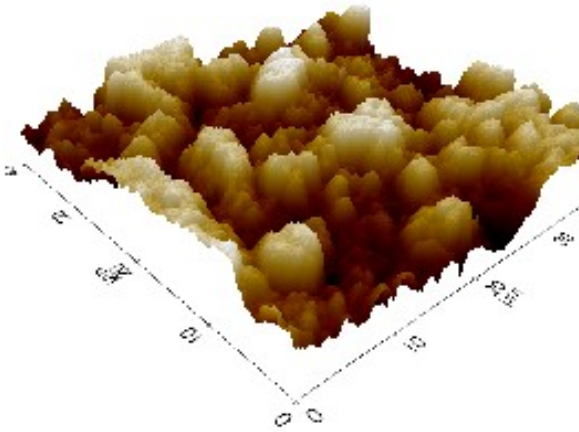
Şekil 5.88. %15 Al katkılı ZnO numunesinin 5 μ m x 5 μ m 3 boyutlu AFM görüntüsü



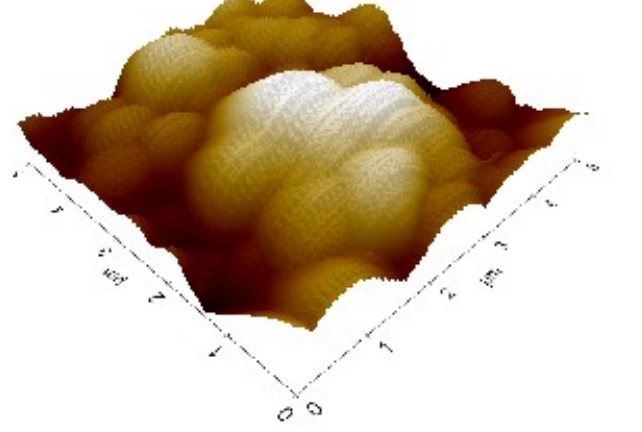
Şekil 5.89. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



Şekil 5.91. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 2 boyutlu AFM görüntüsü



Şekil 5.90. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 40µm x 40µm 3 boyutlu AFM görüntüsü



Şekil 5.92. %20 Al katkılı ZnO numunesinin 5µm x 5µm 3 boyutlu AFM görüntüsü

5.4 Numunelerin optik özellikleri

Günümüzde opto elektronik devrelerin kullanımı ve teknolojisi geliştikçe, yarıiletken malzemelerin optik özelliklerinin incelenmesi giderek önem kazanmaktadır. Opto elektronik devrelerin çalışma prensibi, yarıiletkenin elektronları ile malzeme üzerine gönderilen fotonların etkileşerek yarıiletken içerisinde serbest yük taşıyıcıları oluşturması işlemine dayanmaktadır. Bu yüzden, elektronların fotonlar ile etkileşmesinin incelemek, yarıiletkenlerin pratikte uygulanması ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi açısından önem kazanmaktadır. [5]

Bir yarıiletken üzerine foton gönderildiğinde; atomların elektronları ile fotonların etkileşmesi sonucu soğurma, geçirgenlik, yansıma ve kırılma gibi pek çok optik olay meydana gelir.

5.4.1 Yarıiletkenlerin optik özellikleri

Yarıiletken malzeme üzerine gönderilen bir foton; yarıiletkenin yasak enerji aralığına (E_g) eşit veya daha büyük bir enerjiye sahipse, bu durumda valans bandındaki bir elektron uyarılarak iletim bandına geçer ve bu olay soğurma olarak adlandırılır. Lineer soğurma katsayısı α ,

$$\alpha = \frac{A}{d} \quad (5.4)$$

İfadesi kullanılarak bulunur. Burada A absorbansı ve d malzemenin kalınlığını göstermektedir. α , malzemenin yoğunluğuna, gelen ışığın dalga boyuna ve malzemenin yasak enerji aralığına bağlı olarak değişir.

Yarıiletkenlerde dört çeşit soğrulma olayı meydana gelir. Bunlar temel soğrulma olayı, ışığın eksitonlar tarafından soğrulması, ışığın serbest yük taşıyıcıları tarafından soğrulması ve katkı atomları tarafından soğrulmasıdır. [5]

Temel soğrulma olayı, yarıiletken üzerine gelen fotonların valans bandındaki elektronlar tarafından soğrulması ile valans bandındaki bu elektronların sökülerek iletim bandına geçmeleri sonucu meydana gelir. Bu durumun gerçekleşebilmesi için yarıiletken üzerine gelen fotonun enerjisinin yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük olması gerekir. Yani;

$$h\nu \geq E_g$$

Olmalıdır. Burada $h\nu$ fotonun enerjisini ve E_g 'de yarıiletkenin yasak enerji aralığıdır.

Yarıiletkenlerde ikinci soğrulma olayı eksitonlar tarafından soğrulmadır. Yarıiletkenlerde bağlı bir elektronla hol birbirlerini Coulomb kuvvetiyle çekerler ve birbirlerinin etrafında dönerler. Eksitonlar tarafından soğrulma için,

$$h\nu \geq E_g - E_{eks}$$

Şartının sağlanması gerekir. Burada E_{eks} eksitonun bağlanma enerjisidir.

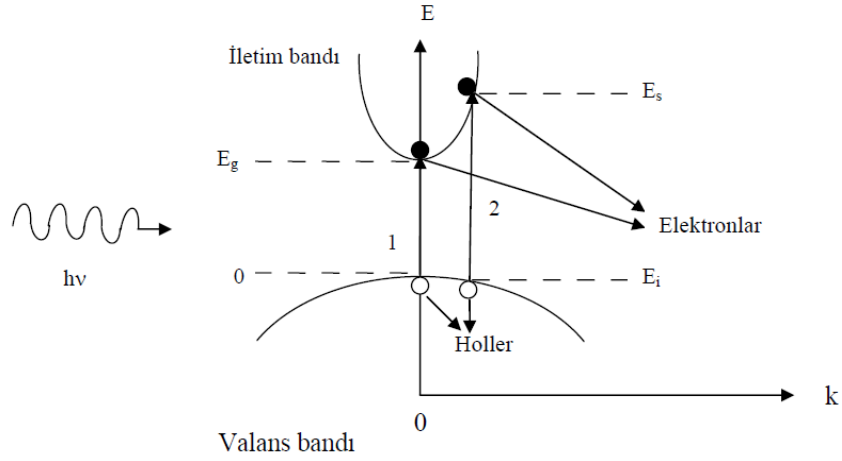
Yarıiletkenlerde üçüncü soğrulma olayı ışığın serbest yük taşıyıcıları tarafından soğrulmasıdır. Gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit veya ondan küçük ise, bu foton valans bandındaki bir hol ya da iletim bandındaki bir elektron tarafından soğrulur ve serbest yük taşıyıcılarının aynı band içerisinde daha yüksek enerji seviyelerine uyarılmalarını sağlar. Bu olay serbest yük taşıyıcıları tarafından soğrulma olarak bilinir. [5]

Dördüncü soğrulma olayı ise ışığın katkı atomları tarafından soğrulmasıdır. Katkılı yarıiletkenlerde meydana gelen bu olayda, yarıiletkene gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından küçük olduğu için valans bandındaki bir elektron iletim bandına çıkamaz. Gelen foton katkı yarıiletkenin tipine göre donör ve akseptör atomları tarafından soğrulur.

Malzeme üzerine gönderilen fotonlar, bir elektronu daha yüksek bir enerji seviyesine uymak için yeterli enerjiye sahip değillerse, soğrulma yerine geçirilirler ve malzeme saydam olarak davranır. Geçirgenlik geçen ışık şiddetinin gelen ışık şiddetine oranı olarak tanımlanır ve T ile temsil edilir. Malzeme ile fotonların etkileşmesi sonucu meydana gelen diğer bir optik olayda yansımadır. Yansıma, malzeme yüzeyinden yansıyan ışık şiddetinin gelen ışık şiddetine oranı olarak tanımlanır ve R ile temsil edilir. Malzemenin yüzeyi düzgünse ve gelen fotonlar düşük bir enerjiye sahipse, fotonların bir kısmı malzeme yüzeyinden yansıtılır.

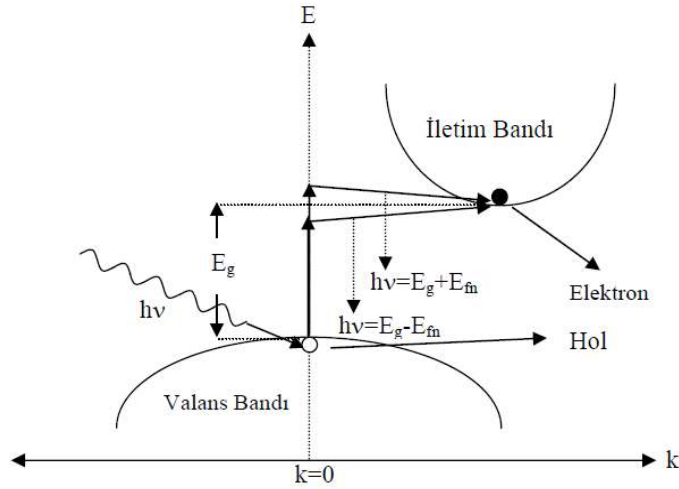
Yarıiletken malzemelerin optik ölçüm sonuçlarından faydalanılarak belirlenen diğer bir parametre ise yasak enerji aralığıdır. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralığının direkt olarak belirlenmesinde belkide en basit yöntem temel soğurma spektrumundan faydalanarak optik metodu kullanmaktır. Enerjisi bilinen bir foton tarafından valans bandından iletim bandına uyarılması olarak bilinen ve soğurmanın keskin bir artış gösterdiği bölge temel soğurma bölgesi olarak tanımlanır. Temel soğurma sınırında yarıiletkenlerde doğrudan band geçişi ve dolaylı band geçişi olmak üzere iki tür geçiş olayı meydana gelebilir. Doğrudan band yapılı yarıiletkenlerde valans bandının üst sınırı ile iletim bandının alt sınırı enerji momentum uzayında aynı k değerindedir. Bu geçişte valans bandındaki bir elektronun

iletim bandına geçebilmesi için, enerjisi yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığına eşit yada daha büyük olan bir fotonu soğurması gerekir. CdS, ZnS ve GaAs gibi malzemeler doğrudan band yapısına sahip malzemelerdir.



Şekil 5.93. Bir yarıiletkende doğrudan band geçişi

Dolaylı band yapılı yarıiletkenlerde ise valans bandının üst sınırı ile iletim bandının alt sınırı enerji-momentum uzayında aynı k değerinde değildir. Bu geçişte valans bandındaki bir elektronun iletim bandına geçebilmesi için, bir fotonun absorblanması veya salınması gerekir. [5]



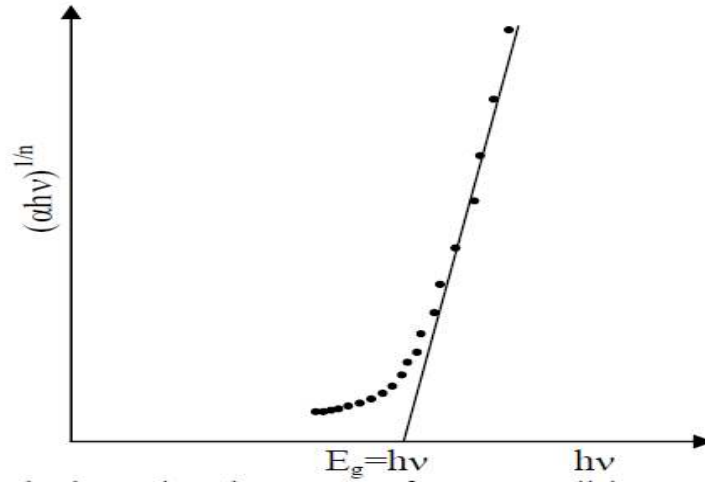
Şekil 5.94. Bir yarıiletkende dolaylı band geçişi

Direkt band geçişte soğurma katsayısı (α) ile gelen fotonun enerjisi ($h\nu$) arasındaki bağıntı

$$n_0 \alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^n \quad (5.6)$$

İle verilir. Burada n_0 kırılma indisidir ve direkt band geçişli bir yarıiletken için geçişin izinli veya izinsiz olmasına bağlı olarak $n=1/2$ veya $n=3/2$ dir.

Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde kullanılan optik metot aynı zamanda optik geçişler hakkında da bilgi verir. Bu metotta yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığı, temel soğurma spektrumu kullanılarak çizilen $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiğinden belirlenir. Bu değişimin lineer kısmının doğrultusunun $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2=0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri, yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir. [5]



Şekil 5.95. Bir yarıiletkende absorpsiyon katsayısının fotonun enerjisine göre değişiminden, yasak enerji aralığının belirlenmesi

5.4.2 Üretilen Yarıiletken Numunelerin Temel Absorpsiyon Spektrumları ve Yasak Enerji Aralıkları

Sol-Jel yöntemiyle elde edilen yarıiletken numunelerin oda sıcaklığında temel absorpsiyon spektrumları 200-1000 nm tarama bölgesinde Shimadzu UV-VIS-NIR 3600 spektrometre cihazından elde edilmiştir.

Fe ve Al katkılı CdO ve ZnO yarıiletken numunelerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde optik absorpsiyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde Elde edilen yarıiletken numunelerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^{1/n}$ grafikleri çizilmiştir Grafiğin lineer olduğu kısma karşı gelen doğrunun $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^n = 0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri o materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. n değeri 2 ise materyal dolaylı band aralığına sahiptir, n değeri $1/2$ ise materyal doğrudan band aralığına sahiptir. Elde edilen grafiklerde n yerine $1/2$ konulduğunda en iyi lineerlik belirlenmiştir. Böylece yarıiletken numunelerin doğrudan band geçişine sahip oldukları belirlenmiştir. Yasak enerji aralığının hesaplanmasında

$$(\alpha h\nu) = A. (h\nu - E_g)^n \quad (5.7)$$

Formülü kullanılmıştır. Burada;

α = soğurma katsayısı

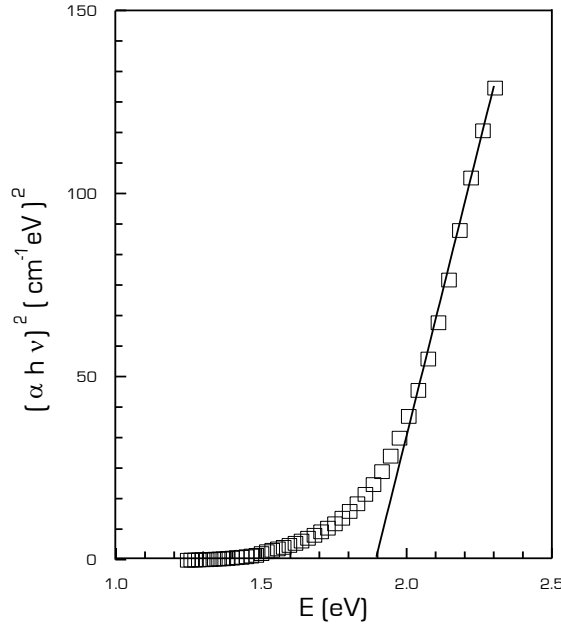
$h\nu$ = foton enerjisi

E_g =Yasak Enerji Aralığı

$n=1/2$ (direkt geçişler için)

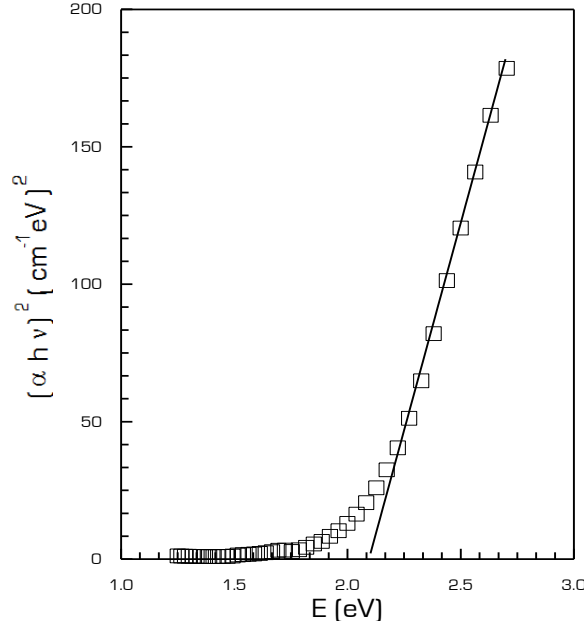
A =sabit dir.

Yapılan çalışmalar ve literatür taranmış CdO için yasak enerji aralığı 2,15 eV, ZnO için ise 3,2-3,5 eV olarak bulunmuştur. Elde edilen grafiklere göre hesaplanan yasak enerji aralığı Tablo 5.20 ‘ de verilmiştir.



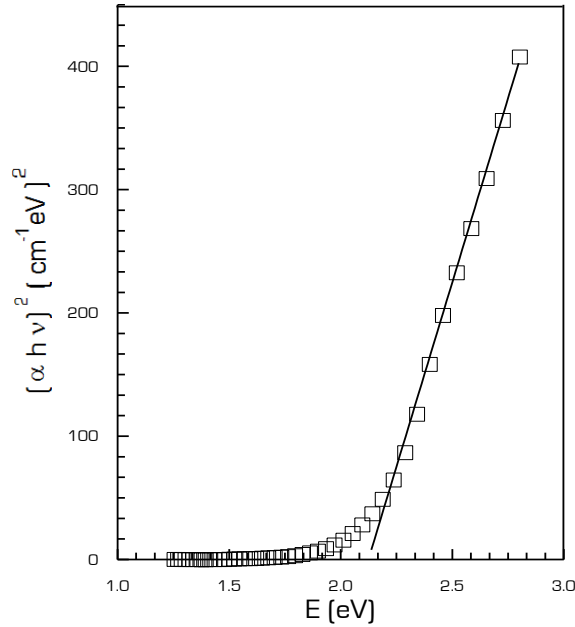
Şekil 5.96. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400 °C de ısıtılmış katkısız CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.96 ‘da verilmiştir. Şekil 5.96 incelendiğinde katkısız CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,28-1,75 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 1,75 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 1,89 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20’de verilmiştir.



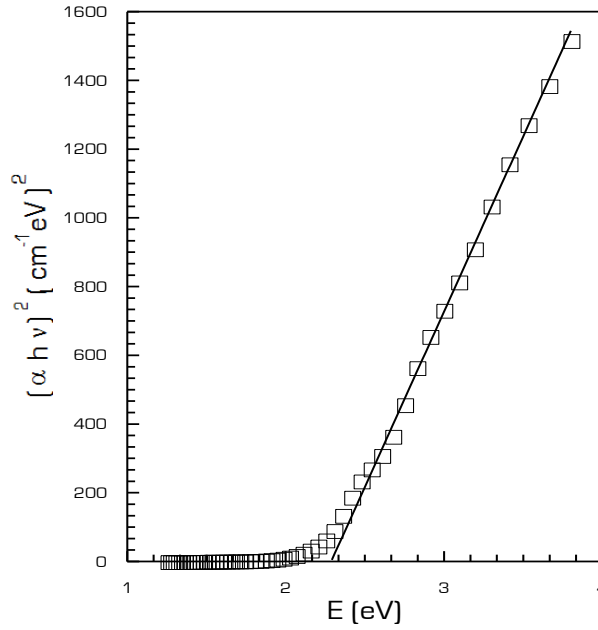
Şekil 5.97. %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400°C de ısıtılmış molce % 5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ – E grafiği Şekil 5.97 ‘da verilmiştir. Şekil 5.97 incelendiğinde %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,22-2 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. % 5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,09 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20’de verilmiştir.



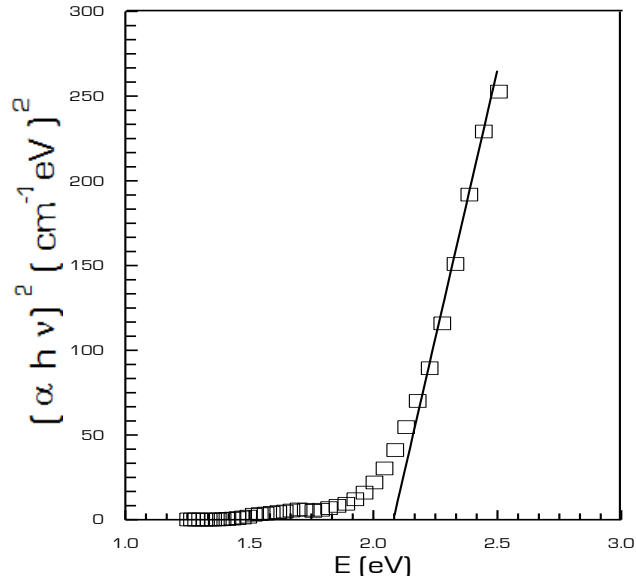
Şekil 5.98. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400°C de ısıtıl işlem görmüş molce % 10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.98 'da verilmiştir. Şekil 5.98 incelendiğinde % 10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,25-2 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir.% 10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,12 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



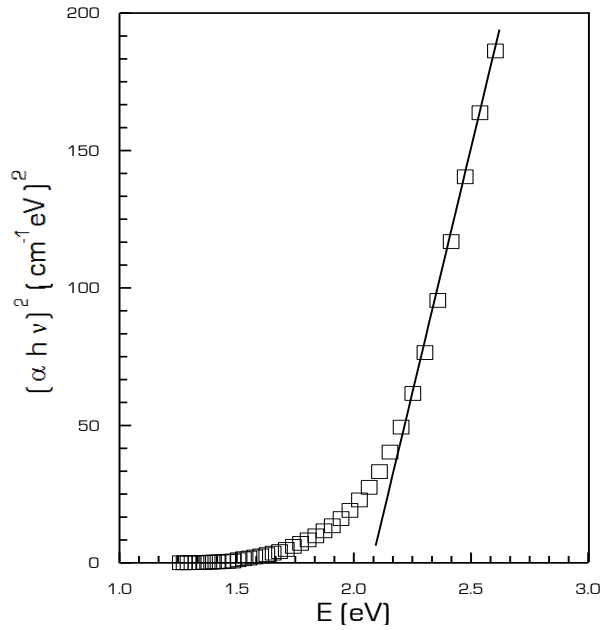
Şekil 5.99. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği

400°C de ısıtıl işlem görmüş molce % 15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.99 'da verilmiştir. Şekil 5.99 incelendiğinde % 15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,2-2,2 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2,2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir.% 15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,28 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



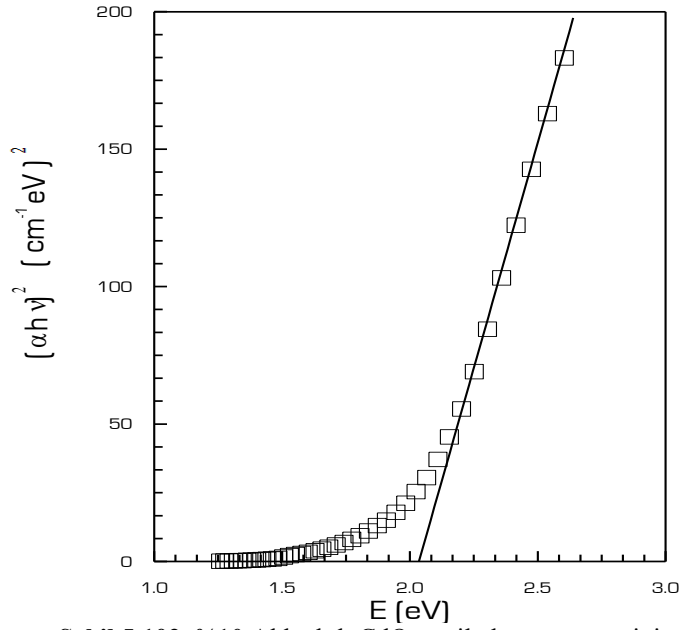
Şekil 5.100. %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400°C de ısıtılmış molce % 20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ – E grafiği Şekil 5.100 ‘de verilmiştir. Şekil 5.100 incelendiğinde % 20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,2-2eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. % 20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,08 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20’de verilmiştir.



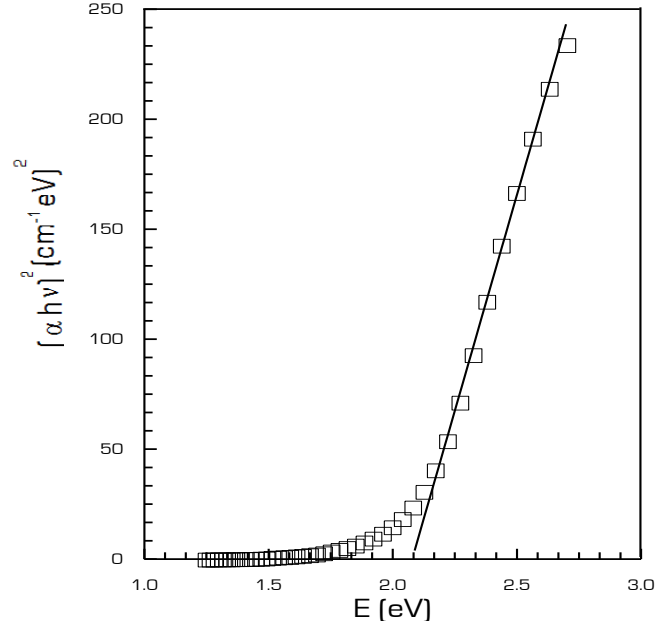
Şekil 5.101. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400°C de ısıtıl işlem görmüş molce % 5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.101 'de verilmiştir. Şekil 5.101 incelendiğinde % 5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,2-1,83 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 1,83 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir.% 5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,07 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



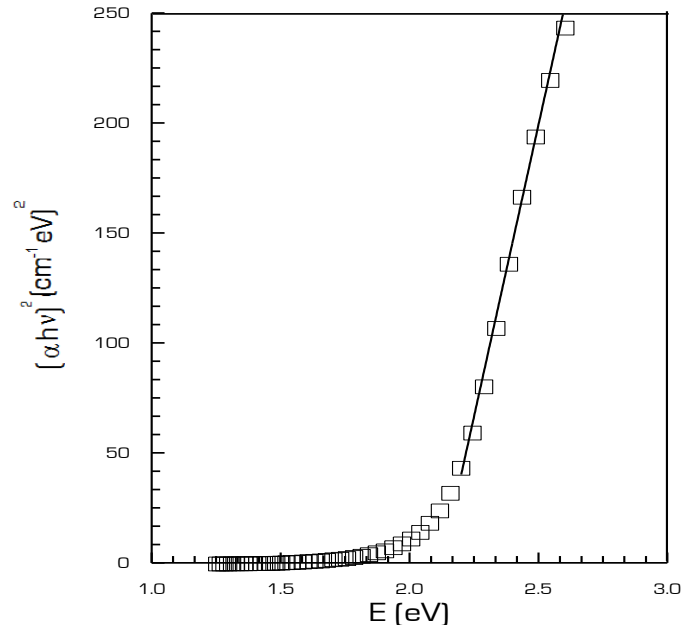
Şekil 5.102. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği

400°C de ısıtıl işlem görmüş molce % 10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.102 'de verilmiştir. Şekil 5.102 incelendiğinde % 10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,22-1,57 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 1,57 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir.% 10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,03 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



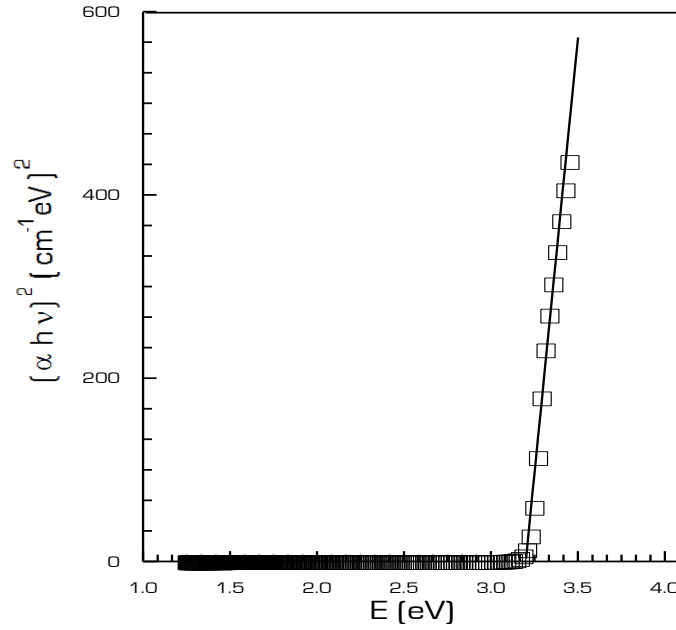
Şekil 5.103. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400°C de ısıtılmış molce % 15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ – E grafiği Şekil 5.103 ‘de verilmiştir. Şekil 5.103 incelendiğinde % 15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,21-2eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. % 15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,07 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20’de verilmiştir.



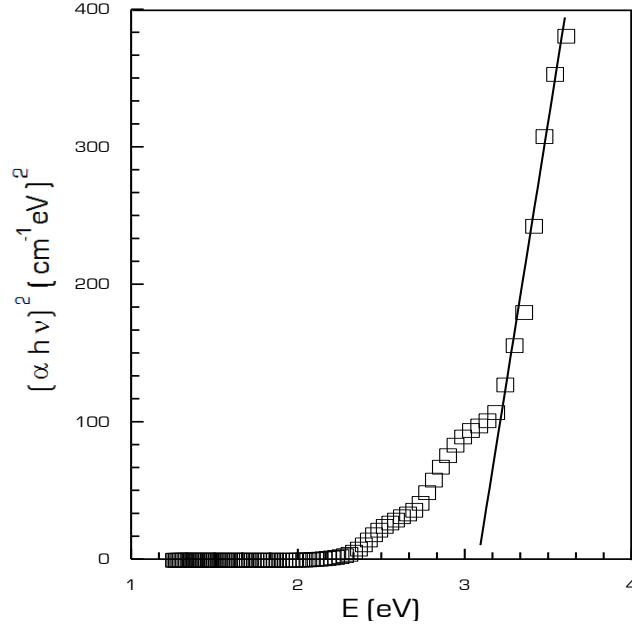
Şekil 5.104. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

400°C de ısıtıl işlem görmüş molce % 20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.104 'de verilmiştir. Şekil 5.104 incelendiğinde % 20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,24-2,1 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2,1 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. % 20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,12 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



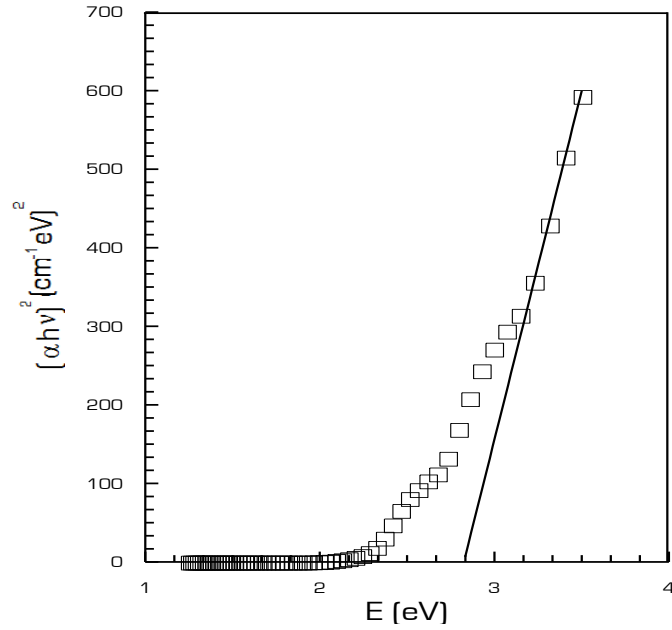
Şekil 5.105. Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği

1100 °C de ısıtıl işlem görmüş katkısız ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.105 'da verilmiştir. Şekil 5.105. incelendiğinde katkısız ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,21-3,25 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 3,25 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 3,19 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



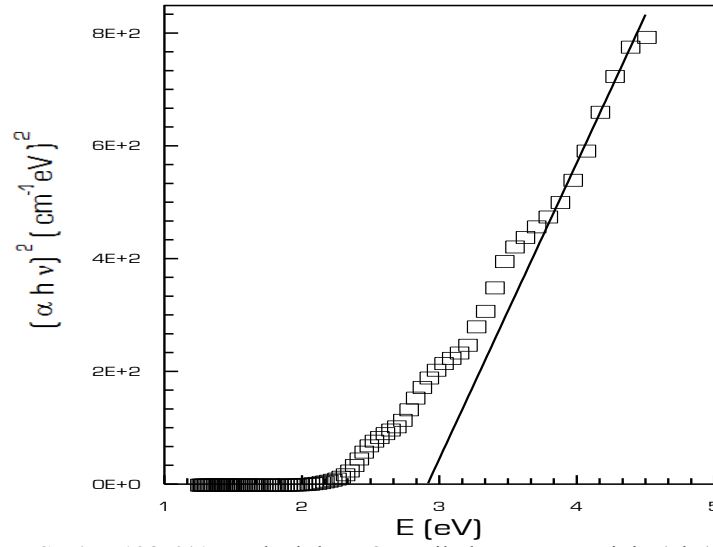
Şekil 5.106. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha hv)^2$ - E grafiği

1100 °C de ısıtılmış molce %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha hv)^2$ – E grafiği Şekil 5.106 ‘da verilmiştir. Şekil 5.106. incelendiğinde %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,11-2,25 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2,25 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 3,08 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20’de verilmiştir.



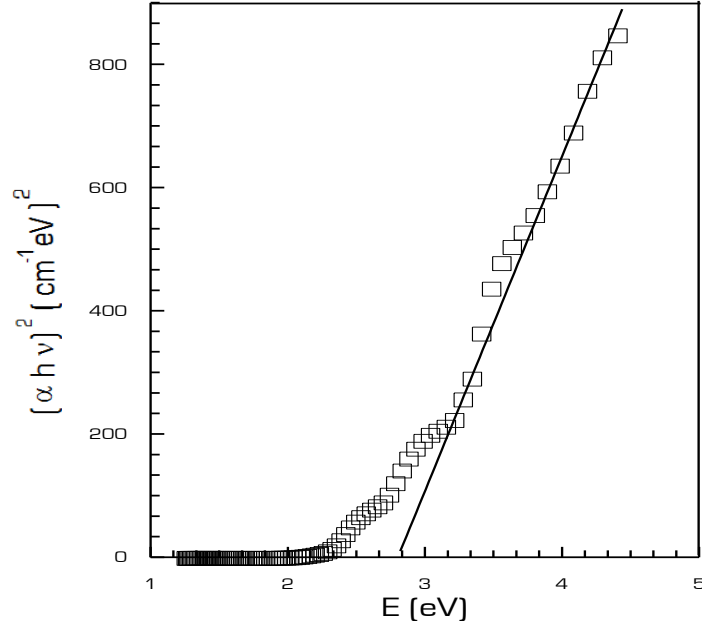
Şekil 5.107. %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha hv)^2$ - E grafiği

1100 °C de ısıt işlem görmüş molce %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.107 'da verilmiştir. Şekil 5.107. incelendiğinde %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,11-2,35 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2,35 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,82 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



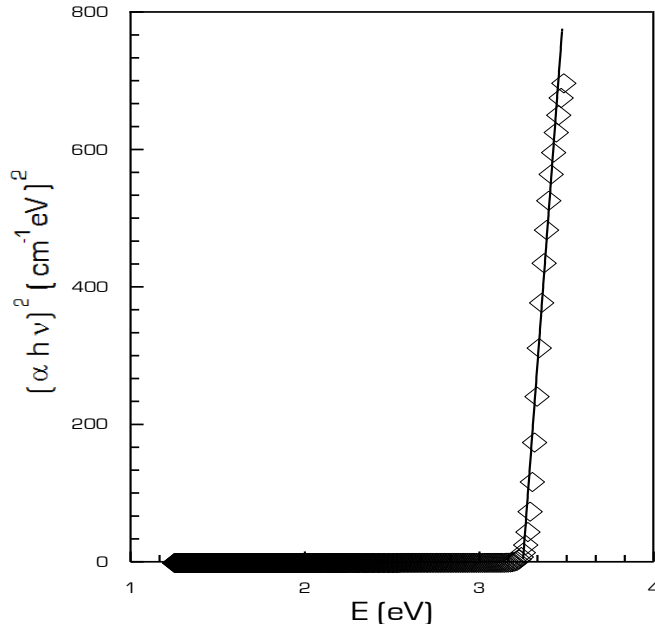
Şekil 5.108. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği

1100 °C de ısıt işlem görmüş molce %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.108 'da verilmiştir. Şekil 5.108. incelendiğinde %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,08-2,15 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2,15 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,91 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



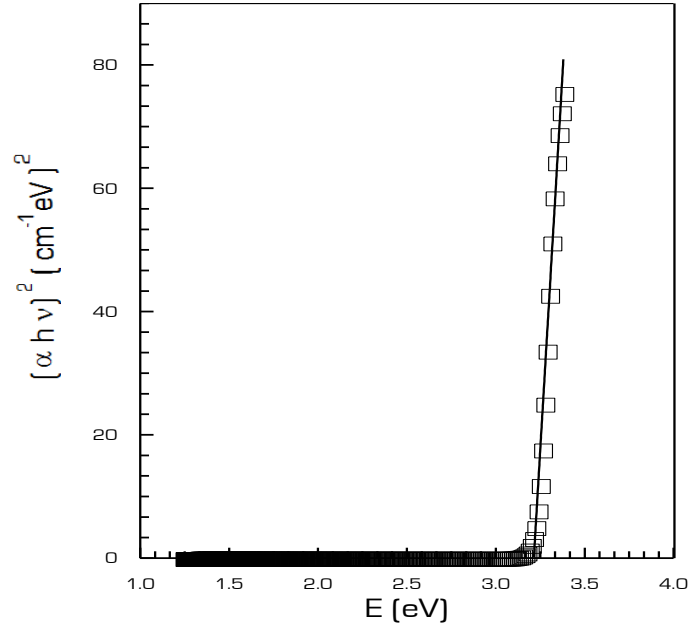
Şekil 5.109. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha hv)^2 - E$ grafiği

1100 °C de ısıtılmış molce %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha hv)^2 - E$ grafiği Şekil 5.109 'da verilmiştir. Şekil 5.109. incelendiğinde %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,08-2,35 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 2,35 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 2,80 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



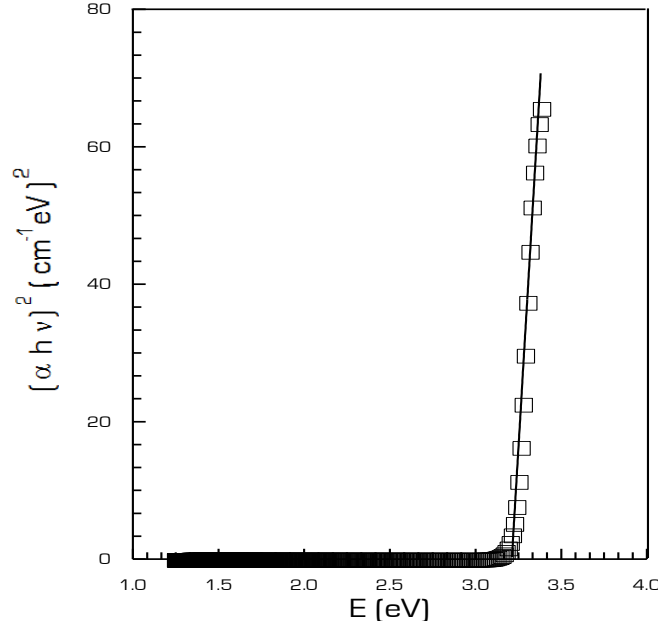
Şekil 5.110. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha hv)^2 - E$ grafiği

1100 °C de ısıtıl işlem görmüş molce %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.110 'da verilmiştir. Şekil 5.110. incelendiğinde %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,2-3,2 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 3,2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 3,24 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



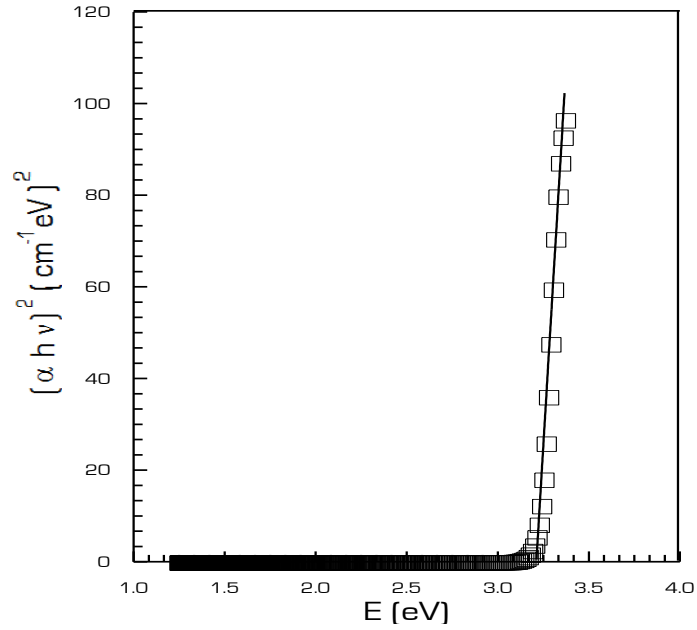
Şekil 5.111. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği

1100 °C de ısıtıl işlem görmüş molce %10Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.111 'da verilmiştir. Şekil 5.111. incelendiğinde %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,22-3,2 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 3,2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 3,21 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.112. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

1100 °C de ısıtılmış molce %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği Şekil 5.112 'de verilmiştir. Şekil 5.112. incelendiğinde %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,22-3,2 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 3,2 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 3,21 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.113. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2$ -E grafiği

1100 °C de ısıtıl işlem görmüş molce %20Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $(\alpha h\nu)^2 - E$ grafiği şekil 5.113 'da verilmiştir. Şekil 5.113. incelendiğinde %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesi için Lineer Soğurma Katsayısının 1,22-3,35 eV aralığında yavaş bir şekilde arttığı, 3,35 eV enerji değerinden sonra hızlı bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma bölgesi görülmektedir. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin yasak enerji aralığı 3,21 eV olarak bulunmuş ve Tablo 5.20'de verilmiştir.

Tablo 5.20. Üretilen numunelerin yasak enerji aralıkları

NUMUNE	Yasak Enerji Aralığı (E_g)(eV)
Katkısız CdO	1,89
%5 Fe katkılı CdO	2,09
%10 Fe katkılı CdO	2,12
%15 Fe katkılı CdO	2,28
%20 Fe katkılı CdO	2,08
%5 Al katkılı CdO	2,07
%10 Al katkılı CdO	2,03
%15 Al katkılı CdO	2,07
%20 Al katkılı CdO	2,12
Katkısız ZnO	3,19
%5 Fe katkılı ZnO	3,08
%10 Fe katkılı ZnO	2,82
%15 Fe katkılı ZnO	2,91
%20 Fe katkılı ZnO	2,80
%5 Al katkılı ZnO	3,24
%10 Al katkılı ZnO	3,21
%15 Al katkılı ZnO	3,21
%20 Al katkılı ZnO	3,21

5.5 Numunelerin Elektriksel Özellikleri

Bir malzemenin elektriksel iletkenliği ve öz direnci o malzemenin karakteristik bir özelliğidir. Pek çok elektrik ve elektronik uygulamaları için, malzemenin bu karakteristiklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve belirlenmesi gerekir. Örneğin; foto voltaik güneş pillerinde kullanılan yarıiletken malzemelerin düşük elektriksel öz dirence ve yüksek optiksel geçirgenliğe sahip olmaları aranan en önemli özellikleridir.

Bir yarıiletken malzemenin elektriksel özelliklerini belirleyen iletkenlik ve öz direnç uygulanan elektrik alan (voltaj), sıcaklık, aydınlatma gibi dış etkilere bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Bu dış etkiler yarıiletkenin tipine göre izinli dolu bandlardan iletim bandına elektronların geçişine neden olur ve böylece iletkenliğe katkı sağlayan serbest yük oluşumu sağlanır.

5.5.1 Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri

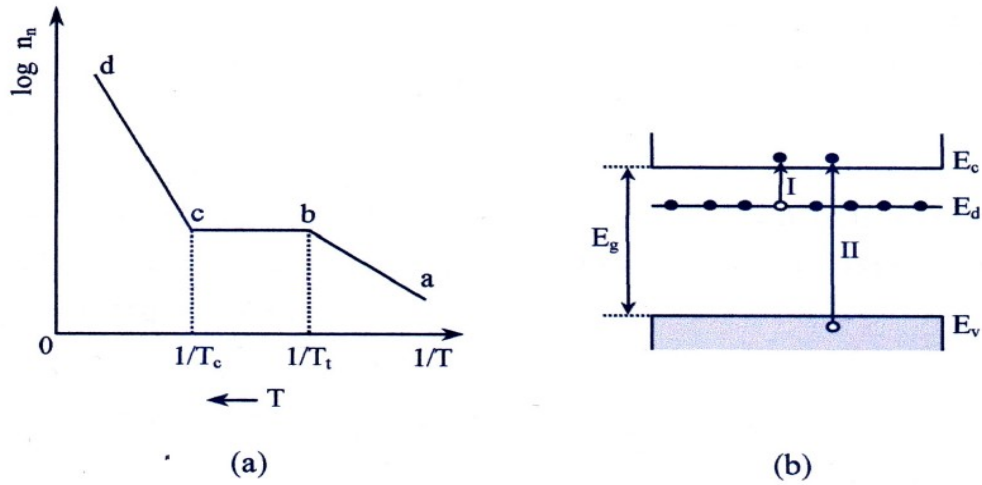
Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak için incelenen malzemenin akım-voltaj (I-V) karakteristiğinden yararlanılır. Malzemenin akım voltaj değerlerini elde edebilmek için metal-yarıiletken-metal kontaklar oluşturmak gerekmektedir. Kontak malzemesi olarak farklı iş fonksiyonuna sahip metaller kullanılmaktadır. İki metal kontağa sahip yarıiletken malzeme için, ampermetre ve güç kaynağından oluşan basit bir elektrik devresi kullanılarak kontaklar arası uygulanan voltaja karşılık akım değerleri ölçülür. Bu ölçümlerin alınmasında genellikle iki uç, Van der Pauw ve dört nokta uç gibi deneysel teknikler kullanılmaktadır. İki uç tekniği genelde yüksek öz dirence sahip yarıiletkenlerin öz dirençlerinin veya iletkenliklerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu teknikte düşük voltajlarda çalışmak daha sağlıklı sonuçlar verir. [5]

Bir malzemenin elektriksel iletkenliğini etkileyen diğer bir faktör ise sıcaklıktır. Bunun için öncelikli olarak serbest yük taşıyıcı konsantrasyonunun ve mobilitenin sıcaklığa nasıl bağlı olduğunun bilinmesi gerekir. Yarıiletkenlerde sadece mutlak sıfırdan yüksek sıcaklıklarda serbest yük taşıyıcıları oluşur ve elektriksel iletkenlik söz konusu olur.

Saf yarıiletkenlerde, serbest elektron ve hol konsantrasyonu sıcaklığa bağlıdır ve ısıl örgü titreşimlerinin enerjisi, valans bandından iletim bandına bir elektron geçmesi için yeteri derecede yüksektir. Serbest yük taşıyıcı konsantrasyonu, daha yüksek sıcaklıklarda eksponansiyel olarak hızlı bir şekilde artar. Yarıiletken yasak enerji aralığının belirlenmesi

için, yük taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığın tersine göre çizilen değişim grafiğinin eğiminden faydalanılır [5]

Katkılı yarıiletkenler için de serbest yük taşıyıcı konsantrasyonu sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Şekil 5.113.a ve b de n-tipi bir yarıiletken için, sırasıyla taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığın tersine göre değişiminin şematik gösterimi ve yük geçişleri verilmektedir. [5]



Şekil 5.113 a) Taşıyıcı konsantrasyonunun sıcaklığın tersine göre değişiminin şematik gösterimi b) Yük geçişleri

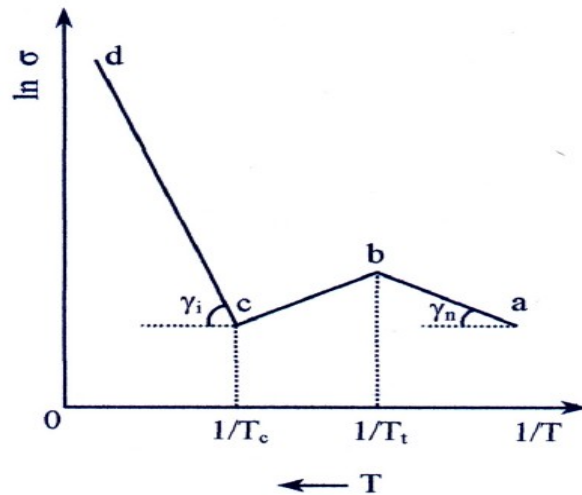
Mutlak sıfır sıcaklığına yakın değerlerde, katkılı yarıiletkenin iletim bandında hiçbir yük taşıyıcısı yoktur. n-tipi yarıiletkende sıcaklık arttırılmaya başlandığında, iletim elektronları saf iletimi meydana getiren elektronlardan daha önce oluşur. Çünkü donör seviyesinden iletim bandına bir elektronun çıkması için gereken enerji valans bandından iletim bandına bir elektron çıkması için gerekli enerjiden daha küçüktür. Donör seviyesinden iletim bandına bir elektronun geçişi, Şekil 5.113 de I ile gösterilmiştir. Sıcaklık daha fazla arttırıldığı zaman; iletim bandına çıkan safsızlık elektronlarının sayısı artarken, donör seviyelerinde bulunan elektronların sayısı azalır ve safsızlık seviyesi tükenmeye başlar. Tükenme sıcaklığı olarak tanımlanan belli bir T_t sıcaklığında, donör seviyesindeki hemen hemen bütün elektronlar iletim bandına geçerler ve bu durum Şekil 5.113.a' da a-b bölgesi ile temsil edilmektedir. Tükenme sıcaklığından daha büyük bir sıcaklık aralığında ise serbest elektronların sayısı hemen hemen sabit olur ve bu durum Şekil 5.113.a' da b-c bölgesi ile gösterilmektedir. Bu durum, safsızlık seviyelerinin tamamen tükenmesinden ve ısıl örgü titreşimlerinin enerjisinin valans elektronlarını

uyarmak için yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. Sıcaklık artışı devam ettiğinde; Şekil 5.113.b' de II ile gösterildiği gibi, valans bandından iletim bandına çok sayıda elektron geçişi olacaktır. Bu durumda, katkı atomlarının taşıyıcı yoğunluğunda bir artış olmayacağından iletim bu bölgede yarıiletkenin yapısal özelliği olan saf iletkenlik şeklinde olur. T_c sıcaklığı, yüksek katkılı ve geniş yasak enerji aralıklı yarıiletkenlerde daha büyük olmaktadır [5]

Bir yarıiletkenin elektriksel iletkenliği, yüksek sıcaklıklarda ve düşük sıcaklıklarda sırasıyla yasak enerji aralığına ve aktivasyon enerjisine bağlı olarak ifade edilen iki terimden oluşur ve

$$\sigma_{top} = \sigma_{oi} \exp(-E_g/2k_B T) + \sigma_{oe} \exp(-E_a/k_B T) \quad (5.8)$$

Denklemleri ile ifade edilir. Burada σ_{oi} ve σ_{oe} sıcaklığa zayıf olarak bağlı sabitleri, E_g yarıiletkenin yasak enerji aralığını ve E_a ise safsızlık atomlarının aktivasyon enerjisini göstermektedir. Burada birinci terim yüksek sıcaklıklarda baskın olan saf iletkenliği ve ikincisi ise düşük sıcaklıklarda baskın olan katkılı iletkenliği göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak herhangi bir terim ihmal edildiğinde, bu eşitlik hem E_g hem de E_a 'nın belirlenmesi için kullanılır. Şekil 5.114.de iletkenliğin sıcaklığın tersine göre değişim grafiği şematik olarak verilmektedir. Grafiğin a-b ve c-d bölgelerinin eğimleri (γ_n ve γ_i) kullanılarak, sırasıyla safsızlık atomlarının aktivasyon enerjisi ve yarıiletkenin yasak enerji aralığı hesaplanabilir [5]

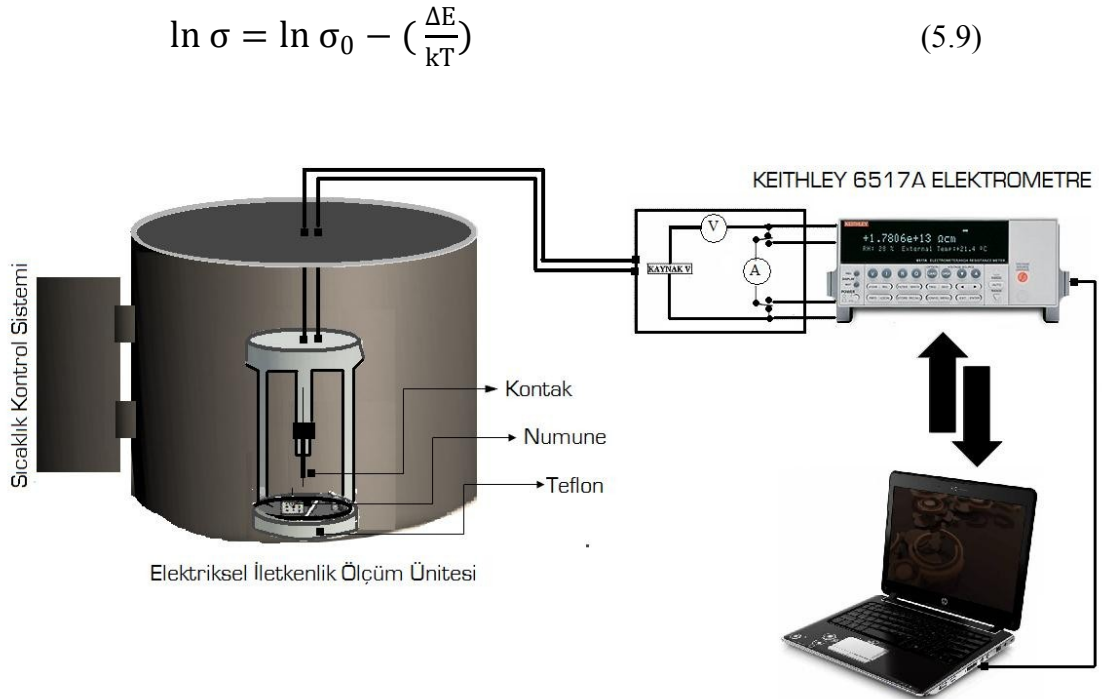


Şekil 5.114. İletkenliğin sıcaklığın tersine göre değişiminin şematik gösterimi

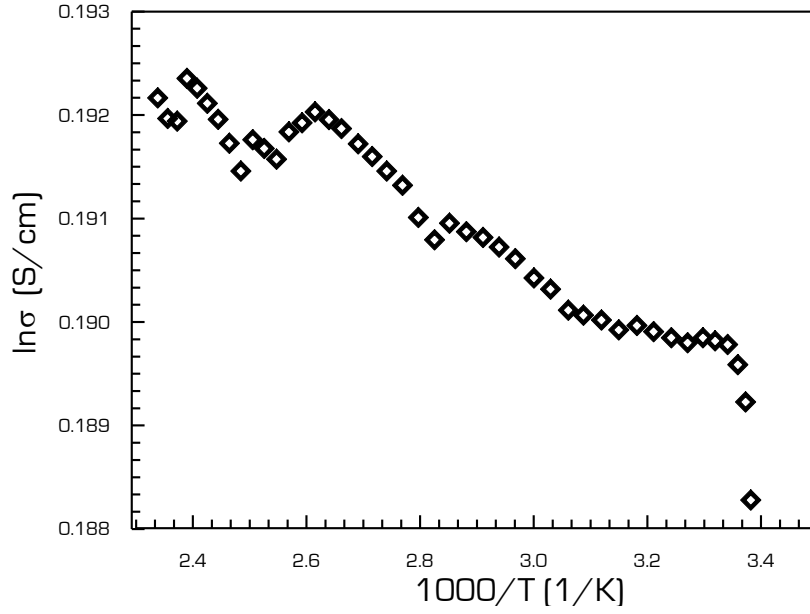
Şekil 5.114' deki b-c bölgesinde, sıcaklık arttırılmasına rağmen iletkenlik azalmaktadır. Bu bölge hemen hemen bütün safsızlık atomlarının iyonlaşmış olduğunu ve ısıt titreşim enerjisinin saf iletkenliği oluşturmak için yeterli olmadığını gösterir. Tükenme bölgesi olarak adlandırılan bu bölgede artan sıcaklığa bağlı olarak taşıyıcı konsantrasyonu hemen hemen sabit kalmaktadır. Fakat ısıt örgü titreşimlerinden dolayı mobilite azaldığı için, buna bağlı olarak iletkenlik de azalmaktadır [5]

5.5.2 Üretilen Yarıiletken Numunelerin Sıcaklığa Bağlı İletkenlik Ölçümleri ve Aktivasyon Enerjileri

Üretilen yarıiletken numunelerin iletkenliklerinin sıcaklığa göre değişimi karanlık bir ortamda 0,5-5 V akım uygulanarak 300-433 K aralığında sıcaklık değerleri uygulanarak alınmıştır. Numunelerin sıcaklığa bağlı akım değerlerinin ölçülmesinde KEITHLEY 6517A elektrometresi kullanılmıştır. Ölçümlerin alındığı deney düzeneği Şekil5.115. da verilmiştir. Elde edilen değerler formül 5.9 de yerine koyularak hesaplamalar yapılmış ve buna bağlı olarak tüm numuneler için $\ln\sigma-1000/T$ değişim grafikleri çizilmiş ve donör seviyesine karşılık gelen aktivasyon enerjileri saplanmıştır.

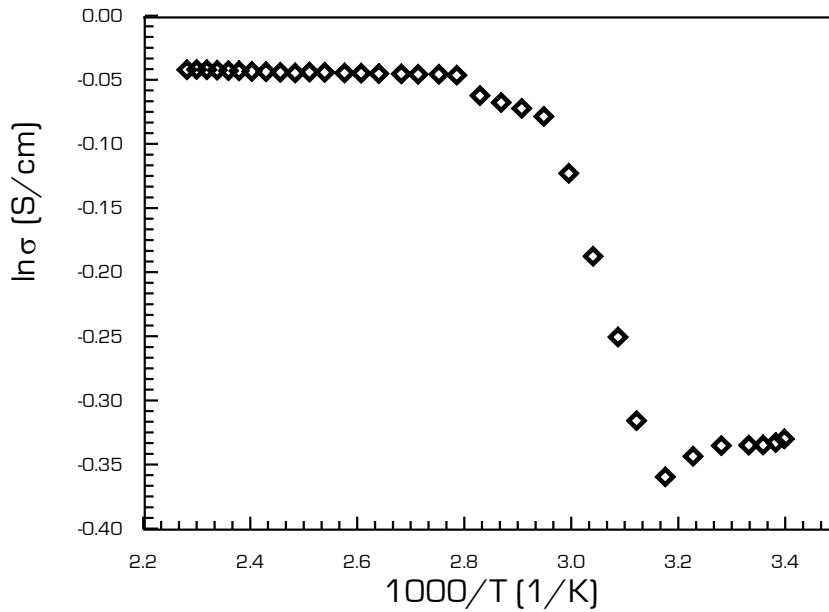


Şekil 5.115. Sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümü için hazırlanan deney düzeneği

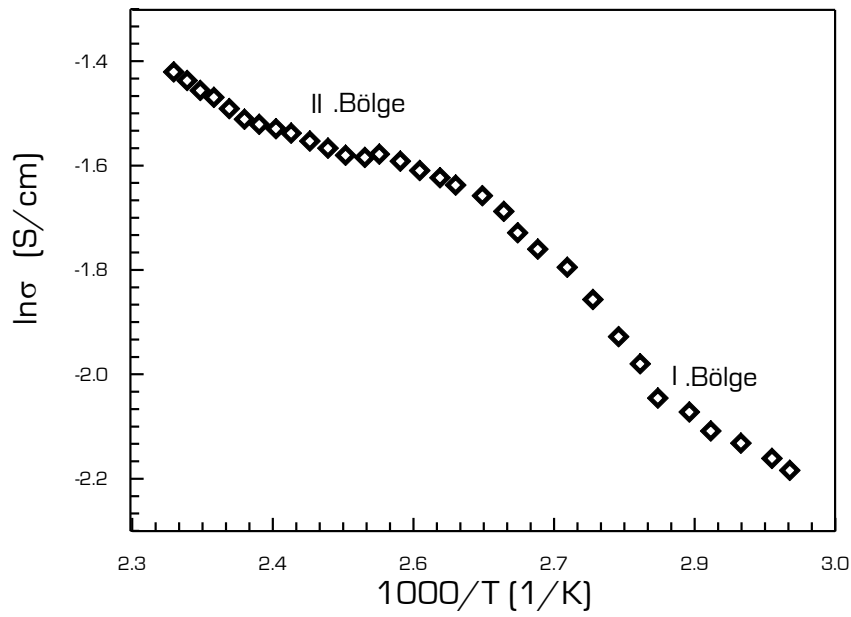


Şekil 5.116. Katkısız CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

400°C de ısıl işlem görmüş katkısız CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil5.116. da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Numunenin iletkenlik mekanizması taşıyıcı yüklerin termal uyarılmasıyla meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla iletkenlikte keskin bir artış meydana gelmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 0,24 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.

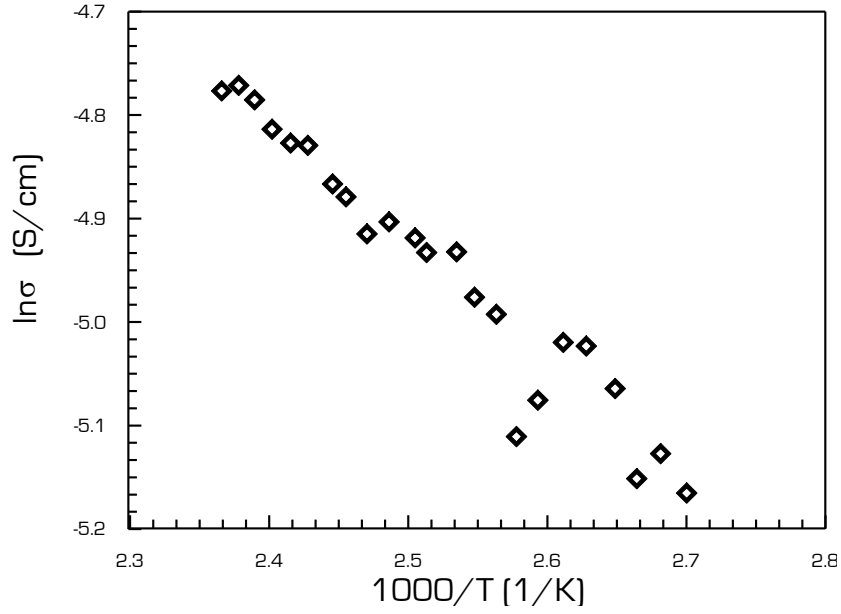


400°C de ısıtılmış molce %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil5.117. de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Numunenin iletkenlik mekanizması taşıyıcı yüklerin termal uyarılmasıyla meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla ilk önce iletkenlikte az da olsa bir düşüş ve ardından keskin bir artış meydana gelmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 5,53 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



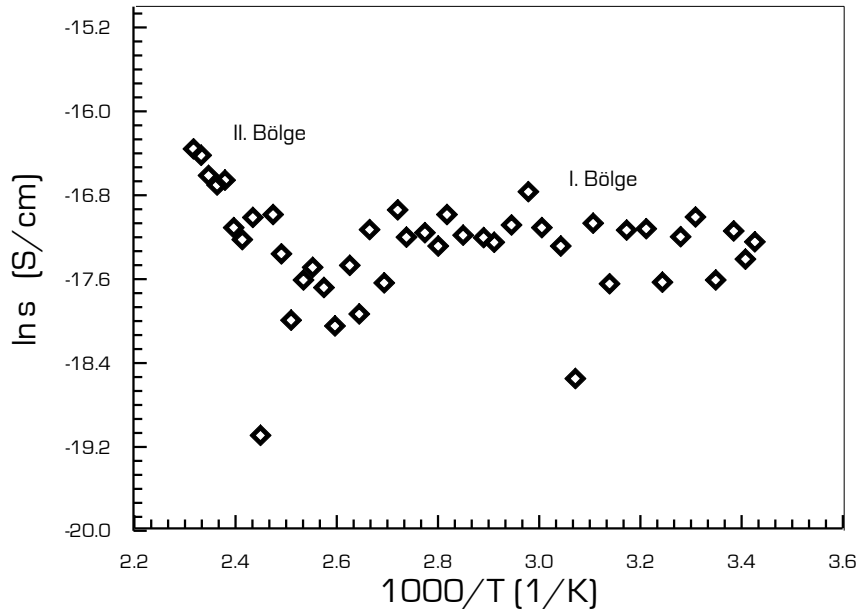
Şekil 5.118. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

400°C de ısıtılmış molce %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil5.118. da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde ani bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 138,69 meV, II. Bölge için ise 62,27 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.

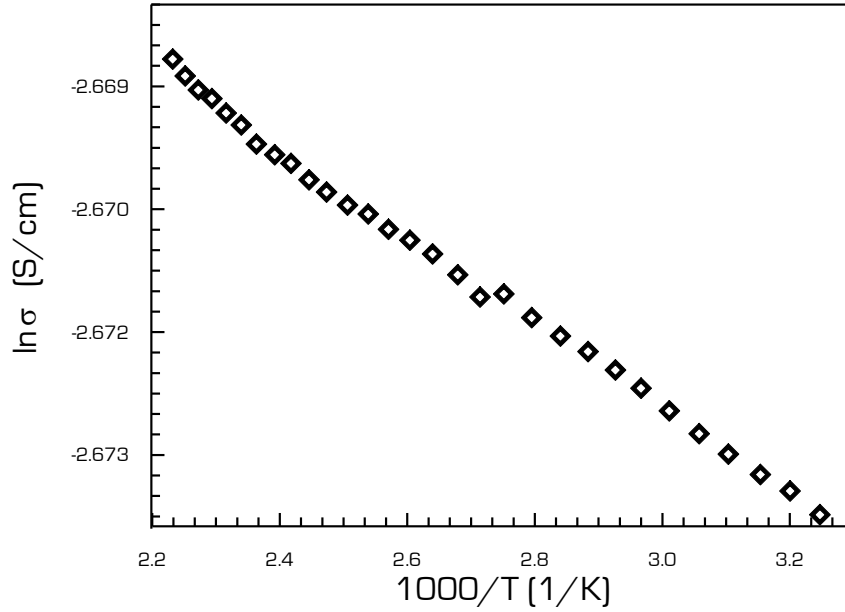


Şekil 5.119. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği

400°C de ısıtılma işlemi görmüş molce %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.119. da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Numunenin iletkenlik mekanizması taşıyıcı yüklerin termal uyarılmasıyla meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla bir artış meydana gelmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 100,13 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.

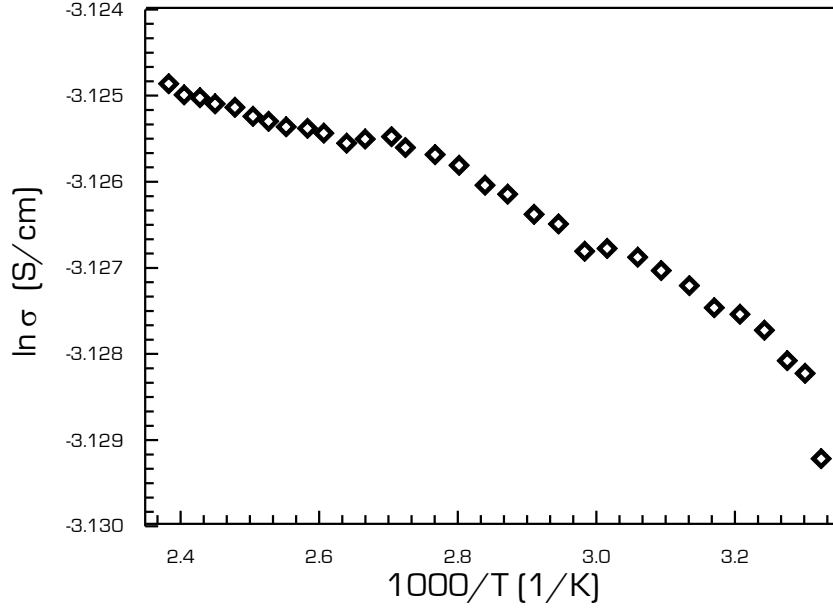


400°C de ısıtılmış molce %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği Şekil5.120. da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde az da olsa bir düşüş meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede iletkenlik artmaya başlamıştır. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 41,42 meV , II. Bölge için ise 474,52 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



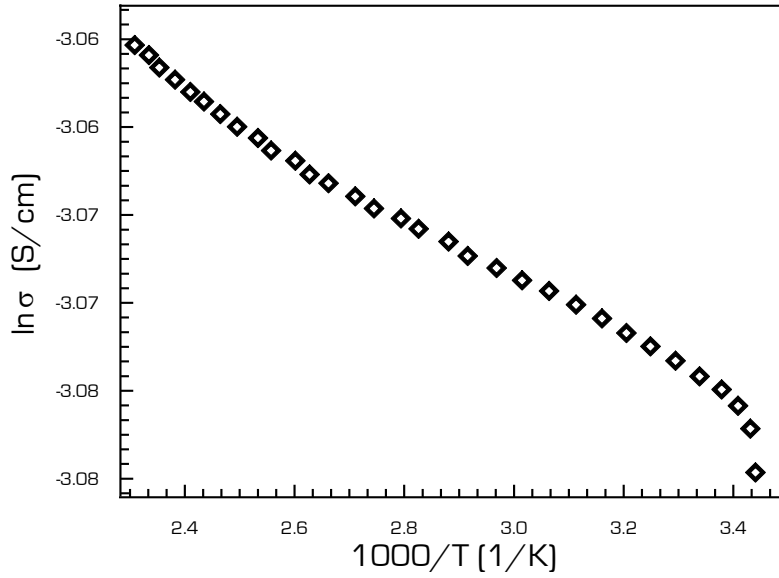
Şekil 5.121. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma -1000/T$ grafiği

400°C de ısıtılmış molce %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği Şekil5.121. da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Numunenin iletkenlik mekanizması taşıyıcı yüklerin termal uyarılmasıyla meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla iletkenlikte bir artış meydana gelmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 0,44 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



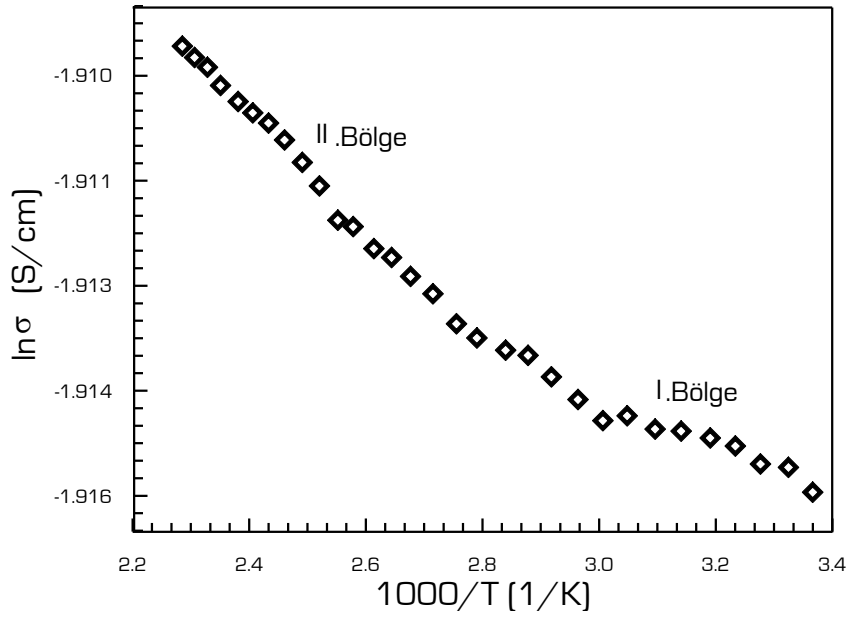
Şekil 5.122. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma - 1000/T$ grafiği

400°C de ısıtılmış molce %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma - 1000/T$ grafiği Şekil 5.122. de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Numunenin iletkenlik mekanizması taşıyıcı yüklerin termal uyarılmasıyla meydana gelmektedir. Sıcaklığın artmasıyla iletkenlikte önce keskin bir artış meydana gelmiştir. Sıcaklık artışının devam etmesiyle iletkenliğin de lineer olarak arttığı gözlenmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 0,30 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



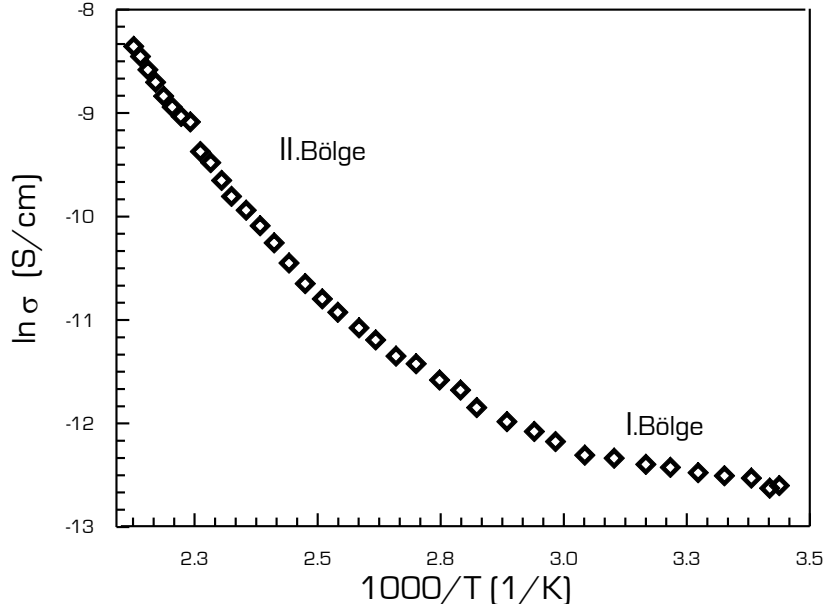
Şekil 5.123. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma - 1000/T$ grafiği

400°C de ısıtılmış molce %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği Şekil 5.123. de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla iletkenlikte önce keskin bir artış meydana gelmiştir. Sıcaklık artışının devam etmesiyle iletkenliğin de lineer olarak arttığı gözlenmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 1,53 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



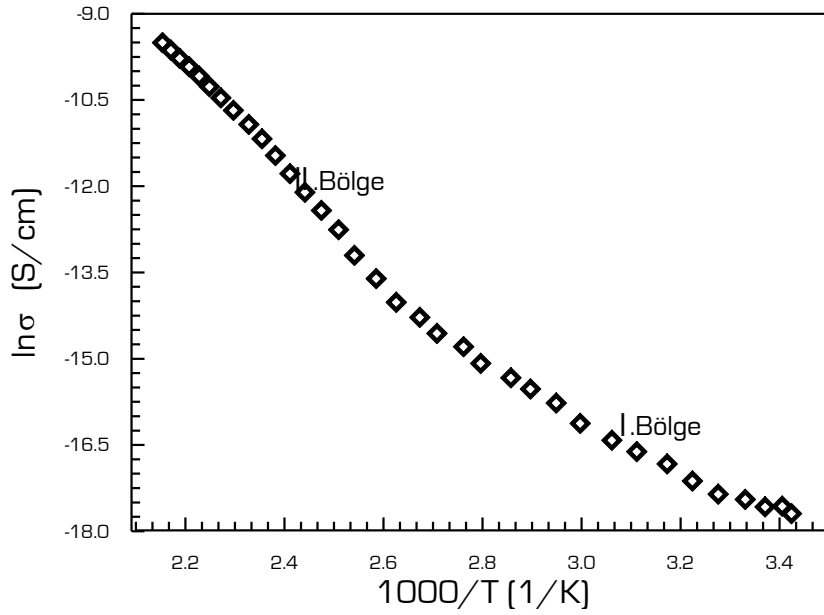
Şekil 5.124. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği

400°C de ısıtılmış molce %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği Şekil 5.124. da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış devam etmiştir. Bu bölgedeki iletkenliğin I.Bölgeye kıyasla daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 0,29 meV, II. Bölge için ise 0,72 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



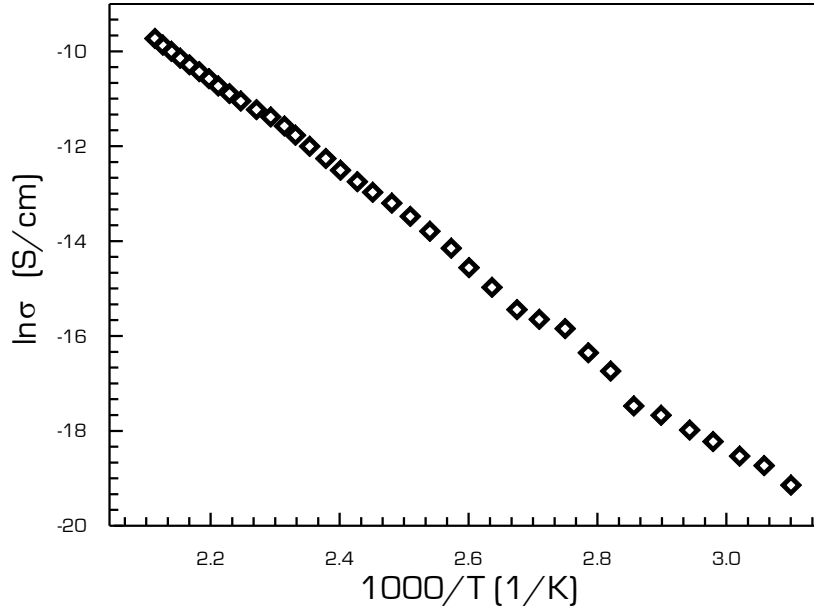
Şekil 5.125. Katkısız ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ - $1000/T$ grafiği

1100°C de ısıtılmış katkısız ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ - $1000/T$ grafiği Şekil 5.125. de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 141,70 meV, II. Bölge için ise 151,71 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



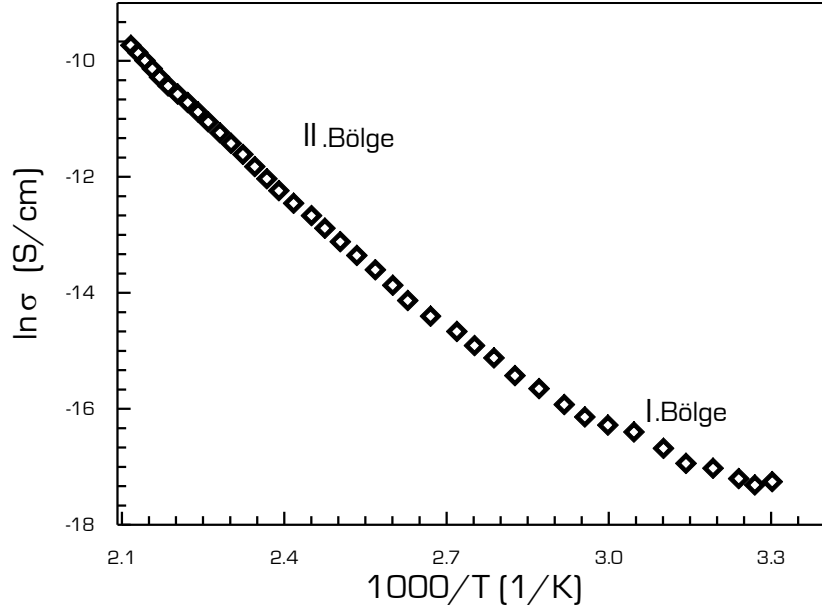
Şekil 5.126. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ - $1000/T$ grafiği

1100°C de ısıt işlem görmüş molce %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.126.'da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 379,48 meV, II. Bölge için ise 820,36 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



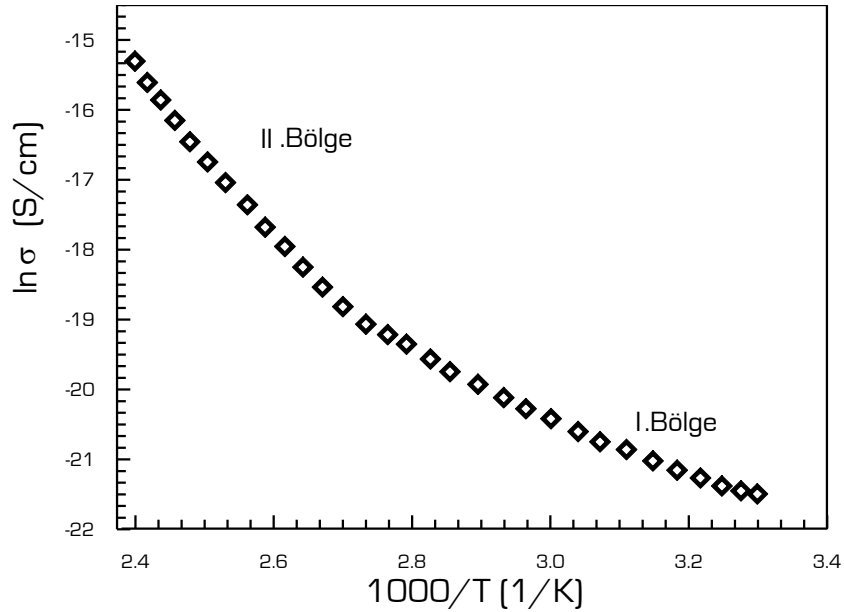
Şekil 5.127. %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

1100°C de ısıt işlem görmüş molce %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.127. de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede tek bir iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla iletkenlikte bir artış meydana gelmiştir. Sıcaklık artışının devam etmesiyle iletkenliğin de lineer olarak arttığı gözlenmiştir. İletken bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 840,06 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



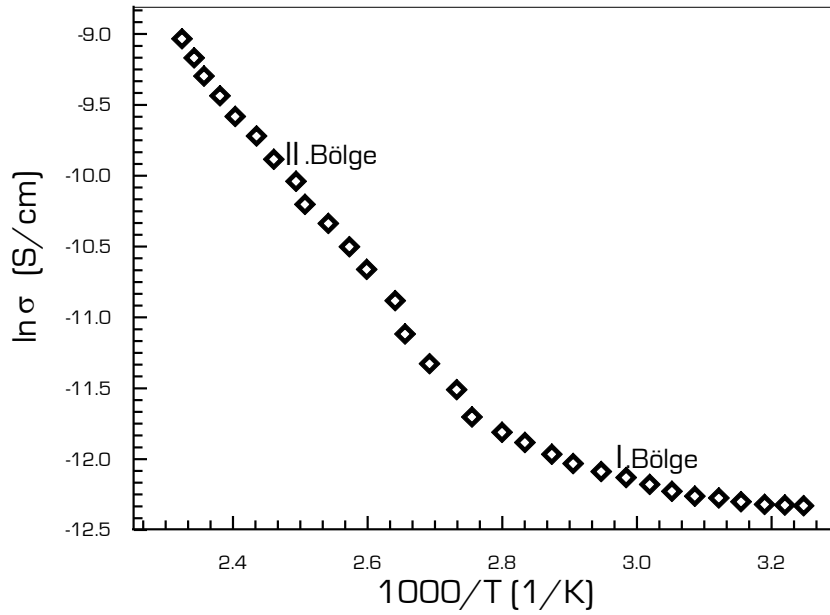
Şekil 5.128. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği

1100°C de ısıtılmış molce %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.128.'da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 396,73 meV, II. Bölge için ise 722,32 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



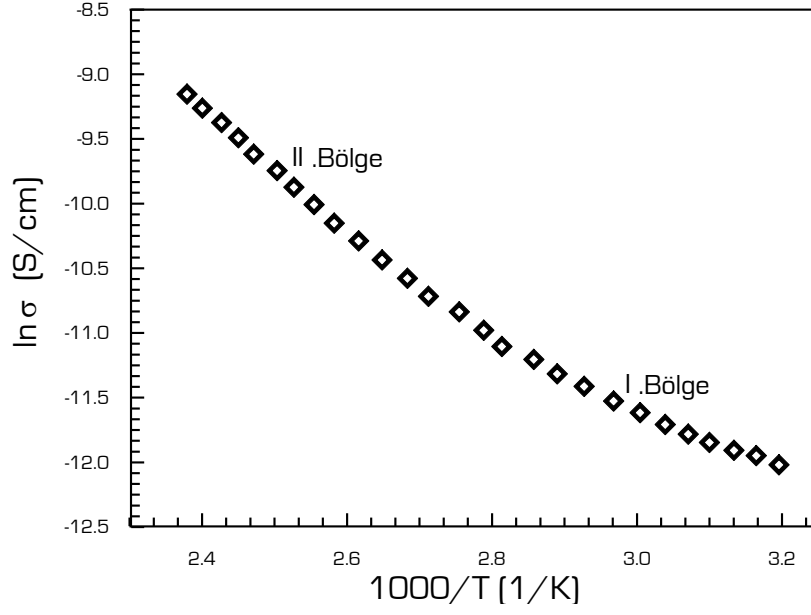
Şekil 5.129. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği

1100°C de ısıtılmış molce %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği Şekil 5.129.'da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış daha keskin bir biçimde devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 380,5 meV, II. Bölge için ise 996,67 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



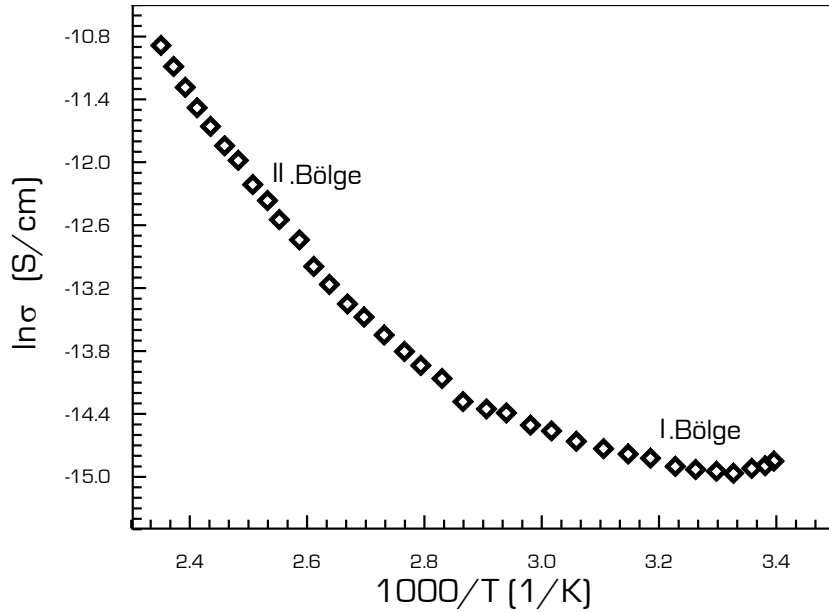
Şekil 5.130. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği

1100°C de ısıtılmış molce %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma-1000/T$ grafiği Şekil 5.130.'da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış daha keskin bir biçimde devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 95,21 meV, II. Bölge için ise 511,68 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



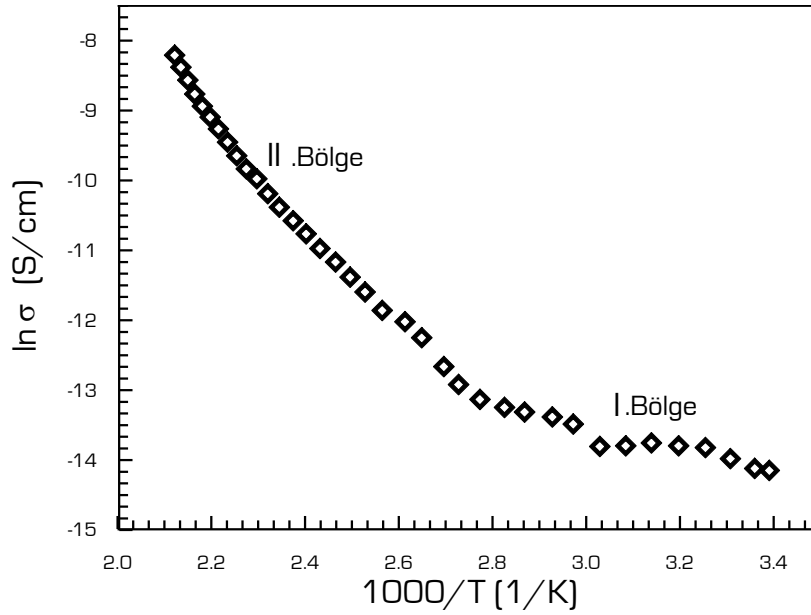
Şekil 5.131. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği

1100°C de ısıtılmış molce %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.131.'da verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış daha keskin bir biçimde devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 208,61 meV, II. Bölge için ise 392,41 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



Şekil 5.132. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln \sigma$ -1000/T grafiği

1100°C de ısıtılmış molce %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.132.'de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış daha keskin bir biçimde devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 124,55 meV, II. Bölge için ise 596,81 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.



Şekil 5.133. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği

1100°C de ısıtılmış molce %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numunesinin $\ln\sigma$ -1000/T grafiği Şekil 5.133.'de verilmiştir. Görüldüğü gibi numunede iki farklı iletkenlik mekanizması meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla I.Bölgede iletkenlik değerinde bir artış meydana gelmiş ve sıcaklığın artmasıyla birlikte II. Bölgede de bu artış daha keskin bir biçimde devam etmiştir. I.bölge için aktivasyon enerjisi, grafiğin eğiminden 127,83 meV, II. Bölge için ise 628,15 meV olarak hesaplanıp Tablo 5.21. de verilmiştir.

Tablo 5.21. Üretilen numunelerin Aktivasyon enerjileri

NUMUNE	AKTİVASYON ENERJİSİ (ΔE) (meV)	
	I.bölge için aktivasyon enerjisi (ΔE_1) (meV)	II. bölge için aktivasyon enerjisi (ΔE_2) (meV)
Katkısız CdO	0,24	
%5 Fe katkılı CdO	5,53	
%10 Fe katkılı CdO	138,69	62,27
%15 Fe katkılı CdO	100,13	
%20 Fe katkılı CdO	41,42	474,52
%5 Al katkılı CdO	0,44	
%10 Al katkılı CdO	0,30	
%15 Al katkılı CdO	1,53	
%20 Al katkılı CdO	0,29	0,72
Katkısız ZnO	141,70	151,71
%5 Fe katkılı ZnO	379,48	820,36
%10 Fe katkılı ZnO	840,06	
%15 Fe katkılı ZnO	396,73	722,32
%20 Fe katkılı ZnO	380,50	996,67
%5 Al katkılı ZnO	95,21	511,68
%10 Al katkılı ZnO	208,61	392,41
%15 Al katkılı ZnO	124,55	596,81
%20 Al katkılı ZnO	127,83	628,15

6 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Sol-Jel yöntemi ile Çinko Asetat ve Kadmiyum Asetat içine artan oranlarda demir klorid ve alüminyum nitrat ilavesi yapılarak oluşan metal oksit katkı yarıiletken numunelerin optiksel, elektriksel ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerine katkı oranlarının ve sıcaklığın etkisi araştırıldı.

Üretilen numunelerin x-ışını kırınım spektrumları Brooker marka D8 model x-ışınları kırınım cihazında 1,5406 Å dalga boylu CuK α ışını kullanılarak $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ sınır değerlerinde incelenmiştir. Spektrum üzerindeki piklerin şiddetlerine, yarı pik genişliklerine ve zemin (background) şiddetine bakılarak malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilmiştir. Numunelerin kırınım spektrumları incelendiğinde pik şiddetleri ve genişlikleri arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Şiddetleri büyük ve genişlikleri dar olan piklerde kristallenme iyi, şiddetleri küçük ve genişlikleri büyük olan piklerde kristalleşmenin iyi olmadığı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada elde edilen numunelerin x-ışını kırınım spektrumlarında, piklerin üzerinde ilgili düzlemlerin Miller indisleri belirtilmiştir. Tüm numunelerin kırınım deseninden oluşan bileşiklerin polikristal yapıda olduğu belirlenmiştir.

Numunelerin XRD sonuçlarına göre Katkısız CdO yarıiletken numunenin en yüksek pik şiddetinin (200) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 172 Å olarak hesaplanmıştır. %5 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin (111) düzlemine ait olduğu belirlenmiş ve kristal boyutu 166 Å olarak hesaplanmıştır. Katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı görülmüştür. %10 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin (111) düzlemine ait olduğu saptanmış ve kristal boyutu 168 Å olarak hesaplanmıştır. Katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %5 Fe katkılı CdO taneciklerine göre de arttığı tespit edilmiştir. %15 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin (111) düzlemine ait olduğu belirlenmiştir. kristal boyutu 171 Å olarak hesaplanmıştır. Katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %10 Fe katkılı CdO taneciklerine göre de arttığı tespit edilmiştir. %20 Fe katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin CdFe₂O₄ (311) düzlemine ait olduğu görülmüştür.

Kristal boyutu 153 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız CdO ve %15 Fe katkılı CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. %5 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddeti CdO (200) düzlemine ait olduğu görülmüştür. Kristal boyutu 159 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. %10 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin CdO (111) düzlemine ait olduğu okunmuş kristal boyutu 161 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %5 Al Katkılı CdO tanecikleri ile kıyaslandığında ise kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir. %15 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin CdO (111) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 163 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %10 Al Katkılı CdO tanecikleri ile kıyaslandığında ise kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir. %20 Al katkılı CdO yarıiletken numunesinin en yüksek pik şiddetinin CdO (111) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 168 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız CdO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı, %15 Al Katkılı CdO tanecikleri ile kıyaslandığında ise kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Katkısız ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 176 Å olarak hesaplanmıştır. %5 Fe katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait kristal boyutu 196 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir. %10 Fe katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) kristal boyutu 182 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun arttığı, %5 Fe katkılı ZnO taneciklerine göre tanecik boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. %15 Fe katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 240 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO ve %10 Fe katkılı ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun arttığı tespit edilmiştir. %20 Fe katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 190 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO taneciklerine göre artmış, %15 Fe katkılı ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. %5 Al katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu görülmüş ve kristal boyutu 238 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal

boyutu katkısız ZnO taneciklerine göre artmıştır. %10 Al katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu saptanmış ve kristal boyutu 184 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO taneciklerine göre artmış, %5 Al katkılı ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. %15 Al katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu belirlenmiş kristal boyutu 183 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO taneciklerine göre artmış, %5 Al katkılı ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. %20 Al katkılı ZnO yarıiletken numuneye ait en yüksek pik şiddetinin (101) düzlemine ait olduğu kristal boyutu 177 Å olarak hesaplanmıştır. Kristal boyutu katkısız ZnO taneciklerine göre artmış, %15 Al katkılı ZnO tanecikleri ile kıyaslandığında kristal boyutunun azaldığı tespit edilmiştir.

Numunelerin oluşum aşamalarının yapısal özellikleri incelenmiştir. Numune yüzeylerinden görüntü almak için kontak mod da çalışılmış ve buna uygun cantilever kullanılmıştır. Hazırlanan tablet halindeki yarıiletken numunelerin 40µm x 40µm ve 5µm x 5µm boyutlarında görüntüleri alındıktan sonra her bir numune yüzeyinde taranan bölgelerdeki tanelerin ortalama alanları, hacimleri ve büyüklükleri hesaplanmıştır. CdO bileşiğine yapılan Fe ve Al katkılarının genel olarak tane büyüklüğünü düşürdüğü fakat ZnO 'ya yapılan katkının tane büyüklüğünü neredeyse 2 kat artırdığı gözlenmiştir.

Sol-Jel yöntemiyle elde edilen yarıiletken numunelerin oda sıcaklığında temel absorpsiyon spektrumları 200-1000 nm tarama bölgesinde elde edilmiştir. Fe ve Al katkılı CdO ve ZnO yarıiletken numunelerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinde optik absorpsiyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde Elde edilen yarıiletken numunelerin $h\nu$ 'ye karşı $(\alpha h\nu)^n$ grafikleri çizilmiştir Grafiğin lineer olduğu kısma karşı gelen doğrunun $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^n = 0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri o materyalin yasak enerji aralığı değerini verir. n değeri 2 ise materyal dolaylı band aralığına sahiptir, n değeri $\frac{1}{2}$ ise materyal doğrudan band aralığına sahiptir. Elde edilen grafiklerde n yerine $\frac{1}{2}$ konulduğunda en iyi lineerlik belirlenmiştir. Böylece yarıiletken numunelerin direkt band geçişine sahip oldukları belirlenmiştir. CdO içine yapılan tüm katkılama materyallerinin yasak enerji aralığını yükselttiği, ZnO içine katılan Fe'nin yasak enerji aralığını düşürdüğü Al katkısının ise yükselttiği gözlemlenmiştir.

Üretilen yarıiletken numunelerin iletkenliklerinin sıcaklığa göre değişimi karanlık bir ortamda 0,5-5 V akım uygulanarak 300-433 K aralığında sıcaklık değerleri uygulanarak

alınmıştır. Elde edilen değerlerle hesaplamalar yapılmış ve buna bağlı olarak tüm numuneler için $\ln\sigma-1000/T$ değişim grafikleri çizilmiş ve donör seviyesine karşılık gelen aktivasyon enerjileri saplanmıştır. CdO 'e Fe katkısının aktivasyon enerjisini artırdığı, Al katkısının ise azalttığı, ZnO' e yapılan Fe katkılamanın aktivasyon enerjisini artırdığı, Al katkısının ise azalttığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kırmızıgül, F.**, 2008. CdO İnce filmlerin püskürtme yöntemi ile hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [2] **Bilgen, Y.**, 2008. Sol-gel yöntemiyle üretilen nanokristal ZnO:Ga ince filmlerinin optik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [3] **Akyüz, İ.**, 2005. CdO filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Al katkılama ve tavlama işlemlerinin etkileri, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [4] **Dinek, T.**, 2006. CdO yarıiletken bileşiğinin spray pyrolysis yöntemi ile elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [5] **Demir, M.**, 2005. SnO₂ filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine taban sıcaklığının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [6] **Şener, D.**, 2006. Sol-gel yöntemiyle hazırlanan metal oksit ince filmlerin elektriksel, yapısal ve optiksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [7] **Akyüz, H.**, 2008. Sol-gel yöntemiyle hazırlanan seramik ince filmlerin dielektrik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [8] **Palalı, E.**, 2005. Sol-gel yöntemiyle indiyum kalay oksit (ITO) ince film üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [9] **Karakız, M.**, 2008. Farklı çözeltiler kullanılarak üretilen ZnO ince filmlerinin yapısal ve optik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [10] **İrmak, S.**, 2006. Flor katkılı CdO yarıiletken bileşiğinin spray pyrolysis yöntemi ile elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- [11] **Kaya, T.**, 2006. Sol-gel yöntemi ile $ZrO_2-Al_2O_3$ seramik kompozit oksit üretim karakterizasyonu ve ZrO_2 'nin parametrik etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] **Demirci, B.**, 2006. İndiyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [13] **Çörekçi, S.**, 2008. Grup III-V bileşik yarıiletkenlerde AFM yüzey karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14] **Şişman İ.**, 2006. CdS, CdSe ve CdTe bileşik yarıiletken ince filmlerinin aynı çözeltiden elektrokimyasal olarak Au(111) elektrodu üzerinde büyütülmesi ve AFM, STM, XRD ve UV-VIS spektroskopisi ile karakterizasyonu, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [15] **Canbay, C.A.**, 2005. Kompozit yarıiletkenlerin termal, elektrik ve optik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [16] **Eren, O.**, 2006. Alüminyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [17] **Aksoy, S.**, 2006. Kalay katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [18] **Tuncel, B.K.**, 2007. Çinko oksit (ZnO)'in mikroyapısal özelliklerine Nikel oksit (NiO)'in etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [19] **Okuyucu, H.**, 2002. Yiterbiyum-Baryum-Bakır oksit süperiletken şeritlerin sol-jel metodu ile üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] **Bulut, G.**, 2005. Sol-gel prosesi ve Zirkonyum Tetrapropoksit'in 3-Pentenoik asit ile kompleksleştirilmesi ve oluşan ürünlerin reaksiyonlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [21] **Taşkın, D.**, 2006. Sol-gel metodu ile hazırlanan metaloksit filmlerin yapısal ve elektriksel karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Aslan, F.**, 2005. Sol-gel metodu ile $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ süperiletken elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

- [23] **Bardakçı, S.**, 2007. Sol-gel yöntemi ile hazırlanan TiO₂ ince filmlerinin optik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [24] **Göktaş, A.**, 2007. Sol-gel metodu ile manyetik film yapımı ve karakterizasyonunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1980 yılında Elazığ'da doğdu. 1997 yılında Elazığ Balakgazi Lisesinden mezun oldu. Yüksek öğrenimini Afyon Kocatepe Üniversitesi Seramik Mühendisliğinden 2004 yılında mezun olarak tamamladı. Halen F.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.