

Radyo Frekansý (RF) Saçtırma Tekniđi Kullanılarak Üretilen ZnO İnce Filmlerin Bazı
Özelliklerinin İncelenmesi

Niyazi Emre Çetin

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Ağustos 2011

Investigation of Some Physical Properties of ZnO Thin Films Produced by Using Radio
Frequency (RF) Sputtering Technique

Niyazi Emre Çetin

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

August 2011

Radyo Frekanslı (RF) Saçtırma Tekniği Kullanılarak Üretilen ZnO İnce Filmlerin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi

Niyazi Emre Çetin

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Enerji ve Plazma Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Naci Ekem

Ağustos - 2011

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Niyazi Emre Çetin'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Radyo Frekansı (RF) Saçtırma Tekniği Kullanılarak Üretilen ZnO İnce Filmlerin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Naci EKEM

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Naci EKEM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat PAT

Üye : Yrd. Doç. Şadan KORKMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Zafer BALBAĞ

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, RF saçırma sistemi kullanılarak çeşitli oksijen konsantrasyonlarda ZnO ince filmler cam alt taş üzerine depolanmıştır. Hedef olarak Zn kullanılmıştır. Reaktif gaz olarak ise yüksek saflıkta O₂ gazı kullanılmıştır. Oluşturulan bu ZnO ince filmlerin bazı optik ve yüzey özellikleri incelenerek, farklı %xAr+%(100-x)O₂ gazı bileşimlerinde özellikleri ve farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

Farklı oksijen konsantrasyonlarda üretilen ZnO ince filmlerin, yapısal özellikleri, kalınlığı, geçirgenliği, kırılma indisi, yasak enerji aralığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey görüntüleri elde edilmesi için x-ışın difraksiyonu (XRD), Uv-vis spektrofotometre, interferometrik ölçüm sistemi, atomik kuvvet mikroskobu kullanılarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, farklı konsantrasyonlarda depolanan ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özelliklerinin oksijen gaz konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: ZnO; RF Saçırma; ZnO ince filmler; optik ve yapısal özellikler

SUMMARY

In this study, ZnO thin films were deposited on glass substrates using RF sputtering system at variously oxygen concentrations. Zn metal plate was used as target material. Also, oxygen was used as reactive gas in high purity. Some optical and surface properties of deposited ZnO thin films were investigated and these properties and differences of the properties of deposited ZnO thin films were tried to determine in %xAr+% (100-x)O₂ gas compositions.

Microstructure properties, thickness, transmittance, refractive index, band gap, roughness and surface image of the ZnO thin films in various oxygen concentrations were investigated by x-ray diffraction (XRD), Uv-vis spectrophotometer, interferometric measurement system, atomic force microscopy (AFM).

Survey the obtained data shown that some physical properties of the ZnO thin films in various concentrations depend on oxygen concentrations.

Keywords: ZnO, RF sputtering, ZnO thin films, optic and structural properties

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren, ulusal ve uluslar arası bilimsel aktivitelerde yer almamız için her türlü imkânı sağlayan, engin bilgi birikimini ve deneyimlerini bizlerden esirgemeyerek bizimle paylaşan danışmanım, çok değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Naci EKEM' e teşekkür ederim.

Deneysel ve teorik çalışmalarında esnasında her türlü yardım, ilgi, bilgi ve arkadaşlıklarını esirgemeyen çok değerli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat PAT, Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Zafer BALBAĞ, Sayın Yrd. Doç. Dr. Şadan KORKMAZ' a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında bana yardım eden çok değerli arkadaşlarım, Sayın Sinan TEMEL, Sayın Saliha ELMAS, Sayın Murat NEBİ' ye teşekkür ederim.

Zor günlerimde beni destekleyen ve yanımda olan, yıllarca aynı evi paylaştığım canım kardeşim, dostum Sayın Murat ÖZMUMCU' ya sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca benden dostluğunu hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Mehmet BALKIR' a, iyi ve kötü günümde hep yanımda olan ve bana her konuda destek olan çok sevdiğim ve değer verdiğim Sayın Tuğba ALP' a ve burada isimlerini veremediğim değerli dostlarıma çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, bana her türlü desteği veren ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, biricik canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Niyazi Emre ÇETİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVIII
1.BÖLÜM: GİRİŞ.....	1
2.BÖLÜM: ÇİNKOOKSİT (ZnO) BİLEŞİĞİ	3
2.1 II-VI Bileşikleri	3
2.2 Çinkooksit (ZnO) Bileşiğinin Özellikleri, Kullanım Alanları ve Yapısı	4
3.BÖLÜM: İNCE FİLM.....	7
3.1 İnce Film Oluşum Şekilleri	7
3.2 İnce Filmlerin İleri Teknoloji Malzemelerindeki Yeri ve Önemi.....	10
4.BÖLÜM: İNCE FİLM KAPLAMA TEKNİKLERİ	12
4.1 Saçtırma (Sputtering)	12
4.1.1 Saçtırma Teknikleri	15
4.1.1.1 Radyo Frekansı (RF) Saçtırma Tekniği.....	17
4.2 Termal Buharlaştırma Tekniği	19
4.3 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği	21
4.4 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapor Deposition,CVD)..	24
4.5 Moleküler Demetli Epitaksi Tekniği(Moleculer beam Epitaxy, MBE).....	25

İÇİNDEKİLER (devam)

4.6 Termiyonik Vakum Ark (TVA).....	27
5.BÖLÜM: ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE CİHAZLARI	29
5.1 UV-Vis Spektrometre Cihazı	29
5.2 İnterferometrik Ölçüm Cihazı.....	30
5.3 İnce Film Kalınlık Ölçer	34
5.4 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).....	35
5.5 X-ışınları difraksiyonu(XRD).....	39
5.6 Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM)	41
5.7 Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy-EDS).....	42
5.8 Spektroskopik Elipsometre	43
6.BÖLÜM: DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLERİ	46
6.1 Giriş	46
6.2 Deneysel Sistem	46
6.3 ZnO İnce Film Üretim Parametreleri	49
6.4 Üretilen ZnO Numunelerinin Analizleri	49
6.4.1 XRD analizleri.....	50
6.4.2 SEM ve EDS analizi.....	56
6.4.3 AFM Analizleri	63
6.4.4 Yüzey Pürüzlükleri Ölçümleri	67
6.4.5 İnterferometrik Metot ile Kalınlık Ölçümleri	68

İÇİNDEKİLER (devam)

6.4.6 UV-ViS geçirgenlik sonuçları	71
6.4.7 ZnO İnce Filmlerinin Yansıma Sonuçları	77
6.4.8 ZnO ince filmlerinin yasak enerji aralıklarının hesaplamaları	83
6.4.9 Spektroskopik elipsometre cihazı kullanılarak ZnO ince filmlerin kalınlık ve kırılma indisi değerlerinin belirlenmesi	89
6.4.10 ZnO İnce Filmlerin Analiz Sonuçları	100
7.BÖLÜM: SONUÇ VE TARTIŞMA	102
8.BÖLÜM: KAYNAKLAR	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 ZnO'in Hekzagonal Yapısı	6
3.1 İnce film büyütme işlemleri (a) adacık (island) tipi , (b) tabaka (layer) tipi ve (c) karışık (Stranski–Krastanov) tip	9
4.1 Saçtırma işleminin şematik gösterimi.....	13
4.2 Saçtırma işleminin basit şematik gösterimi.....	13
4.3 DC saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi.....	16
4.4 Magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi.....	16
4.5 RF saçtırma sisteminin şematik gösterimi.....	17
4.6 RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi.....	18
4.7 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi.....	20
4.8 Termal buharlaştırma sistemin genel şematik gösterimi.....	21
4.9 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi.....	22
4.10 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin vakum odasının şematik gösterimi.....	23
4.11 Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi.....	26
4.12 Termiyonik vakum ark sisteminin şematik çizimi.....	27
5.1 Kullanılan UV-Vis spektrometresi.....	29
5.2 Bir UV-VIS spektrometresinin temel bileşenleri.....	30
5.3 İnterferometre cihazın basit gösterimi.....	31
5.4 Dalgalanma ile kırılma spektrumunun örneği.....	32
5.5 İnce film kalınlık ölçüm cihazı.....	35
5.6 Kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu.....	35
5.7 AFM'in çalışma prensibinin şematik gösterimi.....	37
5.8 Uç-numune arasındaki van der Waals kuvvetinin mesafe ile değişimi.....	37
5.9 XRD saçılma geometrisi (“o” ve “n” sırasıyla numune yüzeyi ve yansıma düzlemleri normal).....	40
5.10 XRD cihazının şematik resmi.....	41
5.11 Elektron mikroskobunda görüntü oluşumunun şematik gösterimi ve görüntü oluşumu için kullanılan optik kolon.....	42
5.12 Işığın bir yüzeyden yansıması.....	44
5.13 Bir ince film üzerine düşürülen ışığın izlediği yol.....	44
5.14 Bir spektroskopik elipsometre cihazının şematik gösterimi.....	45
6.1 RF saçtırma sisteminin fotoğrafı.....	47
6.2 Hedef elektrot.....	48
6.3 RF saçtırma tekniğiyle ZnO ince film üretilirken çekilen bir fotoğraf.....	48
6.4 %10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi....	51
6.5 %20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi....	51
6.6 %30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.7	53
6.8	53
6.9	54
6.10	54
6.11	55
6.12	56
6.13	57
6.14	58
6.15	58
6.16	59
6.17	60
6.18	61
6.19	61
6.20	62
6.21	63
6.22	64
6.23	64
6.24	64
6.25	65
6.26	65
6.27	65
6.28	66
6.29	66
6.30	66

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.31 ZnO ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre yüzey pürüzlülüğü.....	68
6.32 Argon konsantrasyonuna göre ZnO ince filmin üretim oranı grafiği	70
6.33 %10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	71
6.34 %20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	72
6.35 %30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	72
6.36 %40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	73
6.37 %50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	73
6.38 %60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	74
6.39 %80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	75
6.40 %85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	75
6.41 %90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.....	76
6.42 %10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	77
6.43 %20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	78
6.44 %30 - %70 O ₂ Ar konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	78
6.45 %40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	79
6.46 %50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	79
6.47 %60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	80
6.48 %80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	81
6.49 %85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	81
6.50 %90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansıma grafiği.....	82
6.51 %10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.52	%20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 84
6.53	%30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 84
6.54	%40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 85
6.55	%50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 85
6.56	%60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 86
6.57	%80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 86
6.58	%85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 87
6.59	%90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği..... 87
6.60	ZnO ince filmlerin Ar konsantrasyonuna göre yasak enerji aralığı grafiği... 88
6.61	%10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi..... 90
6.62	%10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği..... 91
6.63	%20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi..... 91
6.64	%20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği..... 92
6.65	%30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi..... 92
6.66	%30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği..... 93
6.67	%40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi..... 93
6.68	%40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği..... 94
6.69	%50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi..... 94
6.70	%50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği..... 95
6.71	%60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi..... 95
6.72	%60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği..... 96

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.73 %80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.....	96
6.74 %80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.....	97
6.75 %85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.....	97
6.76 %85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.....	98
6.77 %90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.....	98
6.78 %90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.....	99
6.79 Üretilen ZnO ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre $\lambda=550\text{nm}$ deki kırılma indisi değerleri.....	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bazı II-VI bileşiklerine ait yasak enerji aralığı değerleri ve iletkenlik türleri.....	4
2.2 ZnO' in bazı fiziksel parametreleri.....	6
4.1 Reaktif saçtırma tekniğiyle depolanan tipik bileşikler.....	15
6.1 Deneysel parametreler.....	49
6.2 %10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu.....	56
6.3 %20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu.....	57
6.4 %30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu.....	58
6.5 %40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu.....	59
6.6 %50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu.....	60
6.7 % 60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu....	60
6.8 % 80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu....	61
6.9 % 85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu....	62
6.10 % 90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu....	63
6.11 ZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri.....	67
6.12 Filmetrics F ₂₀ İnterferometrik ölçüm cihazıyla ölçülen kalınlık değerleri....	69
6.13 Elde edilen ZnO ince filmin gaz konsantrasyonuna göre hesaplanan üretim oranı.....	70
6.14 ZnO ince filmlerin farklı Ar ve O ₂ konsantrasyonlarındaki yasak enerji aralıkları.....	88
6.15 %10 Ar - %90 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	90
6.16 %20 Ar - %80 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.17 %30 Ar - %70 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	92
6.18 %40 Ar - %60 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	93
6.19 %50 Ar - %50 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	94
6.20 %60 Ar - %40 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	95
6.21 %80 Ar - %20 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	96
6.22 %85 Ar - %15 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	97
6.23 %90 Ar - %10 O ₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.....	98
6.24 ZnO ince filmlerin ($\lambda=550\text{nm}$) kırılma indisi değerleri.....	99
6.25 ZnO ince filmlerin üretim parametreleri ve ölçüm sonuçları.....	101
7.1 Üç farklı metotla ölçülen ya da hesaplanan kalınlık değerleri.....	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Ω	Ohm
Ψ	Pisi
θ	Teta açısı
α	Alfa açısı
ν	Frekans
Δ	Delta
μ	Mikron
μm	Mikrometre
λ	Dalga boyu
A_n, B_n, C_n	Cauchy hesaplama parametreleri
a, b, c	Örgü parametreleri
AC	Alternatif Akım
Ar	Argon
cm	Santimetre
cm^3	Santimetreküp
DC	Doğru Akım
dk	dakika
E_g	Yasak enerji aralığı
eV	Elektrovolt
h	Planck sabiti
Hz	Hertz
k	Sönüm katsayısı
kV	Kilovolt
m	Metre
mb	Milibar
mm	Milimetre
MHz	Megahertz

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

mT	Militesla
n	Kırılma indisi
N	Newton
nm	Nanometre
P	Basınç
Si	Silisyum
T	Geçirgenlik
V	Volt
Zn	Çinko
ZnO	Çinkooksit
W	Watt

Açıklama

Kısaltmalar

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
CVD	Kimyasal Buhar Depolama
EDS	Elektron difraksiyon spektroskopisi
et al.	Ve diğerleri
LED	Işık yayan diyot
MBE	Moleküler Demetli Epitaksi
OHO	Ortalama Hata Oranı
RF	Radyo Frekansı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
STM	Scanning Tunneling Microscope
TEM	Tunneling Electron Microscope
TVA	Termiyonik Vakum Ark
UV	Ultraviyole
vb.	Ve benzeri

Açıklamalar

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile beraber yarıiletken ince filmler günümüz ileri teknolojinin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Bu yüzden saf yarıiletken olan silisyuma alternatif olarak bileşik yarıiletken olarak bilinen III-V grubu yarıiletkenler ve II-VI yarıiletkenler kullanılmaya başlanmıştır.

II-VI grubu yarıiletken bileşiklerinin bazıları Kadmiyum oksit(CdO), Kadmiyum sülfür(CdS), Çinko oksit(ZnO) ve Çinko sülfür(ZnS)'dür. Yasak enerji aralığı 1,7-4 eV olan bu bileşikler elektrik ve optik özelliklerinden dolayı güneş pillerinde, lazer yapımında, piezoelektrik aygıtlarda, çeşitli diyotlarda, vb... bir çok alanda kullanılmaktadırlar (Fahrenbruch,1977; Eren, 2006). ZnO oksit ise diğer II-VI bileşiklerine göre; optiksel ve elektriksel özellikleri, doğada çok fazla bulunması ve buna bağlı olarak da çok düşük fiyatlı bir materyal olması nedeniyle, II-VI bileşikleri arasında en fazla tercih edilen materyallerden biridir.

Ayrıca ZnO, hem mikroelektronik hem de optoelektronik aletlerde, pek çok uygulama için çok uygun bir materyaldir. Çünkü ZnO oda sıcaklığında yaklaşık 3,3 eV luk direkt band geçişli yasak enerji aralığına sahip bir yarıiletken oksittir (Bourguine ve ark., 2002; Aksoy, 2006). ZnO ince filmler kendi doğalarından dolayı n-tipi yapıya sahiplerdir. p-tipi ZnO ince film elde etmek için n-tipi ZnO ince filmleri katkılama gerekir.

ZnO, UV ışınını absorbe ederek band geçişlerini gerçekleştirir. Bu özelliğinden dolayı TCO (saydam iletken oksit) ince film olarak kullanılabilirler. ZnO, piezoelektrik aygıtlarda, fototermal dönüşüm sistemlerinde, gaz sensörü cihazlarında ve optiksel görüş sensörlerinde kullanılmaktadır (Ashour et al., 2005; Johnson, 2005).

Literatür araştırmalarında ZnO ince film üretimi için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; kimyasal buhar depolama, sol-jel, moleküler beam epitaksi ve vakum ark depolama tekniğidir (Ekem et al, 2009) Ayrıca ZnO ince filmlerin üretimi için RF(radyo frekansı) saçtırma, magnetron saçtırma, DC saçtırma,

DC magnetron saçırma gibi teknikler de kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında saçırma yöntemleri sanayide en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Bu çalışmada üretilen ZnO ince filmler ise RF saçırma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemde hedef materyal olarak saf çinko (Zn) metali kullanılmıştır. Çalışma gazı olarak ise $\%x\text{Ar}+\%(100-x)\text{O}_2$ gazı karışımının farklı yüzdelerinde ($x=10, 20, 30, 40, \dots, 90$ oranlarında) argon-oksijen gaz karışımı plazması ortamında Zn hedef malzemedan sökülen Zn atomlarının O atomları ile reaksiyona girerek alt taş üzerine ince filmleri oluşturulmuştur. Bu reaksiyon sırasında reaksiyondaki Zn ve O atomları miktarına bağlı olarak ZnO ince filmlerin yapılarında bir takım değişiklikler oluşmuştur. Bu değişikliklerin yapısal, optik, interferometrik ve yüzey özelliklerini belirlemek için XRD cihazı, Uv-Vis spektrometresi, interferometrik cihaz, ince film kalınlık ölçüm cihazı, Spektroskopik Elipsometre Cihazı, Atomik Kuvvet Mikroskobu ve Tauc metodu kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kullanılan gaz karışımı plazması içerisindeki Ar ve O_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak ZnO yapılarının değiştiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise gaz karışımındaki Ar: O_2 oranlarından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak elde ettiğimiz ZnO ince filmlerin yapılarında meydana gelen değişikliklerin sebebi, farklı gaz karışım oranlarına göre oluşan yapıların Zn ve O katkılı olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca optiksel olarak da bir takım değişimler meydana gelmektedir. Bu çalışma sonucunda farklı konsantrasyonlardaki gaz karışımlarına göre farklı yapısal özellikler incelenmiş ve kalınlık, absorpsiyon, geçirgenlik, kırılma indisi ve yasak enerji aralıkları ölçülmüştür. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ve yüzey görüntüleri de incelendiğinde oksijen gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişimler gözlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada ZnO ince film üretim yöntemleri de kısaca anlatılmış ve bu yöntemler kıyaslanmıştır. İnce filmleri karakterize etmek için kullanılan ölçüm cihazları da ayrı bir bölümde anlatılmıştır.

2. ÇİNKOOKSİT (ZnO) BİLEŞİĞİ

Çinko oksit yapısı itibarıyla kimyasal bir bileşiktir. Periyodik tablonun II. grubunda bulunan çinko ile periyodik tablonun VI. grubunda yer alan oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu oluşur. Bu yüzden çinko oksit (ZnO) bileşiği II-VI bileşikleri arasında yer alır.

2.1 II-VI Bileşikleri

II-VI bileşikleri oluşurken II. grup elementlerinden olan çinko (Zn), kadmiyum (Cd), civa (Hg) ve VI. grup elementlerinden olan oksijen (O), kükürt (S), selenyum (Se) ve tellür (Te) elementleriyle on iki tane ikili bileşik oluştururlar. Bunlar, Kadmiyum oksit (CdO), Kadmiyum sülfür (CdS), Kadmiyum selenid (CdSe), Kadmiyum tellür (CdTe), Çinko oksit (ZnO), Çinko sülfür (ZnS), Çinko selenid (ZnSe), çinko tellür (ZnTe), Civa oksit (HgO), Civa sülfür (HgS), Civa selenid (HgSe), Civa tellür (HgTe)' dir. Bu tez çalışmasında ZnO ele alınmıştır. Yasak enerji aralığı 1,7-4 eV olan bu bileşikler elektrik ve optik özelliklerinden dolayı güneş pillerinde, lazer yapımında, piezoelektrik aygıtlarda, çeşitli diyotlarda, vb... bir çok alanda kullanılmaktadırlar (Fahrenbruch,1977; Eren, 2006). Genellikle n tipi olan bu bileşiklere ait iletkenlik tipleri ve yasak enerji aralığı değerleri çizelge 2.1' de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Bazı II-VI bileşiklerine ait yasak enerji aralığı değerleri ve iletkenlik türleri

Materyal	İletkenlik Tipi	Yasak Enerji Aralığı (E_g) (eV)	Kaynak
Kadmiyum oksit (CdO)	n	2,15	Kırmızıgül, 2008
Kadmiyum sülfür (CdS)	n	2,40	Morkel et al., 2001
Kadmiyum selenid (CdSe)	n	1,74	Eren, 2006
Kadmiyum tellür (CdTe)	n	1,40	Mathew ve Enriquez; 2000
Çinko oksit (ZnO)	n	3,3	Srikant ve Clarke; 1998
Çinko sülfür (ZnS)	n	3,68	http://www.semiconductors.co.uk/propiiivi5410.htm
Çinko selenid (ZnSe)	n	2,82	Eren, 2006
Çinko tellür (ZnTe)	p	2,25	Eren, 2006
Civa oksit (HgO)	-	2,20	http://www.semiconductors.co.uk/propiiivi5410.htm
Civa sülfür (HgS)	-	2,1	http://www.semiconductors.co.uk/propiiivi5410.htm
Civa selenid (HgSe)	-	-	http://www.semiconductors.co.uk/propiiivi5410.htm
Civa tellür (HgTe)	p	2,14	Rath ve Sahu; 2005

2.2 Çinko Oksit (ZnO) Bileşiğinin Özellikleri, Kullanım Alanları ve Yapısı

Çinko oksit önceleri sadece boya maddesi olarak kullanılır ve beyaz çinko çin beyazı veya çiçek beyazı olarak adlandırılırdı. Romalılar ise cadmia olarak adlandırmışlar ve pirinç alaşımı elde etmekte ve melhem yapımında kullanıyorlardı. Bununla birlikte Roma' daki tüm kimyacılar cadmia'nın altına dönüştürülebileceğini düşünmüşlerdir (Catlow, 1991; Demirci, 2006).

18. yüzyılın ortalarında, Alman kimyager Cramer, metal çinkonun yansımından ısı ve ışık veren oksitlenme olayını keşfetmiştir. Courtois Fransa'da 1781'de beyaz çinkoyu üretmiş, fakat 1840'a kadar sanayide kullanılmamıştır. Sülfür gazından etkilenmemesi (siyahlaşmaması), toksik madde içermemesi ve iyi saklanabilmesi nedeniyle kurşun oksidin yerini almıştır (Encyclopedia of Chemical Technology, 1998; Eren, 2006).

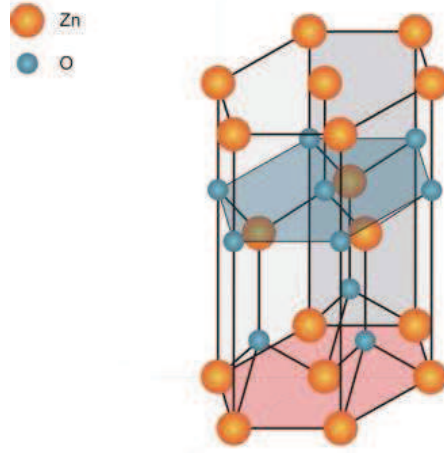
Günümüzde ise yarıiletken bileşiklerinin en önemlisi çinko oksittir. Çinko oksit (ZnO) ince filmler güneş pilleri yapımında çok önemli bir yere sahiptir. Çünkü ZnO düşük elektriksel dirence ve yüksek optiksel geçirgenliğe sahip bir materyaldir.

Ayrıca ZnO, hem mikroelektronik hem de optoelektronik aletlerde, pek çok uygulama için çok uygun bir materyaldir. Çünkü ZnO oda sıcaklığında yaklaşık 3,3 eV luk direkt band geçişli yasak enerji aralığına sahip bir yarıiletken oksittir (Bourgine ve ark., 2002; Aksoy, 2006). ZnO ince filmler kendi doğalarından dolayı n-tipi yapıya sahiplerdir. p-tipi ZnO ince film elde etmek için n-tipi ZnO ince filmleri katkılanmak gerekir.

ZnO, UV ışınını absorbe ederek band geçişlerini gerçekleştirir. Bu özelliğinden dolayı TCO (saydam iletken oksit) ince film olarak kullanılabilirler. ZnO, piezoelektrik aygıtlarda, fototermal dönüşüm sistemlerinde, gaz sensörü cihazlarında ve optiksel görüş sensörlerinde kullanılmaktadır (Ashour et al., 2005; Johnson, 2005).

ZnO filmlerin görünür ışık bölgesinde saydam oluşu nedeniyle saydam iletken malzeme olarak çok büyük ilgi görmektedir. ZnO bileşiği görünür bölgede yaklaşık %80-%90 optik geçirgenliğe ve $10^{-3} - 10^{+2} \Omega\text{cm}$ bölgesinde bir elektriksel dirence sahiptir (Demirci, 2006).

ZnO bileşiği hekzagonal yapıda kristalleşmektedir ve örgü sabitleri $a=3,24982 \text{ \AA}$, $c=5,20661 \text{ \AA}$ dur. ZnO' in hekzagonal yapısı şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 ZnO'ın Hekzagonal Yapısı (http://www.emg.tu-bs.de/forsch/material/mat_halb_en.htm).

Çizelge 2.2 ZnO'ın bazı fiziksel parametreleri (Özbayraktar, 2006)

Özellik	Değer
Yoğunluk	5,606 g/cm ³
Erime Noktası	1975 °C
Statik Dielektrik Sabiti	8,656
Kırılma İndisi	2,37
Yasak Enerji Aralığı	3,3 eV
Kristal Yapısı	Hekzagonal

ZnO'ın diğer II-VI bileşiklerine göre; optiksel ve elektriksel özellikleri, doğada çok fazla bulunması ve buna bağlı olarak da çok düşük fiyatlı bir materyal olması nedeniyle, II-VI bileşikleri arasında en fazla tercih edilen materyallerden biridir.

3. İNCE FİLM

Günlük yaşantımızda ve sanayide malzemelerin ve alt taşların farklı yüzey özelliklerine sahip olması ve yüzeyin iyileştirilmesi adına çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Bir çok yüzey işlemi yapılmasına rağmen plazma destekli yüzey işlemleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yüzey işlemleri arasında en popüler olanlardan bir tanesi malzeme ve alt taş üzerine yapılan kaplamalardır. Bu yapılan kaplamalar kalın, ince, ultra ince, nano kalınlıklı ve tek katmanlı filmler olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma kaplanmış tabakanın kalınlığı göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu çalışmada ise cam alt taş üzerine ZnO tabakalar ince film olarak depolanmıştır. İnce film uygulamalarında depolanan tabaka kalınlığı 100 Å ile birkaç µm arasındadır (Aksoy, 2006). Kaplamalar çok önceden beri bilinse de, gelişen teknoloji ile özellikle plazma ve vakum teknolojilerinin gelişmesi ile günümüzde ileri teknoloji malzemelerin üretimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüze kadar geliştirilen vakum teknolojisine dayanan farklı kaplama işlemleri söz konusudur. Bu sistemlerde, ince film üretim ve depolama mekanizması basitçe şöyledir. Vakumlu ortamda, bir ısıtıcı (rezistans, lazer, elektron bombardımanı vb.) ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde depolanır (Mattox, 1998). Bu işlem esnasında kalınlık kontrolü önemli bir parametredir.

3.1 İnce Film Oluşum Şekilleri

Herhangi bir ince film depolama işlemi üç ana basamak içerir:

1. Uygun atomik, moleküler ya da iyonik türlerin üretimi
2. Bunların alttaşa taşınımını sağlayacak bir ortam
3. Alttaş üzerine yoğunlaştırma ya doğrudan ya da kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlarla bir katı depolanması yapılır (Bütün, 2007).

İnce film tabakası oluşumu çekirdeklenme ve büyütme teknikleri ile gerçekleşir. Çeşitli deneysel ve teorik çalışmalardan ortaya çıkan adım adım film büyütme sürecinin genel şekli aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Alttaş a çarpan birim türler hız bileşenlerini hız bileşenlerini kaybederler (çarpışma enerjisinin çok büyük olmaması durumunda) ve bu türler fiziksel olarak alttaş yüzeyine tutunurlar (soğurulurlar) (Kavgacı, 2007).
- Yüzeğe tutunan türler başlangıçta alt tabaka ile ısısal dengede değildirler ve alttaş yüzeyine doğru hareket ederler. Bu işlem sırasında birçoğu birbirleriyle etkileşime girer. Böylece kümeler oluşturur (Kavgacı, 2007).
- Kümeler ya da çekirdek olarak isimlendirilen diziliş, termodinamik olarak kararlı değildir ve depolama parametrelerine bağlı olarak bir zaman sonra yüzeyden ayrılma eğilimindedir. Şayet depolama parametrelerine bağlı olarak böyle bir çekirdek ile yüzeyden ayrılmaya başlamamış soğurulmuş türler çarpışma yapıyorsa, çekirdek büyüklüğü artmaya baslar. Belli bir kritik büyüklüğe ulaştıktan sonra çekirdek termodinamik olarak kararlı olmaya baslar ve çekirdek sınırlarına ulaştığı söylenir. Kararlı, kimyasal olarak soğurulmuş, kritik büyüklüklü çekirdek oluşumunu içeren bu basamak çekirdek evresi olarak adlandırılır (Kavgacı, 2007).
- . Kritik çekirdek, bir çekirdek doyum yoğunluğuna ulaşınca kadar büyümeğe devam eder. Çekirdek yoğunluğu ve ortalama çekirdek büyüklüğü; türlere etki eden enerji, etkinin oranı, soğurma aktivasyon enerjisi, ayrılma, ısısal difüzyon, sıcaklık ve alttaşın kimyasal dogasi gibi parametrelere bağlıdır. Bir çekirdek hem alttaş yüzeyine paralel olarak soğurulmuş türlerin difüzyonuyla büyütüldüğü gibi alttaşa dik olarak direk çarpışan türlerin etkileşmesi ile de büyür. Buna rağmen, genellikle bu evredeki paralel (yanal) büyüme oranı dik olarak büyümeden daha yüksektir. Bu büyütülmüş çekirdekler adalar olarak adlandırılır (Kavgacı, 2007).
- Film oluşumu için bundan sonraki evre birleşme evresidir. Bu evre, küçük adaların birbirleriyle birleşmeye çalıştıkları evredir. Büyük adaları

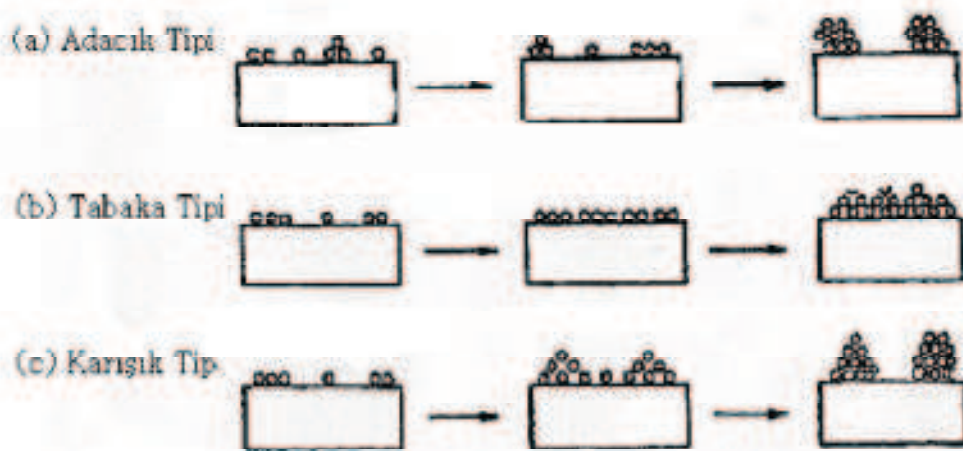
oluşturma eğilimi “topluluk” olarak adlandırılır ve topluluk soğurulmuş türlerin yüzeydeki mobilitesini iyileştirir. Örnek olarak alttaş sıcaklığını artırarak bu iyileştirme sağlanabilir. Bazı durumlarda yeni çekirdeğin oluşumu bir birleşme sonucu temiz bir alanda meydana gelebilir (Kavgacı, 2007).

- Daha büyük adalar birlikte büyümeye devam eder. Büyüme işlemi çekirdeğin bir istatistiksel üretimine dayandırılarak yüzey difüzyonunun üç boyutta taneciklerin büyütülmesinin kontrol edilmesi, bir ağ yapısının oluşturulması ve sürekli bir film oluşumu için bu sürecin devam etmesi olarak özetlenebilir (Kavgacı, 2007).

Depolamanın ve alttaşın yüzeyinin termodinamik parametrelerine, başlangıçtaki çekirdeğe ve büyütme evrelerine bağlı olarak;

- adacık (island) tipi
- tabaka (layer) tipi
- karışık (Stranski-Krastanov) tip

olmak üzere üç grupta toplanabilir (Wasa et al., 2004). Bu evreler şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Hemen hemen bütün pratik durumlarda, büyüme işlemi, ada oluşumundan sonra gerçekleşir.



Şekil 3.1 İnce film büyütme işlemleri (a) adacık (island) tipi , (b) tabaka (layer) tipi ve (c) karışık (Stranski –Krastanov) tip (Chopra 1983).

Özel durumların dışında kristolografik diziliş ve farklı adaların topografiksel ayrıntıları rastgele dağıtılmıştır. Böylece büyütme esnasında adaların birbirine temas etmesi, geometriksel şekillenmeleri ve kristolografik dizilişlerinin yanlış eşlenmesinden dolayı tane sınırları, çeşitli nokta ve çizgi bozuklukları oluşur. Eğer taneler rastgele düzenlenirse, bir halka tipi kırınım örneği gösterir ve buna polikristal denir. Ancak, eğer tane genişliği ($20A^\circ$)'dan küçükse, bu filmlerin kırınım desenleri halo tipi (ışık halkası) olan çok fazla düzensiz yani amorf(kristal olmayan) yapıya benzer. Eğer farklı adaların dizilişleri uygun tek kristalli alt tabaka üzerinde özel depolama içererek aynı devam ediyorsa, bu filmin bir tek kristali içermeyeceğine dikkat edilmelidir. Bunun yanında tek kristal filmini oluşturan taneler birbirlerine paralel olarak yerleşirler ve birbirlerine düşük açılı tane sınırlarıyla bağlanırlar. Bu filmlerin kırınım desenleri tek kristalin kırınım deseniyle benzerdir ve epitaxial / tekkristal film olarak adlandırılır (Bütün, 2007).

3.2 İnce Filmlerin İleri Teknoloji Malzemelerindeki Yeri ve Önemi

Günümüzde ince filmlerin en büyük uygulama alanı yarıiletken sanayidir. Transistörler, entegre devreleri, ışık yayan diyotlar (LED), ekranlar, lazerler bu teknoloji ile yapılmaktadır. Güneş pilleri, gece görüş dürbünleri gibi optik aygıtlar ve araçlar da bu teknolojinin ürünleridir. Optik ve manyetik kayıt cihazları, fiziksel ve kimyasal aşınmaya dirençli sert ve dekoratif kaplamalar da ince film teknolojisinin en yaygın kullanım alanları arasındadır (Demirci, 2006).

İnce filmler üzerine çalışmaların yoğunlaşması ve gelişmesi, geniş kullanım alanına sahip malzemelerin daha kolay elde edilmesine olanak tanır. Örneğin, elmas 2000°C sıcaklıkta ve 50000 psi basınçta sentezlenirken, plazma tekniğiyle 10– 100 eV'luk karbon iyonları ile 200°C 'de elmas film yapılabilir. Yeni gelişmelerden biri de Ni-Fe-Cr gibi çok katlı süper örgü alaşım filmlerinin oluşturularak manyetik kayıt cihazlarının yapılabilmesidir. Manyetik alan etkisinin bu filmlerin dirençlerinde büyük değişim meydana getirmesi, 1993'te IBM tarafından yeni manyetik algıçlar olarak ilan edilmelerini sağlamıştır. Önceleri yalnızca teorik olarak ilgi odağı olan

kuantum doğruları ve kuantum noktaları gibi kavramlar ince film teknolojisi ile günlük yaşama girmiştir (Aksoy, 2006).

4. İNCE FİLM KAPLAMA TEKNİKLERİ

4.1 Saçtırma (Sputtering)

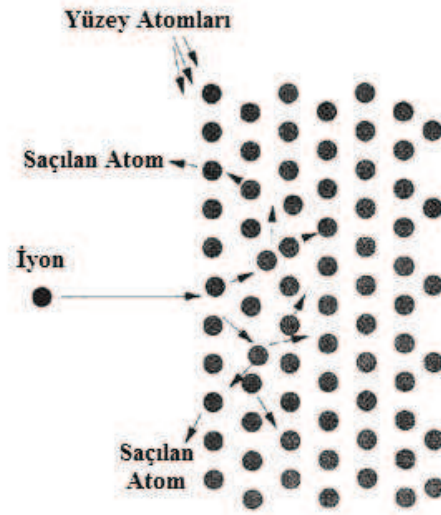
İngilizcesi sputtering olan saçtırma; katı bir yüzeyden atomları mekanik olarak söküp, koparma işlemine verilen isimdir (Tarımcı ve Sarı, 2006). Saçtırma işlemi bir metal yüzeyine çarpan parçacıkların (iyonların) bu metal yüzeyinden metal atomlarını sökmesi olayıdır (Campbell, 1978). Bu yöntemle, katı bir malzeme, yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilir. Bu malzemedan kopartılan atom ve/veya moleküller bir başka malzeme üzerinde biriktirilerek kaplama oluşturur (Tarımcı ve Sarı, 2006; Johnson, 2005). Bu işlemde üzerinden atomların ya da moleküllerin koparıldığı malzemeye hedef (kaynak), atomların ya da moleküllerin biriktirildiği malzemeye alttaş adı verilir. Vakum teknolojisinde bu yöntem kullanılarak ince film kaplama tekniği geliştirilmiştir.

Saçtırma tekniklerinde saçtırmanın verimi hedef malzemedan kopan parçacık sayısının hedefe çarpan iyon sayısına oranı olarak tanımlanır ve kısaca saçtırma verimi olarak isimlendirilir (Seshan, 2002).

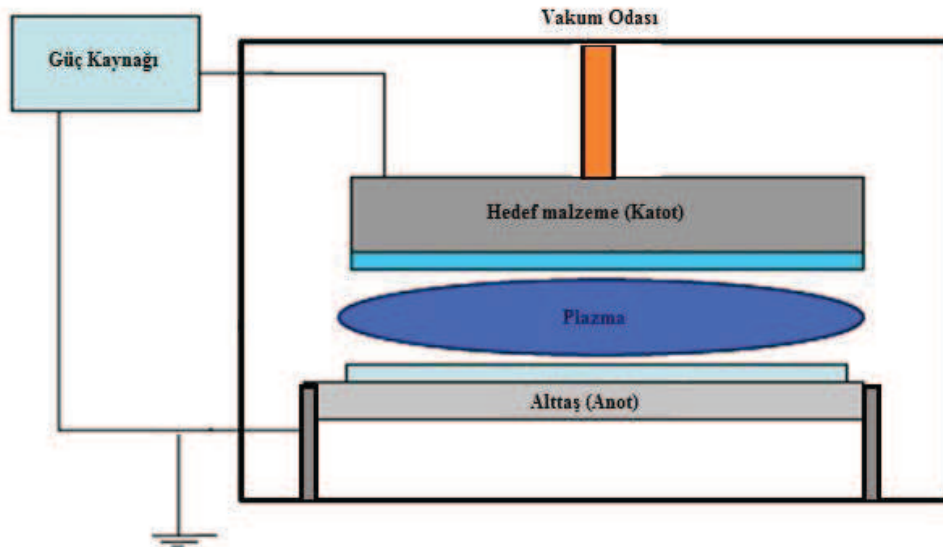
$$\text{Saçtırma Verimi} = \frac{\text{Hedefte kopan parçacık sayısı}}{\text{Hedefe çarpan iyon sayısı}} \quad (4.1)$$

Saçtırma verimi, hedef malzemenin cinsine, bombardıman iyonlarının kütle numarasına, bombardıman iyonlarının enerjisi değerine, gönderilen iyonların hedefin normaline göre açısına ve ortamın basıncına bağlıdır (Seshan, 2002).

Saçtırma işlemi şematik olarak şekil 4.1' de gösterilmiştir. Gelen parçacık(iyon) yeterli enerji ile katının yüzeyindeki atoma veya atomlara çarparak atomun diğer atomlarla olan bağını koparır ve yüzeyden söker. Eğer bu işlem süresince bir veya daha fazla atom katıdan sökülürse bu atomlar saçtırılmış atom olarak adlandırılır (Seshan, 2002).



Şekil 4.1 Saçırma işleminin şematik gösterimi (Seshan, 2002).



Şekil 4.2 Saçırma işleminin basit şematik gösterimi (Ekem et al, 2009).

Saçırma işlemi için öncelikle vakum odası içerisinde bulunan elektrotlar arasında bir soy gaz pompalanır. Elektrotlar arasında uygulanan voltaj ile vakum odasına gönderilen soygazın plazması meydana getirilir. Plazma içindeki pozitif iyonlar bu potansiyel farkı altında katoda doğru hızlanırlar ve hızla katoda çarparak enerjilerini katoda aktarırlar. Katoda çarpan enerjili pozitif soygaz iyonları katodun (hedefin) lokal ısınmasına ve aşınmasına neden olduğu gibi elektronların enerji kazanarak yüzeyden

ayrılmasına da (ikincil elektron emisyonu) neden olabilir. Katoda iyonların çarpmasının devamında yüzeyden nötral atomlar da enerji kazanarak ayrılabilir. Ayrılan bu nötral atomlar katodun (hedefin) hemen karşısında bulunan anoda yerleştirilmiş bulunan alttaş üzerine kaplanırlar (Thornton, 1983; Akan, 2003).

Sonuç olarak, saçtırma esnasında meydana gelen olayları basitçe sıralarsak;

- Enerjili iyonlar oluşur.
- Oluşan bu iyonlar bir kinetik enerji kazanarak hedefe yönelirler.
- İyonlar hedefe çarparlar.
- Enerjik iyonlar hedeften atomları sökerler.
- Sökülen atomlar saçılarak alttaşa yönelirler ve yoğunlaşarak altaşa yapışırlar. Böylece ince film oluşur (Seshan, 2002).

Vakum odasına soygaz ile beraber, hedef malzeme ile kimyasal olarak etkileşebilecek bir reaktif gaz da gönderilirse, bu saçtırma işlemi reaktif saçtırma olarak isimlendirilir. Bu reaktif gaz ile hedef malzeme etkileşerek hedef malzemenin kimyasal yapısından farklı bir kimyasal yapıya sahip kompozit yapı oluşur. Bu kompozit yapıdaki malzeme alttaş üzerine giderek bir ince film halinde kaplanır. Reaktif saçtırma işlemi, yeni yeni kompozit yapılar oluşturularak kaplamalar yapılabilmesine imkân açması nedeniyle önemlidir. Reaktif saçtırma ile depolanan tipik kompozit yapıdaki kaplamalar çizelge 4.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Reaktif saçırma ile depolanan kompozit yapıdaki kaplamalar
(www.eng.tau.ac.il/~yosish/courses/vlsi/Sputtering1.ppt)

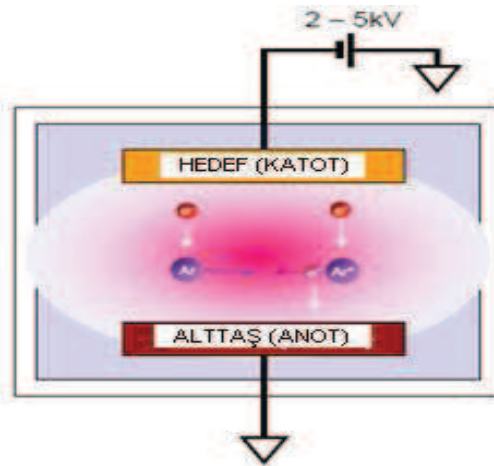
Hedef	Reaktif Gaz	Bileşik
Al	O ₂	Al ₂ O ₃
Al	N ₂	AlN
Ti	O ₂	TiO ₂
Ti	N ₂	TiN
Si	N ₂	Si ₃ N ₄
Ta	O ₂	Ta ₂ O ₅
Zn	O ₂	ZnO
In-Sn	O ₂	In ₂ O ₃ -SnO ₂

4.1.1 Saçırma teknikleri

Literatürde birçok saçırma tekniği mevcuttur. Genellikle bu tekniklerde kullanılan güç kaynaklarının özelliklerine göre değişik saçırma teknikleri ortaya çıkmaktadır. Doğru akım (DC) saçırma, radyo frekansı (RF) saçırma, magnetron saçırma bunlardan bazılarıdır.

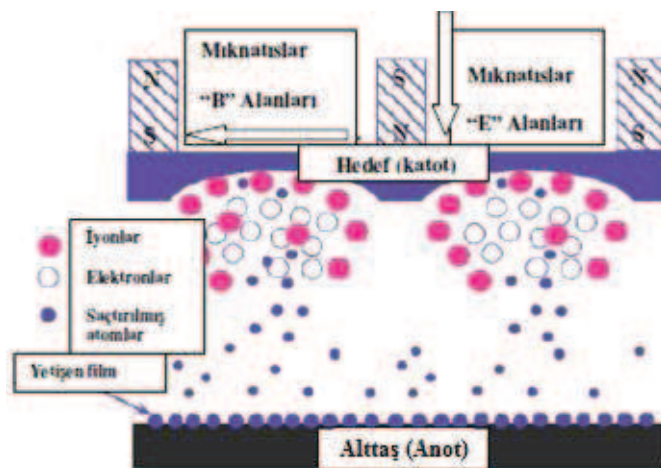
Saçırma tekniklerinde süreç genel olarak aşağıdaki gibidir. Vakum odası içinde bulunan iki paralel elektrota hedef ve alt taş yerleştirilir. Daha sonra vakum odası bir pompa vasıtasıyla pompalanır ve vakum odası istenilen basınç düzeyine geldiğinde vakum odasına soy gaz pompalanır. Elektrotlara DC voltaj uygulanır. Vakum çemberi içindeki serbest elektronlar elektrik alan tarafından hızlandırılırlar. Bu enerjik serbest elektronlar Ar atomlarıyla çarpışırlar ve Ar atomlarını uyarırlar. Uyarılmış Ar atomları gaz ışıldamasını oluşturur ve iyonize olmuş Ar atomları hedefe doğru yönlenererek hedeften nötral atomları ve ikincil elektronları koparırlar. Kopan bu nötral atomlar saçılarak alttaşa doğru yoğunlaşır ince filmi oluştururlar. İkincil elektronlar ise Ar atomları ile çarpışarak Ar atomlarını iyonize eder ve bu şekilde devam eder (Chenn, 2004).

DC saçtırma tekniği ile ince film üretiminin Şematik olarak gösterimi Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3 DC saçtırma sistemiyle film üretiminin Şematik gösterimi (Kokkokoğlu, 2009).

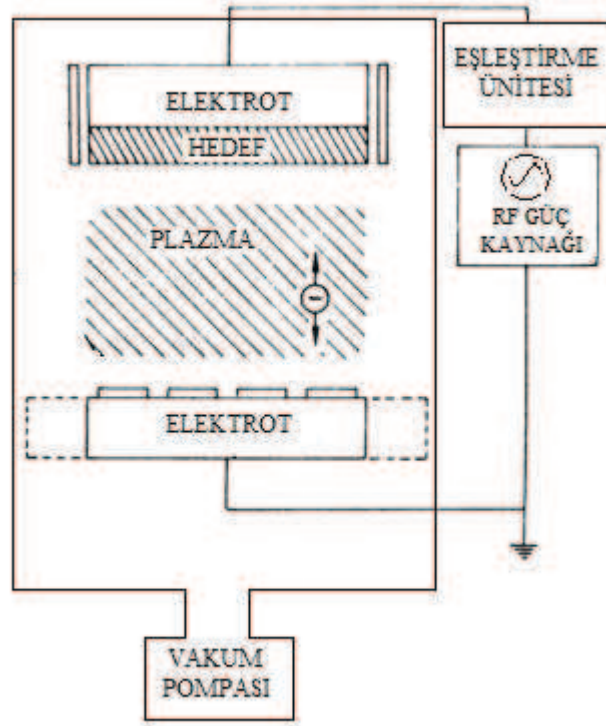
Magneton saçtırma tekniği ile ince film üretiminin Şematik olarak gösterimi Şekil 4.4' de verilmiştir. hedef üzerine yerleştirilen mıknatıŐlar ile hedef malzemeye elektriksel alan vasıtasıyla yönelmiŐ olan iyonların manyetik alanla hızlanması sağlanır. Böylece hedef üzerine iyonların daha enerjik gelmesi sağlanır.



Şekil 4.4 Magneton saçtırma sistemiyle film oluşumunun Şematik gösterimi (Küçükgenç, 2008).

4.1.1.1 Radyo frekansı (RF) saçırma tekniği

RF saçırma tekniğinde hedef ile altaş elektrotlar arasında alternatif bir voltaj uygulanır. Elektrotlar akımın frekansına bağlı olarak katot-anot dönüşümüne uğrarlar. Böylece hedefin iyonlar tarafından bombardıman edilmesi yarım periyot aralığında gerçekleştirilirken, diğer yarım periyotta ise herhangi bir yük birikmesi gerçekleşmez. RF saçırma sisteminin frekansı 13.56 MHz' dir. RF saçırma tekniği ile ise yalıtkan malzemenin ince filmlerini oluşturmak mümkündür. Tipik RF saçırma sisteminin şekli şematik olarak şekil 4.5' de gösterilmiştir (Bunshah, 1994).



Şekil 4.5 RF saçırma sisteminin şematik gösterimi (Bunshah, 1994).

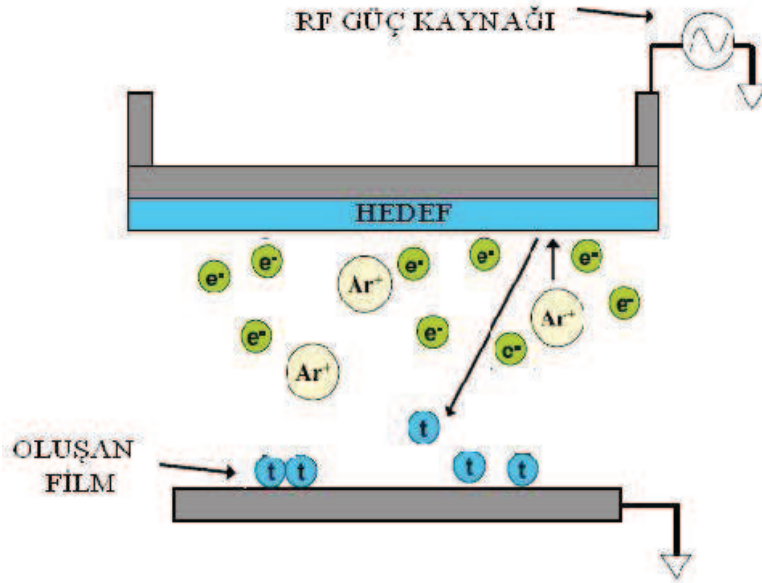
RF saçırma sistemi; vakum odası, vakum pompası, radyo frekansı güç kaynağı, olmak üzere dört ana kısımdan oluşur (Grill, 1993; Johnson, 2005).

Bu sistemde, vakum odası içinde bulunan elektrotlardan birinin üzerine hedef yerleştirilirken, diğer elektrota ise altaş yerleştirilir. Vakum pompası; vakum odasının basıncını düşük basınç değerlerine çekmek amacıyla kullanılmaktadır. Basıncın

düşürülmesinin nedeni; vakum odasını havadaki diğer gazlardan temizlemek ve iyonize olmuş parçacıkların ortalama serbest yolunu arttırarak yüksek enerjili çarpışmalar elde etmektir. Böylece plazması oluşturmak istenen materyalin saflığı ve kalitesi arttırılabilir (Grill, 1993).

Vakum odası istenilen basınç değerine geldiğinde vakum odasına bir soygaz pompalanır. Daha sonra radyo frekansı güç kaynağı ile elektromanyetik dalgalar oluşturulur. Bu dalgalar eşleştirme ünitesi sayesinde vakum odası içinde titreşim frekansı oluştururlar. Oluşan titreşim frekansı ile vakum odası içindeki soygazın plazması oluşur (Grill, 1993; Johnson, 2005). Yani soygaz atomları iyonize hale geçer ve hedefi bombardıman ederek hedeften nötral atomların saçılmasını sağlar. Saçılan bu atomlar yoğunlaşarak alttaşa doğru yönelirler.

Vakum odasında meydana gelen yukarıdaki olayı somut bir duvara çelik topların fırlatılmasına benzetebiliriz. Toplar duvara çarptıkça duvardan ufak parçacıklar koparılırlar. Bu olayın devamlılığı halinde ince katmanlar oluşur. Burada anlatılanlar saçtırma tekniğinin çalışma prensibine örnektir. Çelik topu iyonlaşmış atomlar, somut duvarı ise hedef materyal olarak düşünebiliriz. RF saçtırma tekniğiyle film oluşumunun şematik gösterimi şekil 4.6' da gösterilmiştir (Johnson, 2005).



Şekil 4.6 RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson 2005).

RF saçtırma tekniği ile elektriksel olarak iletken, yarıiletken ve yalıtkan kaplamalar yapılabilir. RF saçtırma tekniğiyle depolanan yalıtkan ve yarıiletken materyallerden bazı örnekler şunlardır:

Yarıiletkenler: Si ve Ge

III-V bileşikleri: GaAs, GaSb, GaN, AlN

II-VI bileşikleri: CdSe, CdS, ZnO, ZnSe

IV-VI bileşikleri: PbTe

Refrakter (ateşe dayanıklı) yarıiletkenler: SiC

Ferroelektrik bileşikler: Bi₄Ti₃O₁₂

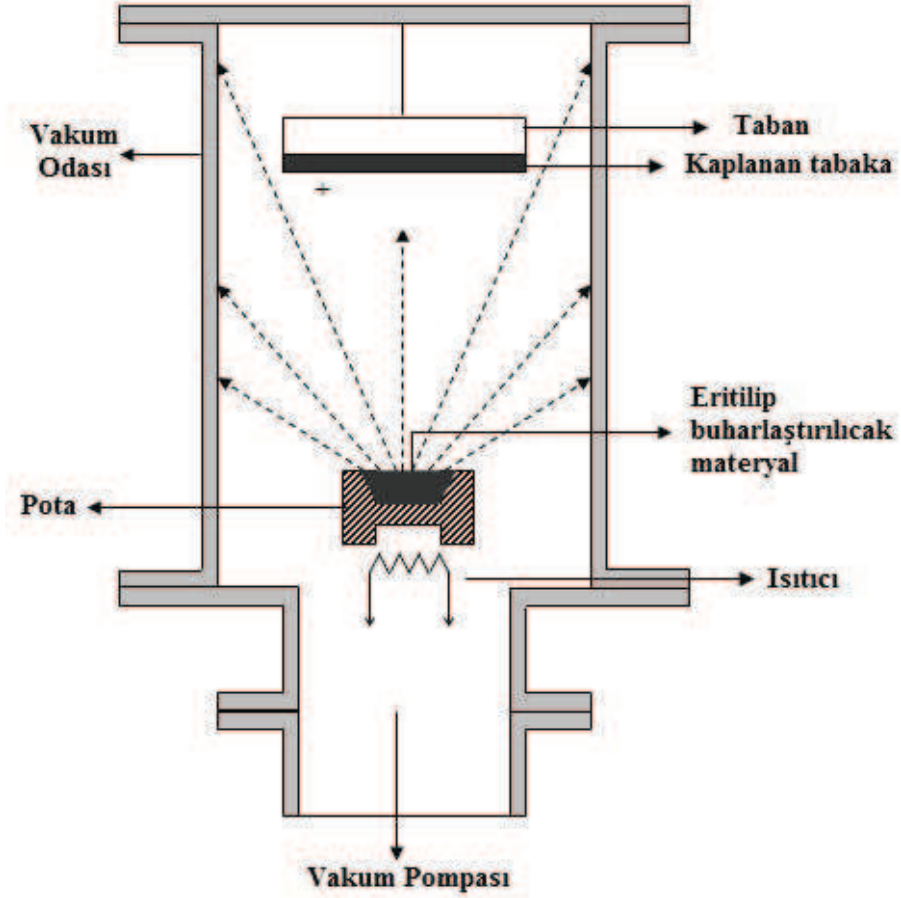
Oksitler: In₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, Ta₂O₅, Y₂O₃, TiO₂, ZrO₂, SnO₂, PtO, Bi₂O₃, ZnO, CdO

Ateşe dayanıklı camlar ve plastikler (Bunshah, 1994).

Sonuç olarak, RF saçtırma tekniği elektronik sanayisinde geniş yer bulmaktadır.

4.2 Termal Buharlaştırma Tekniği

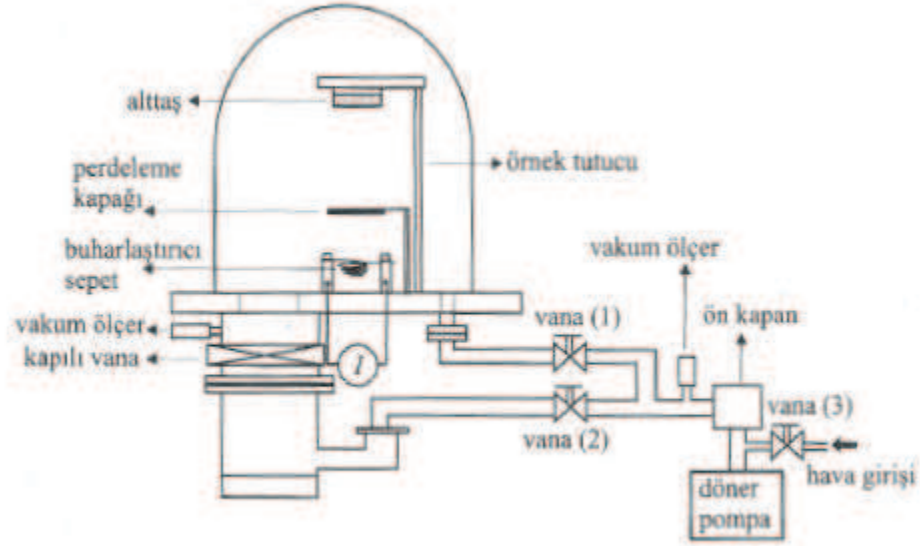
Termal buharlaştırma tekniği, yüksek vakum (10^{-7} mbar) altında, çoğunlukla metal tabanlı malzemelerin elektrik akımı ile ısıtılarak buharlaştırılması işleminin yapıldığı ince film kaplama yöntemidir (Tarımcı ve Sarı., 2006). Şekil 4.7' de termal buharlaştırma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi (Akan, 2003).

Bu yöntem ile yapılan metal kaplama işlemlerinin birçok uygulaması vardır. Yarıiletken malzemelerin metal kontaklarının yapılması, yüzey metal kaplama işlemleri bu yöntemle yapılan işlemlere örnek verilebilir (Tarımcı ve Sarı, 2006).

Termal buharlaştırıcılarda, buharlaştırılacak malzemeler genellikle erime sıcaklığı oldukça yüksek olan iletken, örneğin volfram(tungsten), yapılmış bir pota vakum odasının içine yerleştirilir. Isıtma işlemi bu potanın bağlı olduğu iki elektrot arasında belli bir elektrik gerilim uygulanmak suretiyle potadan akım geçirerek sağlanır. Pota, üzerinden geçen büyük akımdan dolayı içindeki kaynak malzemeyi de buharlaştıracak kadar ısıtır ve böylece buharlaştırma işlemi başlar ve daha sonra hızlı bir şekilde vakum odası içinde her doğrultuda buharlaşır. Vakum odası içinde herhangi bir yere yerleştirilen taban üzerine, istenilen kalınlıkta buharlaşan materyalin kaplaması yapılabilir (Tarımcı ve Sarı, 2006; Akan, 2003).



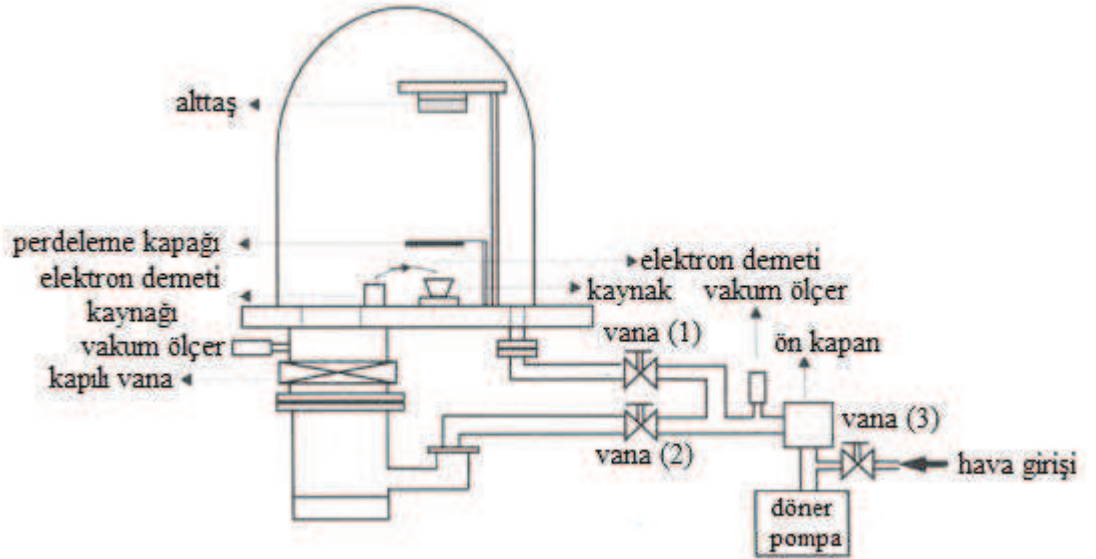
Şekil 4.8 Termal buharlaştırma sistemin genel şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı, 2006).

Bu kaplama tekniğinde, ısıtma işlemi pota aracılığı ile olduğundan dolayı buharlaştırma işlemi dolaylı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde buharlaştırmanın, bir takım olumsuzlukları vardır. Buharlaşma sıcaklıkları çok yüksek olan malzemeleri örneğin wolfram(W), tantal(Ta) ve molibden(Mo) buharlaştırmak oldukça güçtür. Potanın ısınması ile birlikte, buharlaşma esnasında sıcak potanın üstünde bulunan film, kaplanacak alttaşı (tabanı) da ısıtabileceğinden, sıcaklığa duyarlı alttaşların üzerine ince film oluşturmak bu yöntemle pek pratik değildir. Bir diğer olumsuzluğu ise ısınan pota ile buharlaştırılacak kaynak malzemenin reaksiyona girebilmesi riski yüzünden filmin safsızlığının artabilmesidir (Tarımcı ve Sarı, 2006).

4.3 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği

Metal kaplama tekniklerinde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı tekniktir. Bu teknik ilke olarak termal buharlaştırma tekniği ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Bu tekniğin en belirgin

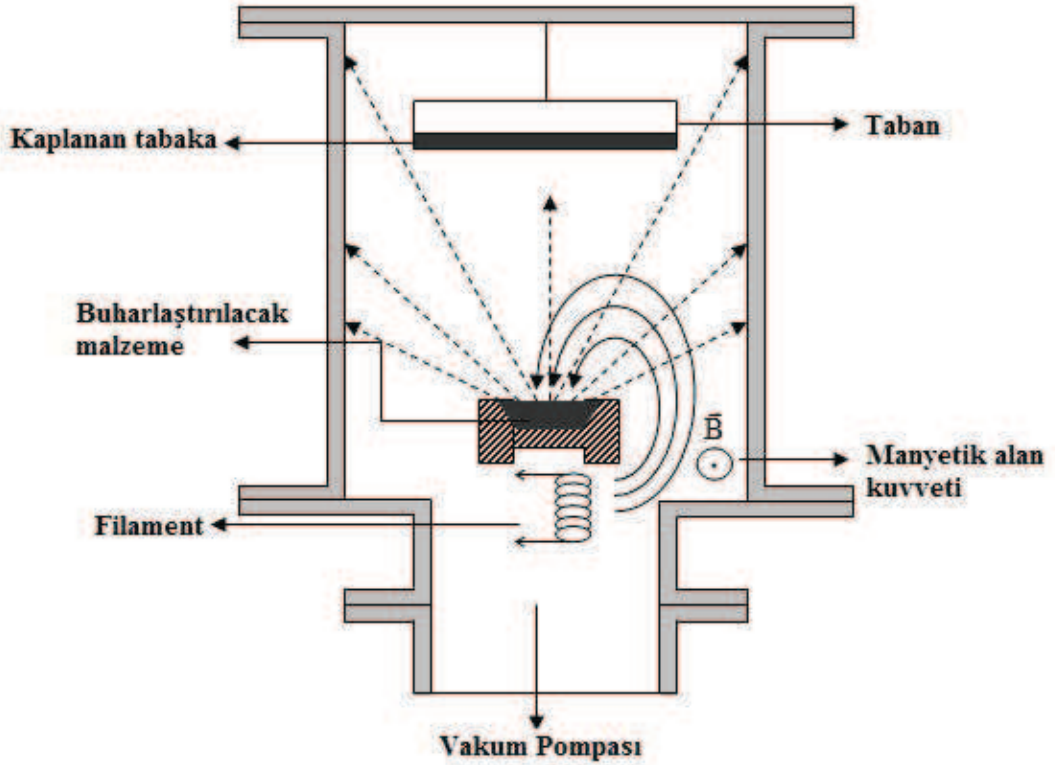
farklılığı buharlaştırılacak kaynak dolaylı olarak değil de direk olarak ısıtılmasıdır. Bu teknikte kaynakları ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilir. Buharlaştırılacak kaynak malzemeyi ısıtma işlemi termal buharlaştırıcıda olduğu gibi pota üzerinden geçirilen akım yerine pota içine yerleştirilen kaynak malzeme üzerine hızlandırılmış ve odaklanmış elektron demeti yöneltilecek yapılmaktadır. Isıtma işlemi elektron demeti ile yapıldığından, kaynağı etkin biçimde ve oldukça homojen bir şekilde ısıtmak mümkündür. Ayrıca pota su ile soğutulabildiğinden potanın yapıldığı metalin buharlaşması önlenerek film üzerinde oluşacak safsızlıkta iyileştirilmiş olur. Direk ısıtma yapılabildiğinden buharlaşma sıcaklığı yüksek olan malzemelerin bu yöntemle buharlaştırılması yüksek erime sıcaklıklarına sahip pota bulma sorununu da çözdüğü için daha kolay olmaktadır. Şekil 4.9’ da elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi görülmektedir (Tarımcı ve Sarı, 2006).



Şekil 4.9 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı, 2006).

Termal buharlaştırma tekniğindeki gibi bu teknikte de buharlaştırılacak materyal, zor eriyen metalden yapılmış bir pota içine yerleştirilmiştir. Pota içindeki materyal, potanın altında bulunan filament tarafından yayınlanan ve bir manyetik alanla yönlendirilen enerji elektronlarıyla bombardıman edilerek ısıtılır ve buharlaştırılır. Potanın yanındaki yaklaşık 10 mT civarındaki bir manyetik indüksiyon, elektron demetinin filamentten 270° 'lik bir yörünge izlemesini sağlar. Bu yörünge, bir anot gibi görev yapan buharlaştırıcı pota içindeki erimiş metale ulaşmaya kadar elektronların enerji kazanmasına yetecek bir yörüngedir. Sıcak filamentten yayınlanan safsızlıklar buharlaşan metale ya da bu geometrideki tabana ulaşmaz. Bu nedenle filament potanın altına konmuştur. Bu durum şekil 4.10' da görülmektedir (Watchman and Haber, 1993; Akan 2003).

Elektron Demetli Buharlaştırma Sisteminin vakum odasının şematik gösterimi şekil 4.10' da gösterilmiştir (Roth, 2001).



Şekil 4.10 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin vakum odasının şematik gösterimi (Akan, 2003).

Bu teknik termal buharlaştırma tekniğine göre üstün olmasına rağmen bir takım olumsuzlukları da vardır. Bu kaplama tekniğinde, elektronları hızlandırmak için yüksek gerilim kullanıldığı için buharlaştırma esnasında ark ve elektrik boşalması bu tekniğin olumsuzlukları arasında sayılabilir. Ayrıca iyonlaşan gazların filamentini kirletmesi de olasıdır (Tarımcı ve Sarı, 2006).

TVA Tekniğinde ise elektronları hızlandırmak için mıknatıslar yerine, anot-katod arasına bir potansiyel farkı uygulanır. Elektron tabancasında bulunan tungsten filament (katot) üzerinden yüksek akım geçirilerek önce termiyonik emisyon sağlanır. Filamentten kopan elektronlar Wehnelt silindiri yardımı ile pota üzerine odaklanır. Wehnelt Silindiri topraklanır; bu şekilde elektronlar odaklanarak pota üzerine yönlendirilir. Tungsten pota (anot) yüksek voltaj ile ısıtılarak, pota akkor haline geçirilir (kızartılır) ve malzeme önce eritilir, sonra buharlaştırılır ve enerji verilmeye devam edildiği takdirde malzemenin plazması oluşturulur. TVA tekniğinde diğer kaplama tekniklerinde olmayan sıcaklığa duyarlı alttaşlar üzerine de kaplama yapılabilmesi bir avantajdır (Özkan, 2010).

4.4. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapor Deposition,CVD)

Kimyasal buhar depolama (CVD) çok kullanılan bir malzeme üretim teknolojisidir. Uygulamalar arasında en çok yüzeye ince film kaplama işlemi için kullanılır ama yüksek saflıkta kütleli malzeme ve toz üretiminde de kullanılır. Bu yöntemde, biriktirilmesi istenen malzeme, alttaş üzerine kimyasal buhar olarak biriktirilir. Bu buhar, alttaş üzerinde kimyasal olarak parçalanarak film tabakası oluşturulur. Reaksiyon sonucu çıkan, istenmeyen ürünler buhar olarak sistemden uzaklaştırılır (http://borneinstein.tripod.com/physics_engineering/thinfilmm.html).

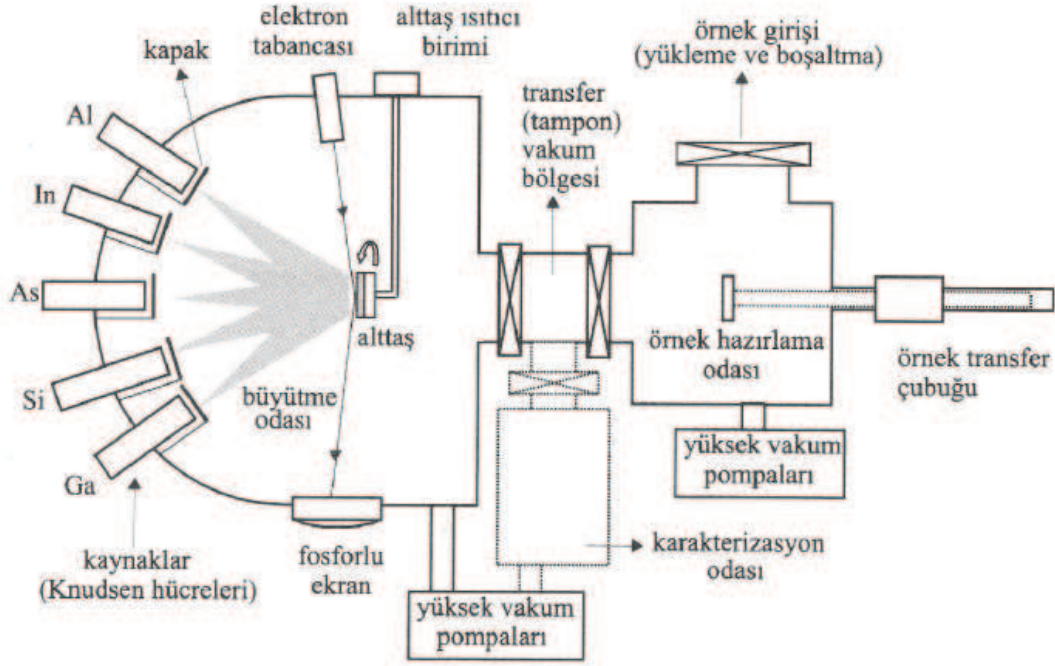
Kimyasal buhar biriktirme yöntemi çeşitli materyallerin ince filmlerinin depolanması için yarıiletken endüstrisinde kullanılan kimyasal bir yöntemdir. CVD, yarıiletken cihazların üretiminde, polikristal, amorf, ve epitaksiyel silikon, karbon fiber, filamanlar, karbon nanotüp, SiO₂, silikon, germanyum, tungsten, silikon nitrit, silikon

oksinitrit, titanyum nitrit, dielektrik malzemelerin kaplanmasında kullanılır. Ayrıca CVD sentetik elmasların üretimi içinde kullanılmaktadır (Özkan 2010).

CVD tekniğinin ince film depolama metodu olarak avantajları vardır. En önemli avantajlarından birisi genellikle altlık ile uyumlu olmasıdır. Yani, bu filmler karmaşık şekilli parçalara uygulanabilir. CVD tekniğinin bir diğer avantajı da çok yüksek saflıkta depolamaya imkân vermesidir. Diğer avantajları göreceli olarak yüksek depolama oranları ve genellikle diğer pek çok tekniğe göre yüksek vakuma gerek duymamasıdır (Özkan, 2010).

4.5 Moleküler Demetli Epitaksi Tekniği(Moleculer beam Epitaxy, MBE)

Moleküler demeti ile epitaksiyel kristal büyütme yöntemi, ileri yüksek vakum ortamında ($<10^{-11}$ mbar) gerçekleştirilen, film kalınlığının çok hassas bir şekilde kontrol edilebildiği, oldukça gelişmiş tek kristal büyütme yöntemidir. Epitaksi, kelime anlamı ile üzerinde büyütülme yapılan alttaşın kristal yapısını ve yönelimini koruyacak şekilde gerçekleştirilen ince film büyütme işlemini ifade eder. MBE tekniği ile genellikle III-V, II-VI türü yarıiletkenler olarak bilinen GaAs, GaN, GaAlAs, InP gibi tek kristal ince filmler ve bu filmlerin değişik katmanlarının üst üste büyütülmesiyle kuantum çukurlu lazerler, süperörgülü yapılar, optik dalga klavuzları, optoelektronik devre elemanları, modülatörler gibi karmaşık heteroyapıların üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bunların yanı sıra yüzey özelliklerinin incelenmesi için değişik türden metal filmleri ve manyetik bileşikleri de bu teknikle büyütme mümkündür(Tarımıcı ve Sarı, 2006). Şekil 4.11' de bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi görülmektedir.



Şekil 4.11 Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi(Tarımcı ve Sarı, 2006).

MBE tekniğinin birçok üstünlüğü vardır. Bunlardan belli başlıları şu şekilde sıralanabilir (Tarımcı ve Sarı., 2006);

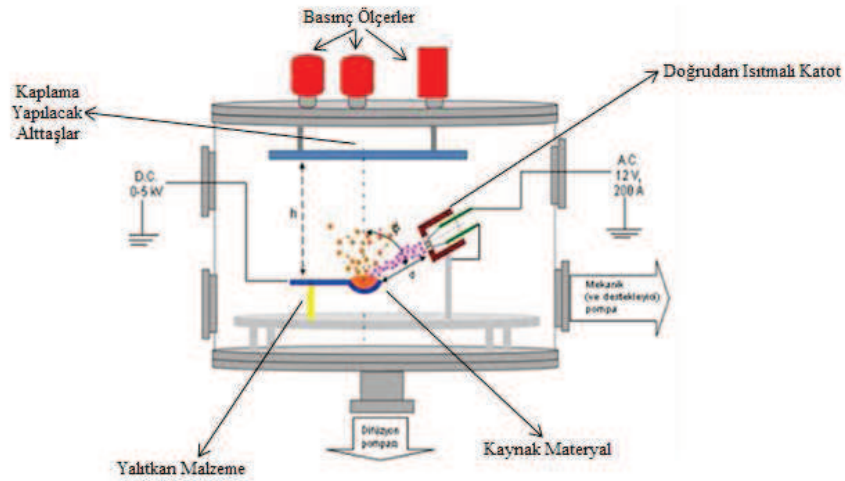
- Diğer benzer tekniklerle mukayese edildiğinde nispeten düşük sıcaklıklarda kristal büyütme,
- Keskin film ara yüzeyleri elde etme,
- Tek sıralı moleküller mertebesinde film büyütme hassasiyetine sahip olma,
- Çok hassas film kalınlık kontrolü,
- Büyütme esnasında film kalınlığının ve optik parametrisinin ölçülebilmesi,
- Katkılama ve özellikle de delta katkılama(filmin çok küçük bir bölgesinin katkılanması işlemi) yapılabilmesi

MBE tekniği ile büyütülecek filmlerin kalitesini ve bileşimini belirleyecek birkaç önemli etken vardır. Bunlar vakum kalitesi, filmlerin büyütüldüğü alttaşın sıcaklığı, kaynaktan gelen molekül akısı, kullanılan molekül kaynaklarının saflığıdır.

Altaş sıcaklığı ile gelen molekül akısı uygun bir şekilde ayarlanarak istenilen kompozisyonlarda filmler elde edilebilir.

4.6 Termiyonik Vakum Ark (TVA)

Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi, yüksek vakumda ($\sim 10^{-6}$ Torr) anot materyalinin plazmasının üretilmesi için geliştirilen bir yöntemdir. Şekil 4.12’de TVA sistemi şematik olarak gösterilmiştir (Balbağ, 2009).



Şekil 4.12 Termiyonik vakum ark sisteminin şematik çizimi (Balbağ, 2009).

TVA deşarjın oluşturulması için ilk olarak katot filamanı, AC düşük voltaj güç kaynağı ile istenilen akımda ısıtılabilir ve böylece katot filamandan ısıl elektron emisyonu sağlanır. Burada katodun bir ucu, düşük voltaj güç kaynağına bağlı iken diğer ucu elektrotların monte edildiği vakum odasının üzerine bağlanmıştır. Katodun içine yerleştirilen Wehnelt silindiri de negatif potansiyele bağlanmıştır. Katot filamanından elektron emisyonu sağlandıktan sonra anot ile katot arasında yüksek voltaj uygulanır, katottan yayınlanan elektronların Wehnelt silindiri yardımıyla anot üzerine hızlandırılmış bir şekilde odaklanması sağlanır. TVA sistemini, anot materyali buhar plazması üreten diğer tekniklerden ayıran en önemli özelliği budur (Balbağ, 2009).

Hızlandırılarak anot üzerine odaklanan elektronların bombardımanı ile anot içindeki materyal üzerine enerji aktarılır ve bu enerji ile anot materyali ilk olarak ısınır. Uygulanan voltajın arttırılmaya devam edilmesi ile anot içindeki materyalinin erimesi ve daha sonra buharlaşması sağlanır.

Elektrotlar arasına uygulanan voltaj arttırılmaya devam edilirse, elektrotlar arası uzayda, uygulanan voltajın uygun değerinde (ateşleme voltajı değerinde), anottaki materyalin buharında parlak bir deşarj oluşur. Bu anda elektrotlar arasındaki voltaj birden azalır, akım ise aniden yükselir. Oluşan anottaki materyalin buharının plazması, anot üzerinden sürekli bir şekilde vakum çeperlerine doğru yayılır.

5. ÖLÇÜM SİSTEMLERİ VE CİHAZLARI

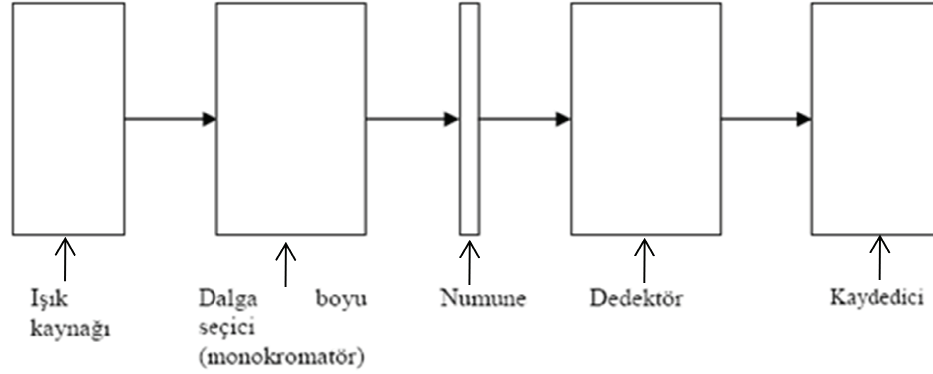
5.1 UV-Vis Spektrometre Cihazı

Elde edilen ZnO ince filmlerin optik özelliklerini belirlemek için önce oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmektedir. Bu ölçümler 200 – 1100 nm dalga boyu aralığına sahip Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmaktadır. Şekil 5.1’de geçirgenlik ve absorbans ölçümleri için kullanılan UV-Vis spektrometrenin fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Kullanılan UV-Vis spektrometresi.

Bir UV-VIS (mor ötesi ve görünür bölge) spektrometresi ışık kaynağı, bir monokromatör (dalga boyu seçicisi) ve dedektörden oluşur. Şekil 5.2’de spektrometrenin bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Bir UV-VIS spektrometresinin temel bileşenleri.

Bu cihazlarda ışık kaynağı olarak tungsten fitilli lambalar, ksenon ark lambaları, döteryum ve hidrojen lambaları kullanılır.

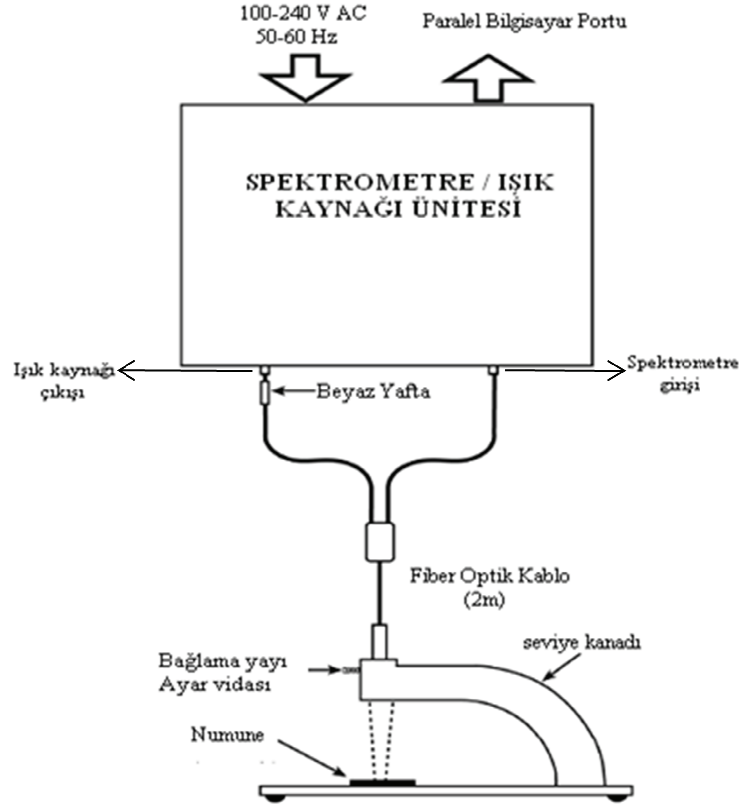
Soğurulmanın ölçülmesi sırasında, ışık kaynağından gelen polikromatik ışıktan tek bir dalga boyunda ışık seçilerek örneğe gönderilir. Daha sonra tek dalga boyuna ayrıştırılmış olan ışık numune üzerine düşer. Burada eğer fotonun enerjisi, enerji bant aralığından daha büyük ise fotonlar soğurulur, enerji bant aralığından daha küçük ise fotonlar soğurulmadan direk geçer (Şener 2006).

Maddeden geçen ışığın ne kadar soğurulduğunu anlamak için geçen demet şiddetini ölçmek üzere düzeneğe dedektör yerleştirilmiştir. Mor ötesi ve görünür bölgede kullanılan üç türlü dedektör vardır.

Dedektörde optik sinyaller elektrik sinyaline dönüştürülerek kaydediciye gönderilir. Elektrik sinyaline dönüşen optik sinyal bir kaydedici ya da galvanometre ile ölçülür.

5.2 İnterferometrik Ölçüm Cihazı

Elde edilen ZnO ince filmlerin kalınlıklarını ölçmek için Filmetrics F20 interferometrik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihazın kurulum düzeni şekil 5.3’de gösterilmiştir (Filmetrics F₂₀ operation manual, 2005).



Şekil 5.3 İnterferometre cihazın basit gösterimi (Filmetrics F₂₀ operation manual, 2005).

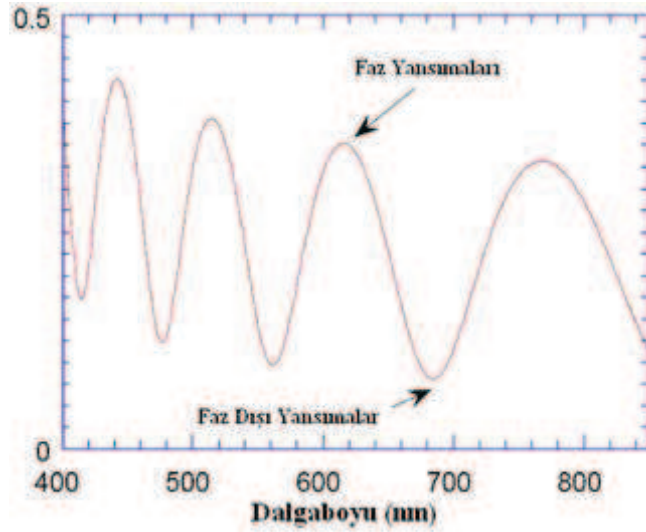
Bu cihazın ölçüm teorisi şöyledir:

F₂₀ cihazı, ince film özelliklerini, hem yansıtma hemde numunenin ışığı geçirgenliğini ölçer ve daha sonra bu ışığın dalgaboyu aralığı üzerinde analizini yapar. Bu dalga türü özelliklerinden dolayı, ince filmin yüzeyleri arasında ışığın yukarıdan aşağıya doru yansıtması eş fazlı olabilir, böylece yansımalar eklenir yada faz dışında olabilir, bu durumda da yansımalar çıkartılır. Bu yansımalar ister eş-fazlı ister faz dışında olsun (ikisinin arasında bir yerdede olabilir) filmin özelliklerine ve kalınlığına bağlı olduğu gibi ışığın dalga boyuna da bağlıdır (Kokkokoğlu, 2010).

$$L = (2 \times n \times d) \div i \quad (5.1)$$

Yansımalar faz içinde olduğunda L dalga boyu, n kırılma indisi, d filmin kalınlığı ve i bir tamsayıdır. Sonuç olarak yansıma spektrumunda yoğun dalgalanma özelliği vardır (şekil 5.4). Genelde daha kalın filmlerde verilen bir dalgaboyu aralığında

daha fazla dalga yoğunluğu olur. Dalganın titreşim genliği, kırılma indisi, filmlerin ve alttaşın sönüm katsayısı tarafından belirlenir. Bundan dolayı, periyodun analizi ve bu dalgalanmaların titreşim genliği F_{20} cihazı tarafından çoklu ince filmlerin optiksel özelliklerini (n ve k) ve kalınlığını belirleyebilir (Kokkokoğlu, 2010).



Şekil 5.4 Dalganın kırılma spektrumunun örneği (Filmetrics F_{20} operation manual, 2005).

Optik ince film kalınlığı ölçümleri iki işlemin başarıyla tamamlanmasını gerektirir:

Yansımaya spektrumunun elde edilmesi ve daha sonra eksiksiz analizi. Film kalınlığını belirlemek için Filmeasure paket programı, ölçülen spektruma mümkün olduğu kadar yakın eşleşen bir yansımaya spektrumu hesaplar. Bu ölçüm yansımaya spektrumunun nasıl görünmesi gerektiği üzerine bir başlangıç tahmini ile başlar. Numune için film yapısının kullanıcı girdisi üzerine temellenir. Daha sonra, hesaplanan yansımaya spektrumu ölçülen datalarla eşleşene kadar Filmeasure paket programı çözdüğü parametreleri çeşitlendirir. Matematiksel olarak, bu prosedür hesaplamadaki film kalınlıkları çeşitlendirildikçe çok yakın eşleşmelerin bulunabileceği gerçeği tarafından güçlendirilir. Bundan dolayı, daha iyi yaklaşımların başarılı bir şekilde bulunması yoluyla, basit bir biçimde bir çözüme yönelen bir yaklaşım eğer optiksel kalınlığın

başlangıç tahmini güncel kalınlık olan 1000\AA 'a yaklaşık olarak ulaşmazsa işe yaramayacaktır. Sadece kalınlığın ölçülmesinde Filmesure programı ölçülen ve hesaplanan spektraller arasında en iyi eşleşmeyi veren kalınlığı belirlemek için kabul edilebilir bütün kalınlık aralığının araştırılmasıyla, yanlış bir çözüme yönelmekten kaçınılır. Araştırılan kalınlık aralığı, kalınlık için başlangıç tahmini ile birlikte kalınlık aralığı tarafından belirlenir. Eğer başlangıç tahmini olarak kalınlık değeri girilmezse Filmesure programı 0-100 mikron arasındaki bütün kalınlık aralığını araştıracaktır. Filmlerin ölçülen kalınlıkları başlangıç tahminini sağlaması için oransal olarak araştırılmış kalınlık aralığı bir çözüm bulmak için faydalıdır (Filmetrics F₂₀ operation manual, 2005).

Bu ölçüm cihazıyla aynı zamanda optiksel sabit olan (n ve k) ölçümleri de yapılabilmektedir. Optik sabitlerin ölçümü (kırılma indisi n ve sönüm katsayısı k) film kalınlığının eş zamanlı olarak belirlenmesini gerektirir. Ancak saf alttaşın ölçümünde buna gerek yoktur. Filmesure programının film kalınlığı ve optik sabitleri belirlemek için kullandığı yaklaşım sadece kalınlığı ölçmek için kullanılan yaklaşımla aynıdır. Ölçülen ve hesaplanan yansıma spektralleri arasındaki eşleştirmeyi en iyi düzeye getirmek için n ve k dan da yararlanılır. n ve k dalga boyu fonksiyonu açısından farklılaştıklarından her dalga boyu için bunları ayrı ayrı çözümlenmek gerekir. Sadece yansıtma spektrumunu kullanarak hiç bilinmeyen bir materyal için bunu yapmak mümkün değildir. Çünkü her dalga boyunda sadece bir parametre (yansıma) bilinebilir ve iki bilinmeyen bulunur (n ve k). n ve k birbirinden bağımsız olmadığı, aralarında Kramers-Kronig bağıntısı ile bir ilişki olduğu bilinmektedir. Eğer bütün dalga boylarında n değeri bilinirse k sadece n değerinden hesaplanabilir. Çünkü n 'i belirli bir dalgaboyu değeri üzerinden ölçmek mümkündür, k ise doğrudan n değerinden hesaplanamaz. Gerçekte, çok sayıda data tek yansıma spektrumunun n ve k yı aynı anda belirlediğini gösterir herhangi bir dalgaboyundaki kırılma indisi yakın dalgaboyundaki kırılma indisinden bağımsız değildir, ama teorik bir denklemlerle modellendiğinde düzgün bir bağımlılık gösterebilir. Ayrıca eğer bir kırılma indisi denklemi varsa k bölgesinin Kramers-Kronig ilişkisi kullanılarak dönüştürülebilir. Böylece eğer kırılma indisi denkleminde üç ayarlanabilir parametre varsa, sadece bu üç parametreyi ve bunlara ilave olarak kalınlığı ayarlamak gerekir ki hesaplanan ve ölçülen

spektra eşleştirebilirsin. Bu nedenle, n ve k için uygun bir model seçilerek n ve k nın ölçümü dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ve modeldeki parametreleri elde edilen verilerle uygun olması için azaltılır. Filmeasure paket programı ölçülen numunenin türüne bağlı olarak farklı modeller kullanır. Bir çözüm bulmak için araştırılan parametre aralığı kalınlığa ek olarak modelin ayarlanabilir parametrelerini de içerdiğinden potansiyel olarak oldukça geniştir. Ayrıca, modelin kalınlığı çeşitlilik gösterebildiğinden yakın sonuçlar ortaya çıkabilir bu durumda araştırılan parametre aralığını daraltmak gerekir. İlk tahmine en yakın eşleşmeyi doğru kabul ederek yapılır (Filmetrics F₂₀ operation manual, 2005).

Ancak, eğer ilk kalınlık tahmini gerçek değer in yaklaşık yarım dalga boyu civarında ise bu çözüm yolu doğru olacaktır. Filmeasure paket programı daha güçlü bir çözüm almak ve n ile k 'yı çözmeye başlamadan önce gerçek kalınlığı tespit etmek için tüm sınırlı kalınlık aralığını ölçebilir (Filmetrics F₂₀ operation manual, 2005).

5.3 İnce Film Kalınlık Ölçer

Bu çalışmada RF saçtırma tekniğiyle elde edilen ZnO ince filmlerin üretim aşamasında vakum odası içerisindeki ince filmin kalınlığını ölçmek için Cressington marka ince film kalınlık ölçüm monitörü kullanılmıştır. Bu cihaz ile cam alt taş üzerinde depolanan ZnO bileşiğinin kalınlığı ölçülmüştür.

Altın (Au) kaplı kuartz krastali ile saniyede 5 ölçüm yapabilen, yüksek çözünürlüklü (0,1nm), 0-1000nm ölçüm aralığına sahip, basit parametre girişi (yoğunluk) olan, düşük maliyetli bir film kalınlığı ölçüm cihazıdır. Kullanılan ince film kalınlık ölçüm monitörü şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 İnce film kalınlık ölçüm cihazı.

5.4 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

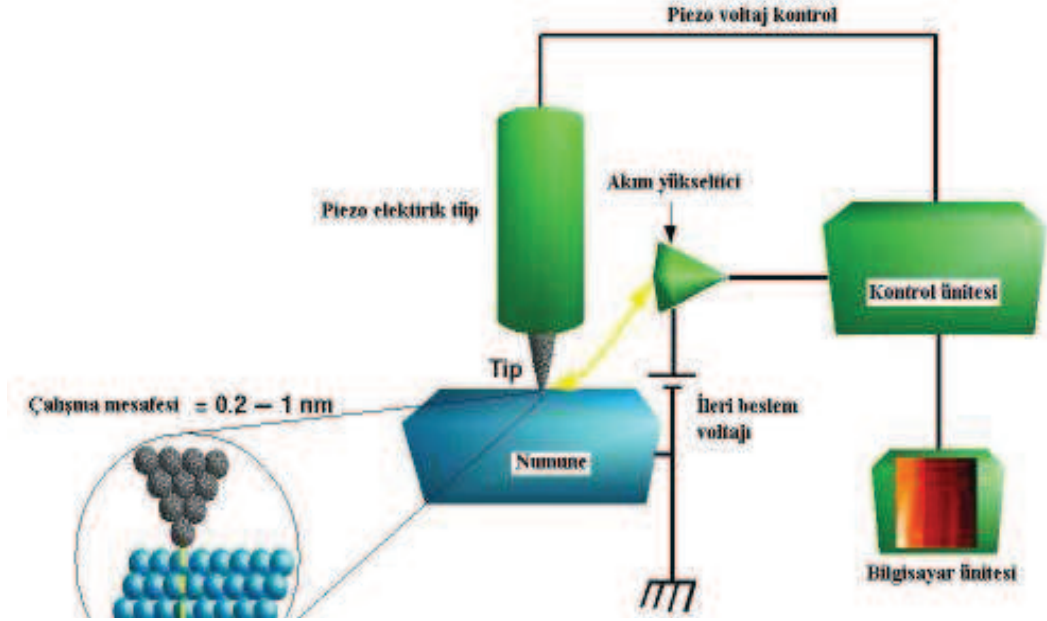
Bu çalışmada RF saçırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerin yüzey görüntülerini ve pürüzlülüğünü almak için Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu.

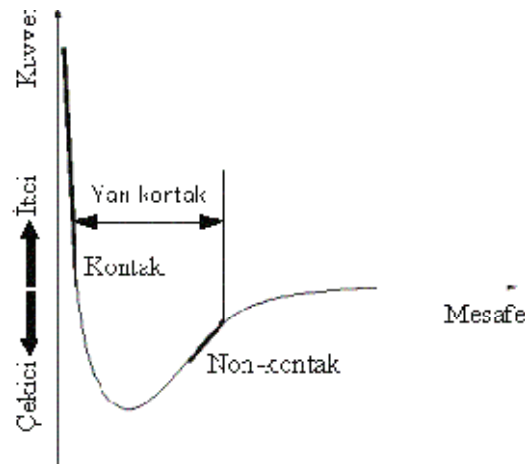
AFM, yüzey topografisini angstrom seviyesinden 100-150 mikrona kadar ölçebilen bir tekniktir. AFM 1986'da Binnig, Quate ve Gerber tarafından icat edilmiştir (Binnig et al., 1986; Johnson, 2005; Çörekçi, 2008).

Teknik, uç-yüzey arasındaki atomlar arası etkileşimleri esas alır. Tipik bir AFM'nin çalışma prensibi oldukça basittir. Şekil 5.7'de görüldüğü üzere 'cantilever'ın 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'ın saptmasına 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. Tekniğin en büyük avantajı STM'nin aksine incelenecek malzemenin elektriksel iletken olmasını gerektirmemesidir. 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 karşılaştırılabilecek düzeydedir. Görüntü boyutları (tarama alanı ve derinlik), görüntü kalitesinin ucun eğrilik yarıçapıyla sınırlı olması AFM tekniğinin önemli dezavantajlarıdır (Çörekçi, 2008).



Şekil 5.7 AFM'in çalışma prensibinin şematik gösterimi (Cheal, et al., 2003).

AFM ölçümleri kontak, non-kontak ve yarı-kontak (semicontact or tapping) olmak üzere üç farklı modda gerçekleştirilir. İşlemin modu uç-numune mesafesine göre belirlenir. Bunun için öncelikle uç ve numune yüzeyi arasındaki kuvvetlerin mesafeye bağlı değişiminin verildiği şekil 5.8'i göz önüne alalım (Johnson, 2005).



Şekil 5.8 Uç-numune arasındaki van der Waals kuvvetinin mesafe ile değişimi (Oura, et al., 2003; Johnson, 2005).

Ucun numuneye yaklaştırıldığı ilk durumda uç, numune yüzeyi tarafından zayıf bir biçimde çekilir (eğrinin sağ tarafı). 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 (eğrinin sol tarafı). Kontak modda uç-numune mesafesi birkaç Å mertebesinde. Bu yüzden uç numune yüzeyi ile hafif fiziksel temas halindedir ve itici kuvvetlere (10^{-9} N) tabiidir. 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 modda ise uç-numune mesafesi yaklaşık 50-150 Å mertebesinde. Bu durumda uç zayıf çekici kuvvetlere tabiidir. Bu çekici kuvvet kontak moddaki kuvvetlerden daha zayıftır ve kuvvet mesafe eğrisinden de görüleceği üzere 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 (Oura, et al., 2003; Johnson, 2005).

Yeni geliştirilen mikroskop çeşitlerinden biri olan Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy-AFM) ile malzeme yüzeyi analizleri yapılmaktadır. AFM cihazı, iğne ile örnek arasındaki kuvvetleri (basınçları) algılar. Özellikle yüzey pürüzlülüğünü belirlemekte kullanılan hızlı bir tekniktir. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek birçok ana problem (örneğin; sürtünme, kontak deformasyonu, ısı ve elektrik akım iletkenliği kontak köşelerin sızdırmazlığı ve yer doğruluğu) için

önemlidir. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü onlarca yıldır deneysel ve teorik araştırmaların konusu olmuştur (Gadelmawla, et al., 2002).

AFM'nin en önemli özelliği, alışılmış elektron mikroskopisi tekniklerinde kaçınılmaz olan, özel örnek hazırlanması, vakum gibi şartlara ihtiyaç duyulmadan, incelenen örnek yüzeyinin moleküler veya atomik seviyede üç boyutlu görüntüsünü verebilmesidir. Sıvı yada katı yüzey topografisini nanometre (nm) seviyesinde görüntüleyebilen ve moleküller arası kuvvetleri angstrom (Å°) mertebesinden 100 mikrona (μ) kadar ölçebilen bir sistemdir (Oura, et al., 2003).

AFM, görüntüleme metotları arasında en yaygın uygulama alanına sahiptir ve hızla gelişmekte olan nanoteknolojiler için vazgeçilmezdir. Elektronik, biyoloji, telekomünikasyon, kimya, otomotiv, uzay–havacılık ve enerji gibi endüstrilerde kullanılmaktadır.

AFM'ler düşük sıcaklıklarda yada boşlukta çalıştırılabilirler. DNA ve proteinler gibi biyolojik yapıların görüntülenmesinde kullanılmış ve hatta bazı kimyasal süreçleri, oluşum sırasında görüntülenmiştir (Fishbane, et al., 2003).

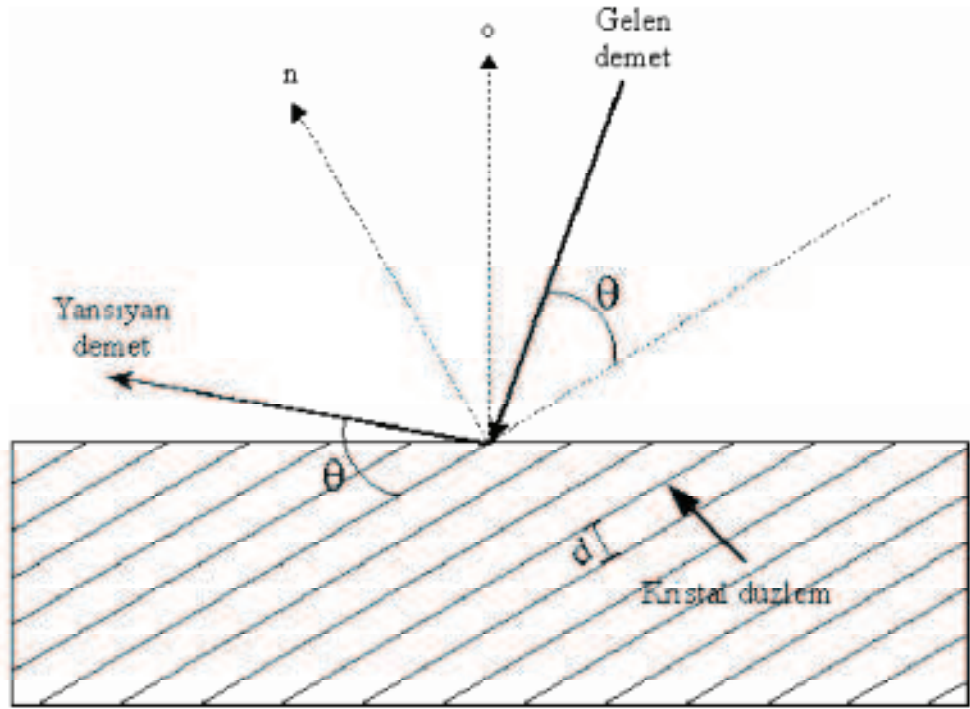
AFM'de çok hassas bir iğnenin (tip) yüzeyi taramasıyla atomlar arası kuvvetler nanonewton hassasiyetiyle ölçülür. Ölçülen yüzeyin özelliklerini büyük bir doğrulukla tespit edebilmek için, ucun uzaysal pozisyonunu ayarlamaya yarayan piezoelektrik güç vericileri kullanılır. Bu hareketten faydalanılarak bilgisayar ortamına aktarılan veriler, yazılım aracılığıyla derlenerek ya numunenin görüntüsü elde edilir ya da iğne ve numune arası etkileşimler ölçülür.

5.5 X-ışınları difraksiyonu(XRD)

Bir kristal üzerine gelen X-ışınları kristaldeki atomlar tarafından saçılır. Bu girişim ve kırınım olaylarına yol açar. Örneğin; X-ışınlarının eşit aralılıklarla sıralanmış paralel örgü düzlemleri üzerine θ açısıyla geldiğini varsayalım (Şekil 5.9). Bu durumda ardışık iki düzlemden yansıyan ışınlar arasındaki yol farkı $2d\sin\theta$ olur. Burada “d” düzlemler arası mesafedir. Yapıcı girişim oluşması için, bu yol farkları dalgaboyunun

tam katları şeklinde olmalıdır ($2d\sin\theta=n\lambda$, $n=0, 1, 2, 3\dots$). Bu Bragg yasası olarak bilinir (Guinier, 1994; Küçükgenç, 2008).

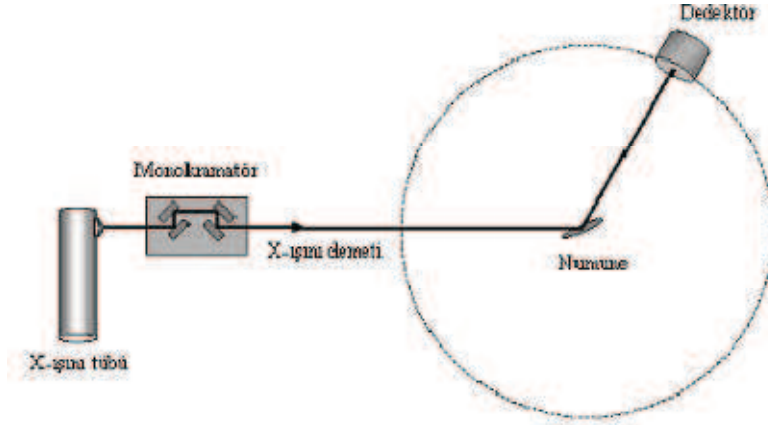
$$mB\lambda = 2dBSin\theta \quad (5.2)$$



Şekil 5.9 XRD saçılma geometrisi (“o” ve “n” sırasıyla numune yüzeyi ve yansıma düzlemleri normalini) (Küçükgenç, 2008).

Şekil 5.10’da gösterilen X-ışınları difraksiyonu (XRD) alttaş üzerine büyütülen ince filmlerin karakterizasyonu için kullanılan bir tekniktir. İnce film ve çok katmanlı yapıların kalınlıkları, yoğunlukları ve pürüzlülükleri hakkında bilgi sağlar (Zhang, 2003; Kars, 2007). Ayrıca amorf, kristal, organik ve organik olmayan filmler için de kullanılabilir. 5\AA ve 400 nm arasında tabaka kalınlıkları ve $0-20\text{\AA}$ arasında yüzey pürüzlülükleri için iyi sonuç verir.

Epitaksiyel tabaka, kalınlık, bileşik yüzdeleri ve örgü bozuklukları hakkında bilgi edinilir.



Şekil 5.10 XRD cihazının şematik resmi (Korçak, 2006).

Sonuç olarak, bir x-ışını kırınım demetinden;

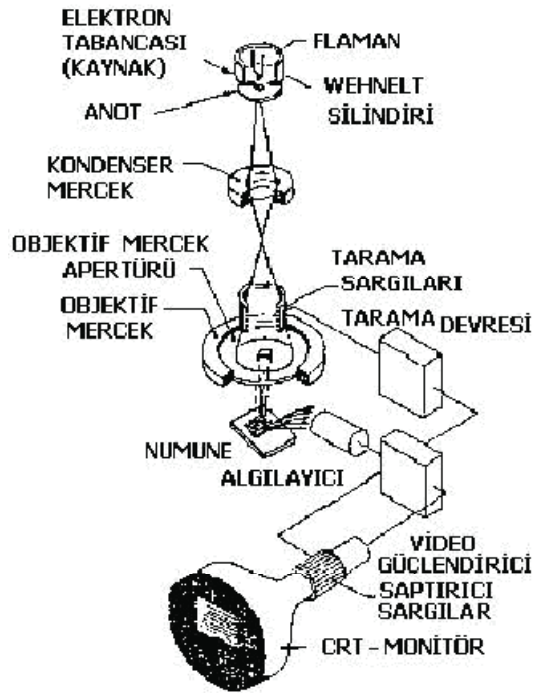
1. Bir katıdaki düzlemler arasındaki mesafe (atomların oluşturduğu sıralar)
2. Tek kristalin veya taneciğin yönelimi
3. Bilinmeyen bir malzemenin kristal yapısı
4. Tanecik boyutu, stresi ve şekli hakkında bilgi edinilebilir (Kars, 2007).

5.6 Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM)

Şekil 5.11’de tarama elektron mikroskobunda görüntü oluşumu şematik olarak verilmiş olup, tarama elektron mikroskobunda görüntü incelemesi, numunenin elektron demeti ile olan çok çeşitli etkileşimleri değerlendirilerek yapılır.

Tarama elektron mikroskobunun optik kolonunda; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anod plakası, demeti toplama ve yönlendirmede kullanılan kondenser ve objektif mercekleri, demet çapını sınırlamada kullanılan apertürler, numune yüzeyini taraması için demeti istenilen şekilde saptıran tarama bobinleri bulunur. Tarama elektron mikroskobunun optik kolonunu geçtikten sonra numune odasına giren elektron demeti numune yüzeyine tek bir noktadan çarpar. Çarpma

sonucu ikincil elektronlar, geri saçılan elektronlar, soğurulmuş elektronlar ile karakteristik ve sürekli x ışınları gibi sinyaller ortaya çıkar. Numune yüzeyi üzerindeki her bir noktadan gelen sinyallerin tek tek toplanmasıyla tarama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu sinyallerin uygun alıcılar tarafından toplandıktan sonra şiddetlendirilip bir katot ışınları tüpüne aktarılmasıyla görüntü elde edilir (Dulda, 2006).



Şekil 5.11 Elektron mikroskobunda görüntü oluşumunun şematik gösterimi ve görüntü oluşumu için kullanılan optik kolon (Goldstein ve Yakowitz, 1975).

5.7 Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektroskopisi (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy-EDS)

Numune üzerinde oluşan x-ışınlarının enerji dağılımı spektrumuna göre numune hakkında bilgi veren bir yöntemdir. Uyarılmış numune yüzeyindeki etkileşim hacminden çıkan x-ışınları algılayıcı üzerine düşer. Algılayıcı ve buna bağlı öngüçlendiricide x-ışınının enerjisine göre bir gerilim atımı (puls) oluşur. Bu gerilim atımı ara güçlendiricide yükseltildikten sonra ölçme ve sayma işlemini yapan çok

kanallı analizöre gelir. Burada X-ışınının enerjisine orantılı olan atım yüksekliği ölçülür, bellekte o enerjinin sayısı bir artırılır. Bellekte toplanan veriler spektrum adı verilen grafiklerle gösterilirler. Spektrumlar belli zaman süresi içinde gelen değişik enerjilerdeki X-ışınları fotonlarının sayısını gösterirler. Numunenin etkileşim hacminde hangi element varsa o elementin karakteristik enerjisine sahip fotonların sayısı daha fazla olacağından, spektrumda bu enerjilerde birbirinden ayrı pikler oluşur. Oluşan pik şiddetlerinden de elementlerin ağırlıkça ve atomal bulunma yüzdeleri hesaplanarak kantitatif olarak analiz yapılmaktadır (Egerton, 2005; Dulda, 2006).

5.8 Spektroskopik Elipsometre

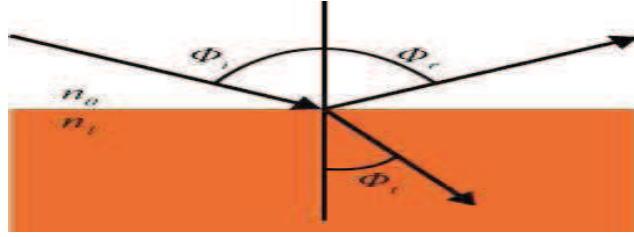
Elipsometre, ışığın bir malzemedan geçmesi veya yansıması sırasında kutuplanmasında (polarization) oluşan değişikliği ölçer. Kutuplanmadaki değişim, genlik oranı Ψ (psi) ve faz değişimi Δ (delta) ile ifade edilir. Elde edilen veriler her bir malzemenin optik özelliklerine ve ölçülen filmin kalınlığına bağlıdır. Böylelikle elipsometre film kalınlığı tayininde ve malzemelerin optik sabitlerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bununla beraber, elipsometre malzemelerin bileşiminin, kristalleşme seviyesinin, pürüzlüğünün ve katkılama oranının belirlenmesinde de kullanılabilir. Elipsometre için ışığın sadece elektrik alan bileşeninin salınımının incelenmesi yeterli olacağından, numune üzerine düşürülen ışık bir polarize filtreden geçirilir (TT90 Spektroskopik Elipsometre Kataloğu 2010).

Bir elektromanyetik dalganın elektrik alanının yönü daima ilerleme yönüne dik yöndedir. Bu sayede z yönünde ilerleyen bir elektromanyetik dalga x ve y bileşenleri cinsinden tanımlanabilir. Işığın x ve y bileşenleri ve fazı tamamen rastgele olduğu durumda ışığa kutuplanmamış ışık, her noktasında belirli bir yönelim ve şekil gösteren ışığa kutuplanmış ışık denir. x ve y bileşenleri aynı fazda olan ışığa doğrusal kutuplanmış ışık, x ve y bileşenleri aynı büyüklükte ama aralarında 90 derece faz farkı olan ışığa dairesel kutuplanmış ışık, x ve y bileşenlerinin büyüklüğü ve faz farkı rasgele bir değere sahip olan ışığa eliptik kutuplanmış ışık denir. Eliptik kutuplanmış ışık en genel kutuplanmış ışık türüdür ve elipsometre sistemine de adını veren bu eliptik kutuplanmış ışıktır (Özkan, 2010).

Yüzeye gelen ışığın bir kısmı şekil 5.12'deki gibi geldiği açıyla yansır bir kısmı ise kırılarak malzemenin içinde hareketine devam eder. Kırılan ışığın yeni yönelimi

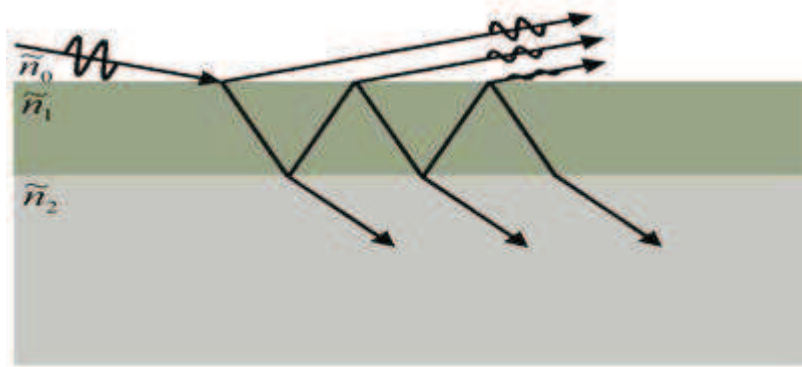
$$n_0 \sin(\phi_i) = n_1 \sin(\phi_t) \quad (5.3)$$

ifadesinde tanımlandığı şekilde olur (Özkan, 2010).



Şekil 5.12 Işığın bir yüzeyden yansması (Özkan, 2010).

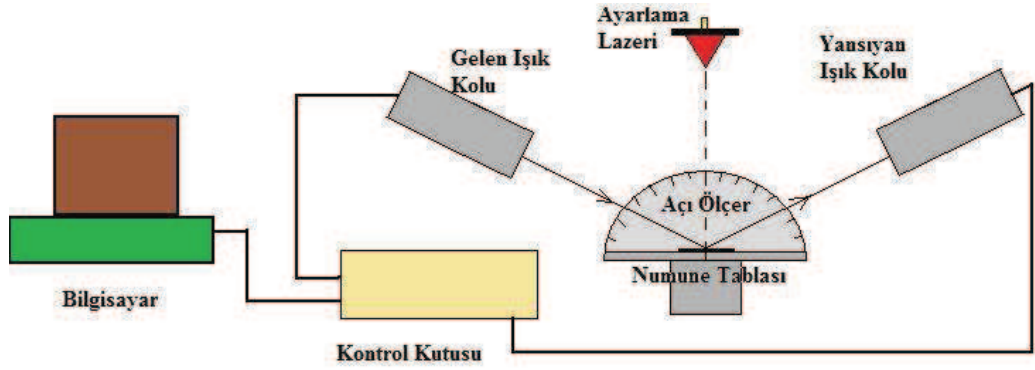
Bir yüzeye gelen ışığın yatay bileşeninin yansması ile dikey bileşeninin yansması farklı olur. Aynı şekilde kırılmaları da farklı olacaktır. Bir ince filmin üst yüzeyinden yansıyan ışık ile alt yüzeyinden yansıyan ışık üst üste binerek nihai yansımış ışığı oluşturacaktır (şekil 5.13). Böylece filmin kalınlığıyla da orantılı bir şekilde yatay bileşenlerin büyüklüğü ile dikey bileşenlerin büyüklüğü değişerek kutuplanmış ışığın eliptik şekli yön değiştirecektir (Arı, 2007).



Şekil 5.13 Bir ince film üzerine düşürülen ışığın izlediği yol (Özkan, 2010).

Ölçüm alınacak yüzeye doğrusal kutuplanmış ışık gönderilerek yansıyan ışığın kutuplanması ölçülür.

Buradan yola çıkılarak malzemenin optik sabitlerinin bilinmesi durumunda film kalınlığı, film kalınlığının bilinmesi durumunda da optik sabitleri bulunabilir. Elipsometrenin kullanım amacı da budur. Bir elipsometre sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşur (Şekil 5.14); Bilgisayar, Kontrol Kutusu, Gelen Işık Kolu, Yansıyan Işık Kolu (Dedektör), Ayarlama Lazeri, Açık Ölçer, Numune Tablası.



Şekil 5.14 Bir spektroskopik elipsometre cihazının şematik gösterimi (Özkan, 2010).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLERİ

6.1 Giriş

RF saçtırma tekniği kullanılarak çeşitli konsantrasyonlarda ZnO ince filmler lamel üzerine depolanmıştır. Hedef olarak saf Zn kullanılmış ve vakum odası içine reaktif gaz olarak O₂ gönderilmiştir. Oluşturulan bu ZnO ince filmlerin optik ve yüzey özellikleri incelenerek, farklı %xAr+% (100-x)O₂ gazı konsantrasyonundaki özellikleri ve farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

6.2 Deneysel Sistem

RF saçtırma sistemi beş ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. RF güç kaynağı
2. Vakum pompası
3. Eşleştirme ünitesi
4. Gaz karıştırıcı
5. Vakum odası

RF saçtırma sisteminde deney yaparken öncelikle, vakum pompası çalıştırılarak atmosferik basınçtaki gaz karıştırıcının içi vakumlanır. Ayrıca vakum odası istenilen basınç değerine düşürülünceye kadar vakumlanır. Vakum odasının içinde iki paralel elektrot bulunmaktadır. Depolanmak istenen hedef malzeme olan çinko, elektrotlardan birinin üzerine yerleştirilir. Diğer elektrot üzerine ise etil alkol ile temizlenmiş lamel yerleştirilir.

Daha sonra gaz karıştırıcının içine Ar ve O₂ gazı depolanır. Ar ve O₂ gazları her seferinde farklı yüzdelerle %xAr + %(100-x)O₂ depolanmıştır. İstenilen basınç değerine düşürülen vakum odası içine kontrollü olarak Ar ve O₂ gazları gönderilir.

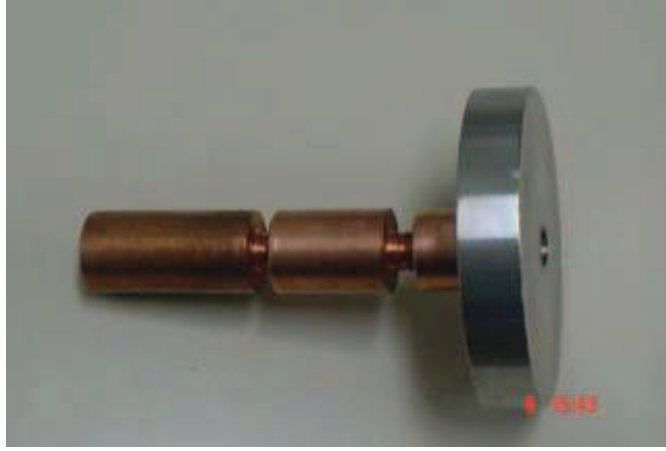
Son olarak RF güç kaynağından gönderilen radyo frekansı, eşleştirme ünitesi sayesinde mekanik titreşime dönüştürülerek Ar ve O₂ gaz karışımının plazması oluşması sağlanır.

Eşleştirme ünitesi iki kapasitör arasına bir indüktör yerleştirilerek oluşturulan bir sistemdir. Bu sistemde soğutma ise su ile gerçekleştirilir. Şekil 6.1 de RF saçırma sisteminin fotoğrafı gösterilmiştir.



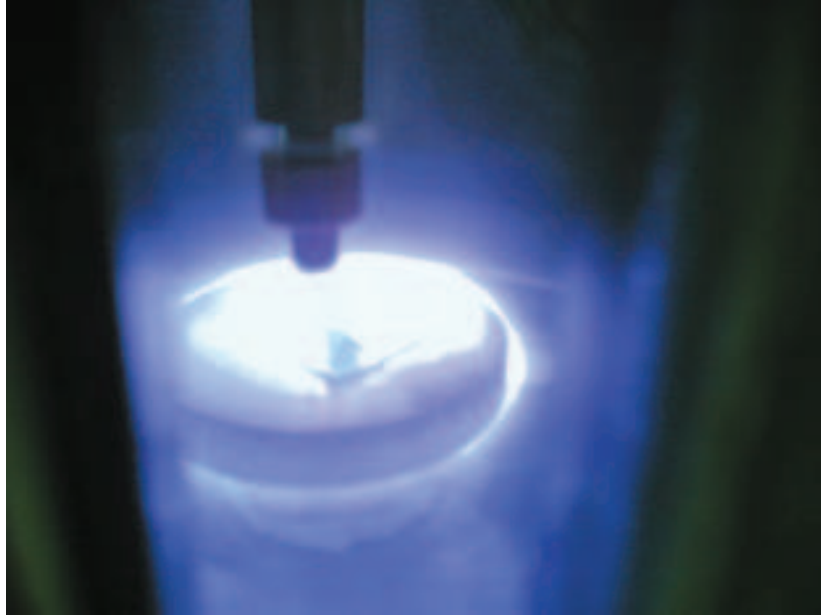
Şekil 6.1 RF saçırma sisteminin fotoğrafı.

Şekil 6.2.'de ise RF saçırma sisteminin içerisindeki alt taş olarak kullanılan çinkonun üzerine konulduğu **hedef elektrot** un fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 6.2 Hedef elektrot.

Şekil 6.3' de ise RF saçırma tekniğiyle ZnO ince film üretilirken çekilen fotoğraf gösterilmiştir.



Şekil 6.3 RF saçırma tekniğiyle ZnO ince film üretilirken çekilen bir fotoğraf.

6.3 ZnO İnce Film Üretim Parametreleri

RF saçtırma tekniği ile saf Zn metalinden (10mmx10mmx1mm) %xAr + %(100-x)O₂ gaz karışımı plazması oluşturularak ZnO ince filmleri elde edilmiştir. x değerleri hesaplanırken ise kısmi basınç yasasından;

$$x = \frac{P_{Ar}}{P_{Ar} + P_{O_2}} \quad (6.1)$$

hesaplanmıştır.

ZnO ince film üretmek için kullanılan deneysel parametreler çizelge 6.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Deneysel parametreler

%Ar(x)	%O ₂ (100-x)	Basınç (Torr)	Süre (dk)	Uygulanan Güç(W)
%10	%90	1.2*10 ⁻¹	70	200W
%20	%80	1.2*10 ⁻¹	80	200W
%30	%70	1.2*10 ⁻¹	80	200W
%40	%60	1.5*10 ⁻¹	70	200W
%50	%50	1.3 *10 ⁻¹	80	200W
%60	%40	2*10 ⁻¹	80	200W
%80	%20	6*10 ⁻²	100	400W
%85	%15	6*10 ⁻²	80	400W
%90	%10	6*10 ⁻²	80	400W

6.4 Üretilen ZnO Numunelerinin Analizleri

RF saçtırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerin bazı fiziksel, optiksel ve yüzeysel özelliklerinin analizleri yapılmıştır. Üretilen ZnO ince filmler için;

- XRD

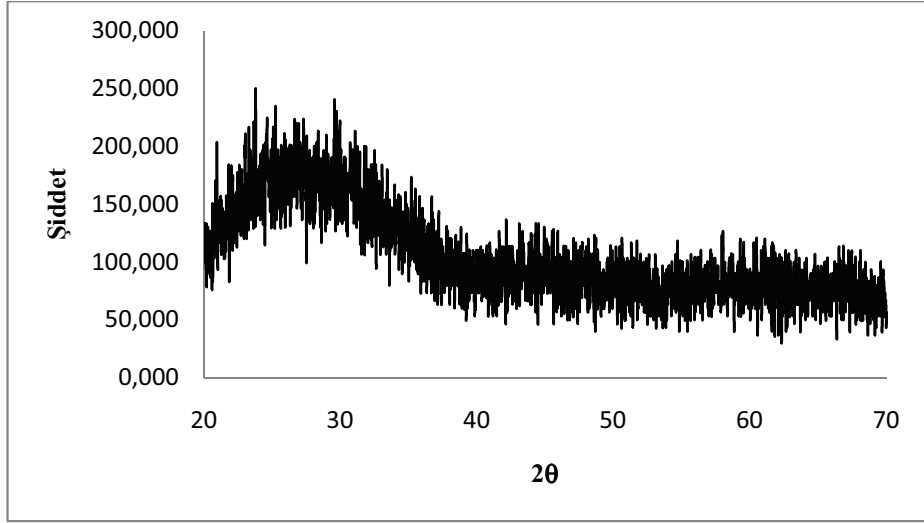
- SEM,
- EDS
- AFM
- Ortalama yüzey pürüzlülüğü,
- filmlerin kırılma indisi,
- yansıma,
- kalınlık ölçümleri,
- geçirgenlik
- absorbans
- yasak enerji aralığı

belirlenmiştir.

RF saçırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerin mikroyapıları, kristal yönelimleri ve kristalografik bilgileri XRD cihazı (Brugger) kullanılarak elde edilmiştir. Yüzey yapıları hakkında bilgiler edinebilmek için SEM, EDS, AFM ve Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmıştır. Yansıma ve kalınlık ölçümleri Filmmetrics F20 interferometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geçirgenlik ve absorbans ölçümleri için Uv-vis spektrofotometre cihazı (perkin emler Uv-vis spektrofotometre Lambda2 S) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kırılma indisi ve kalınlık değerleri Elipsometre cihazı ile 300-1000nm aralığında elde edilmiştir.

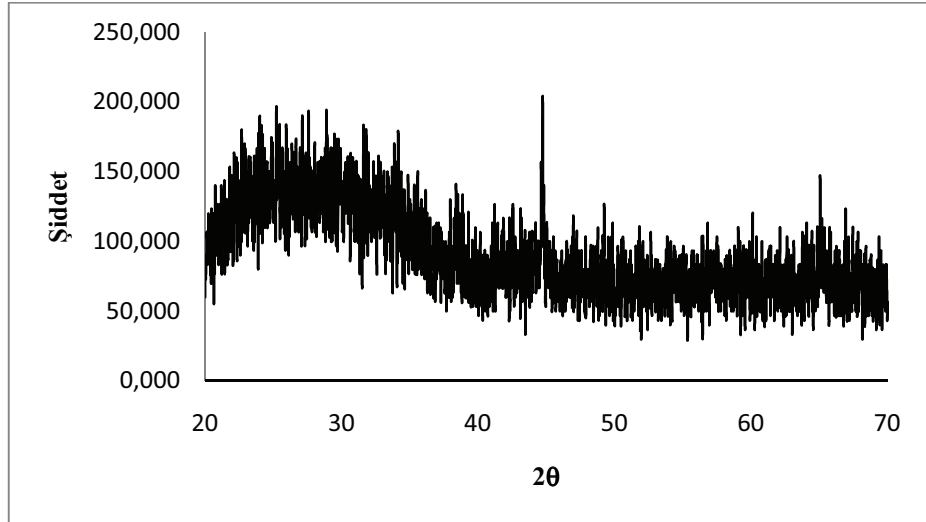
6.4.1 XRD analizleri

RF saçırma tekniği ile cam alttaş üzerine üretilen farklı konsantrasyonlardaki ZnO ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=1540$ nm dalga boyuna sahip $CU_{K\alpha}$ ışınları kullanılarak $20^{\circ}<2\theta<70^{\circ}$ aralığında kırınım desenleri alınarak yapılmıştır. Farklı Ar konsantrasyonlarında elde edilen XRD sonuçları şekil 6.4-6.12 aralığında gösterilmiştir.



Şekil 6.4 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

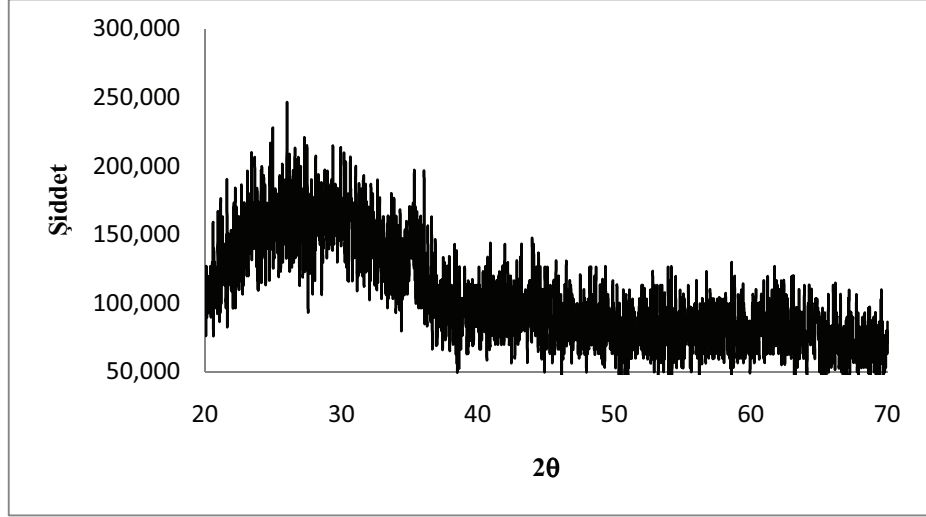
Şekil 6.4' de %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu konsantrasyona sahip ZnO ince filmin amorf yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 6.5 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

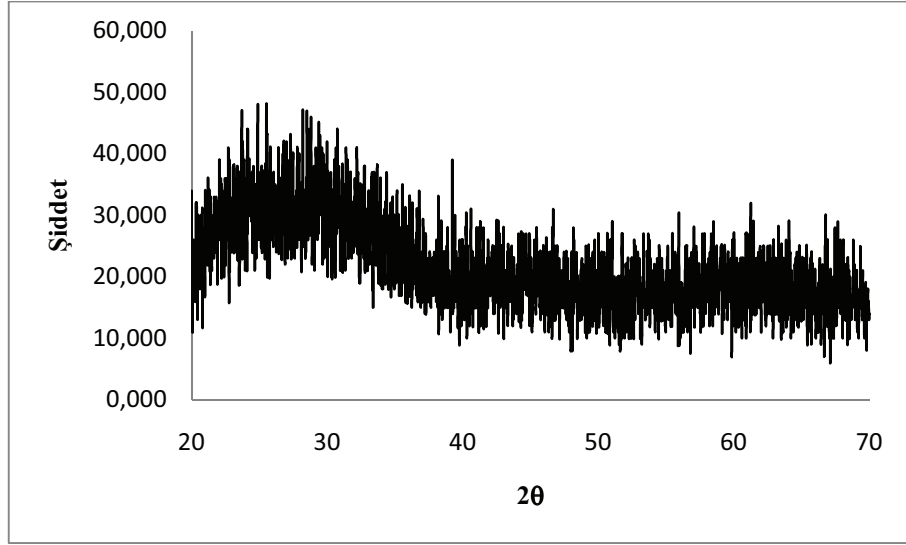
Şekil 6.5' de %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu konsantrasyona sahip ZnO ince filmde safsızlıktan

kaynaklandığını düşündüğümüz pikler mevcuttur. Yine de bu ZnO ince filmi için amorf yapıdadır denilebilir.



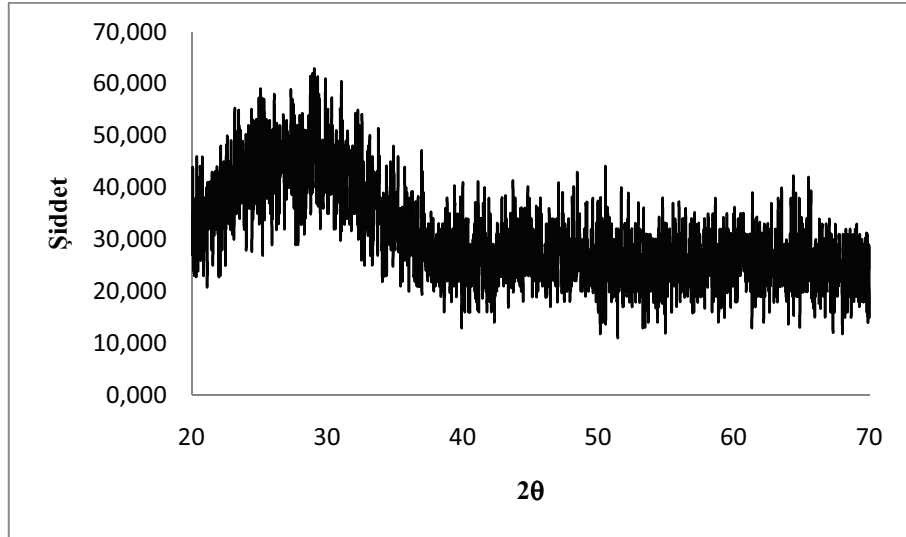
Şekil 6.6 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

Şekil 6.6' da %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 31.78°, 63,1° ve 68,85° 2θ değerlerinde (1 0 0), (1 0 3) ve (2 0 1) düzlemlerine ait çok düşük şiddetli pikler olduğu gözlenmektedir. %20 O₂ - %80 Ar konsantrasyonunda depolanan ZnO ince filmin de küçük şiddetli ZnO pikleri görülse de depolanan bu film amorf bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.



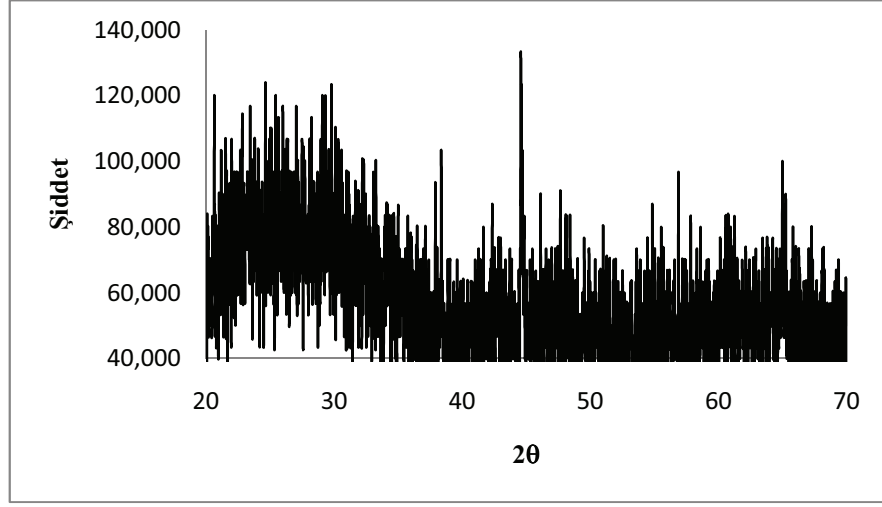
Şekil 6.7 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

Şekil 6.7' de %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu konsantrasyona sahip ZnO ince filmin amorf yapıda olduğu görülmektedir.



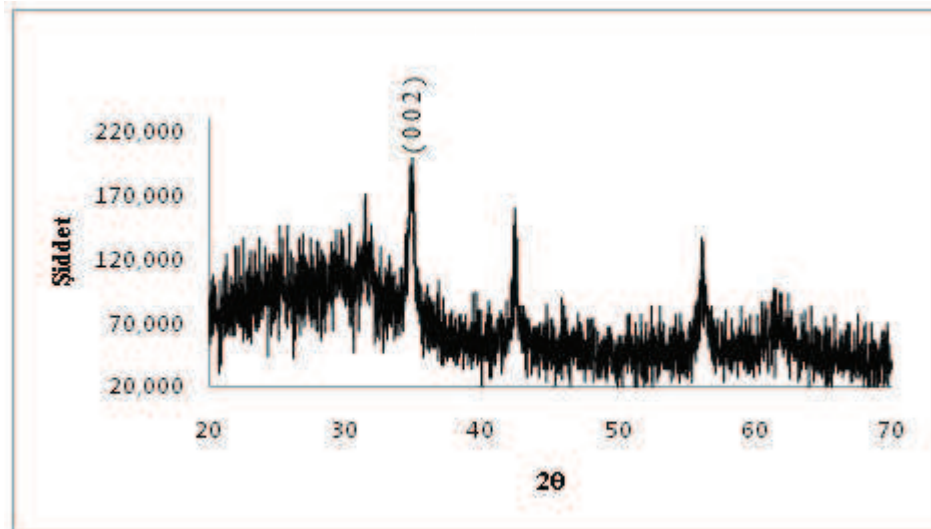
Şekil 6.8 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

Şekil 6.8' de %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu konsantrasyona sahip ZnO ince filmin amorf yapıda olduğu görülmektedir.



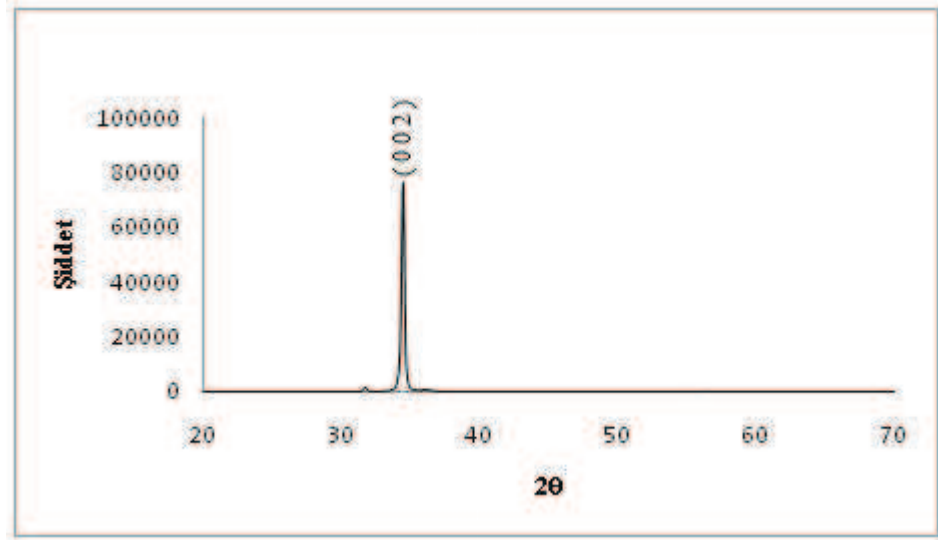
Şekil 6.9 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

Şekil 6.9' da %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre safsızlıktan kaynaklandığını düşündüğümüz pikler gözükse de bu konsantrasyona sahip ZnO ince filmi amorf yapıda olduğu söylenebilir.



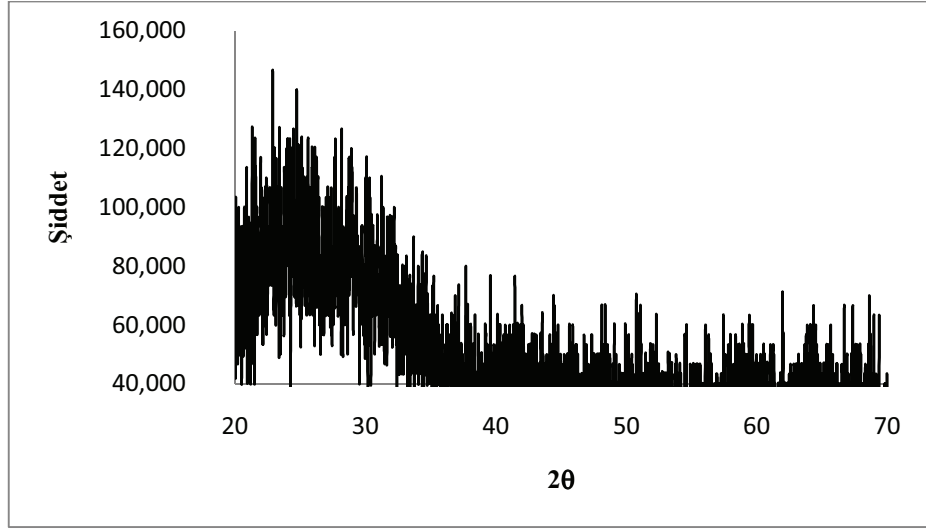
Şekil 6.10 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

Şekil 6.10' da %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre 34,72° lik 2θ değerinde (002) düzlemine ait bir pik görülmektedir. Buna ilaveten 36,4°, 66,2°, 66,8° 2θ değerlerinde (101), (200) ve (112) düzlemlerine ait düşük şiddetli ZnO pikleri mevcuttur. Ayrıca 42,35° ve 56,00° lik 2θ değerlerinde de safsızlıktan kaynaklandığını düşündüğümüz ZnO ait olmayan pikler mevcuttur. Elde edilen bu pik değerine göre %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonunda üretilen ZnO ince filminin polikristal bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.11 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

Şekil 6.11' de %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre 34,44° lik 2θ değerinde (002) düzlemine ait bir pik görülmektedir. Elde edilen bu pik değerine göre %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonunda üretilen ZnO ince filminin tek kristal bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.12 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi.

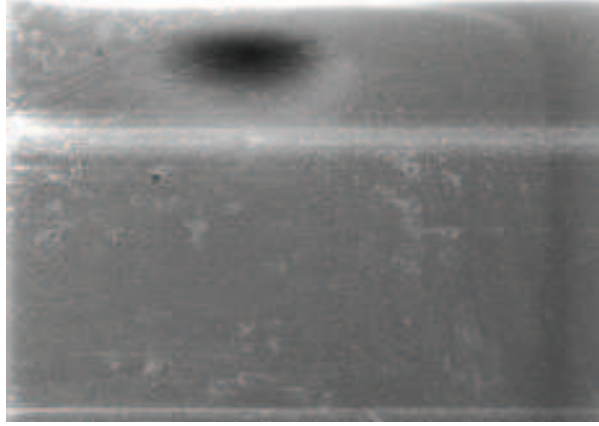
Şekil 6.12' de %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin XRD analizi verilmiştir. Bu konsantrasyona sahip ZnO ince filmin amorf yapıda olduğu görülmektedir.

6.4.2 SEM ve EDS analizi

%10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.2'de verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından %72.179 oranında oksijen ve %0.978 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %26.843 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.2 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	72.179
Zn	0.978
Si	26.843

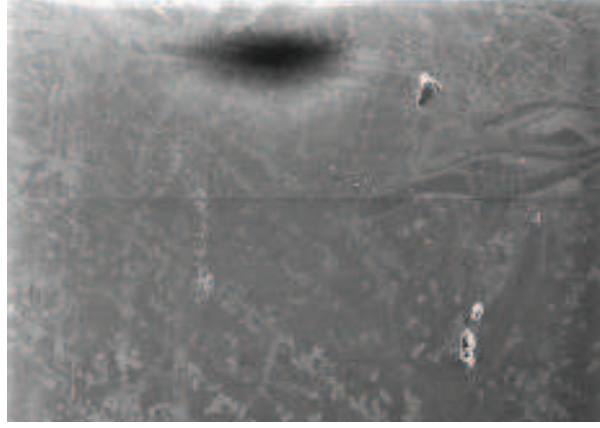


Şekil 6.13 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

%20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.3' de verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 69.895 oranında oksijen ve %1.370 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %28.735 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.3 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	69.895
Zn	1.370
Si	28.735

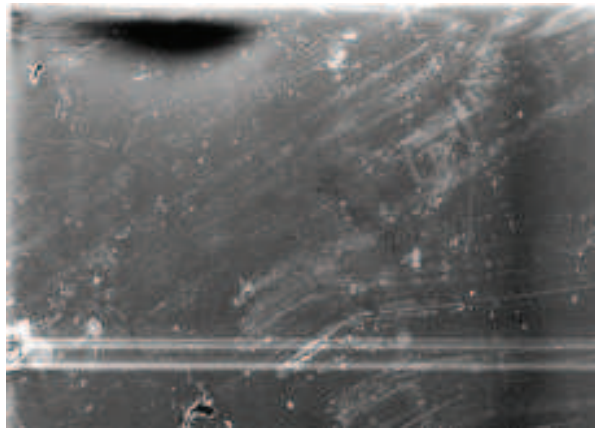


Şekil 6.14 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

%30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.4’de verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 73.172 oranında oksijen ve %1.567 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %25.262 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.4 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	73.172
Zn	1.567
Si	25.262

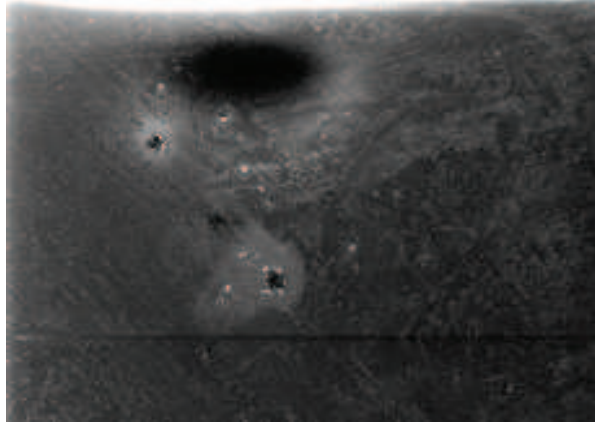


Şekil 6.15 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

%40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.5’de verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 73.219 oranında oksijen ve %1.65 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %25.131 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.5 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	73.219
Zn	1.650
Si	25.131

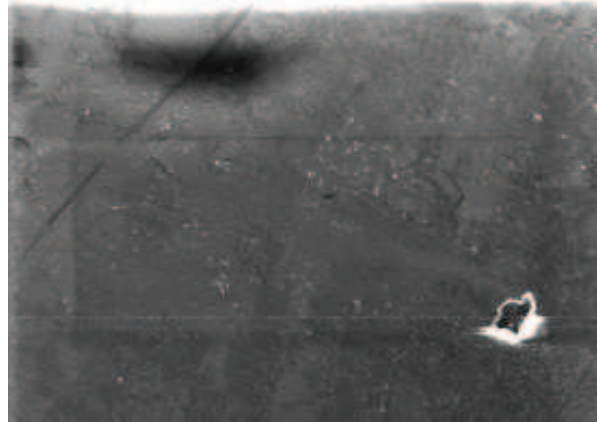


Şekil 6.16 %60 O₂ - %40 Ar konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

%50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.6’da verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 64.839 oranında oksijen ve %1,077 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %34.084 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.6 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	64.839
Zn	1.077
Si	34.084

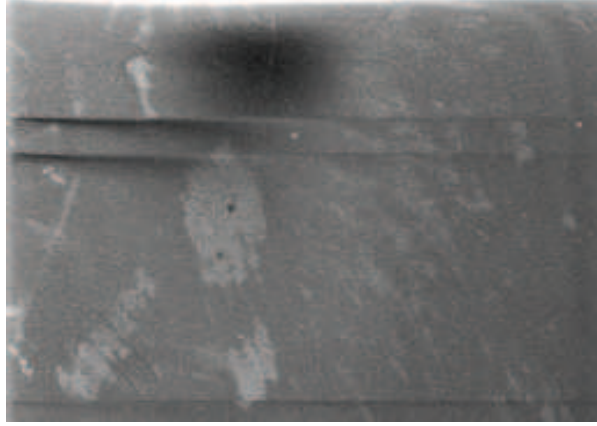


Şekil 6.17 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

% 60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.7’de verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 64.886 oranında oksijen ve %1,218 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %33.896 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.7 % 60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	64.886
Zn	1.218
Si	33.896

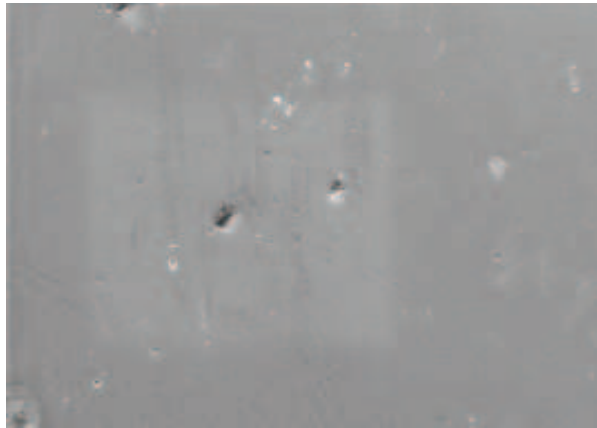


Şekil 6.18 % 60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

% 80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.8 'de verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 34.196 oranında oksijen ve %56.237 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %9.567 oranında silisyum görülmektedir. Bu analiz sonucunu XRD analiz sonucu da desteklemektedir.

Çizelge 6.8 % 80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	34.196
Zn	56.237
Si	9.567

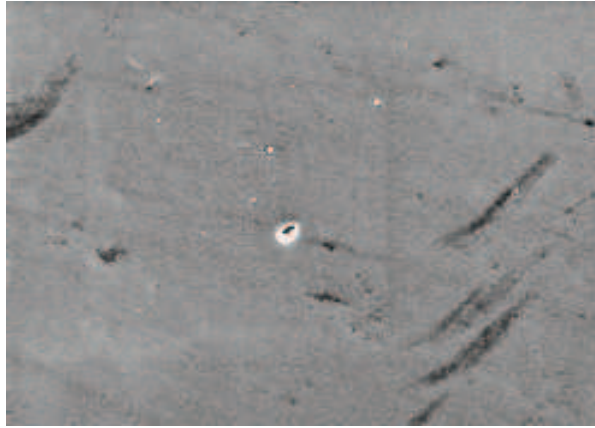


Şekil 6.19 % 80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

% 85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.9’ da verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından %15.594 oranında oksijen ve %84.046 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %0.360 oranında silisyum görülmektedir. Bu analiz sonucunu XRD analiz sonucu da desteklemektedir.

Çizelge 6.9 % 85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

Element	Yüzdece Ağırlık
O	15.594
Zn	84.046
Si	0.360

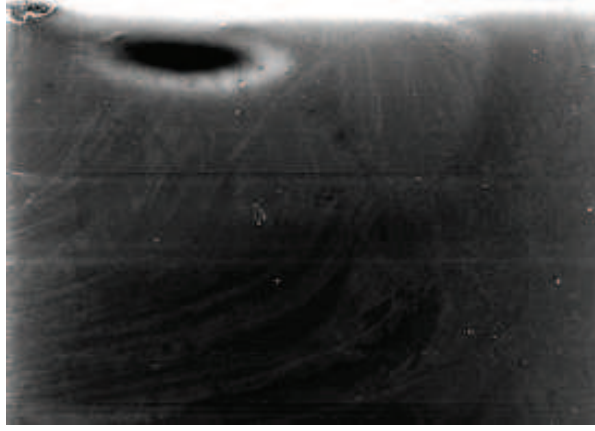


Şekil 6.20 % 85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü.

% 90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin EDS sonucu çizelge 6.10’ da verilmiştir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 64.643 oranında oksijen ve %0.883 oranında çinko görülmektedir. Ayrıca üretilen film cam üzerine olduğu için %34.590 oranında silisyum görülmektedir.

Çizelge 6.10 % 90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin EDS sonucu

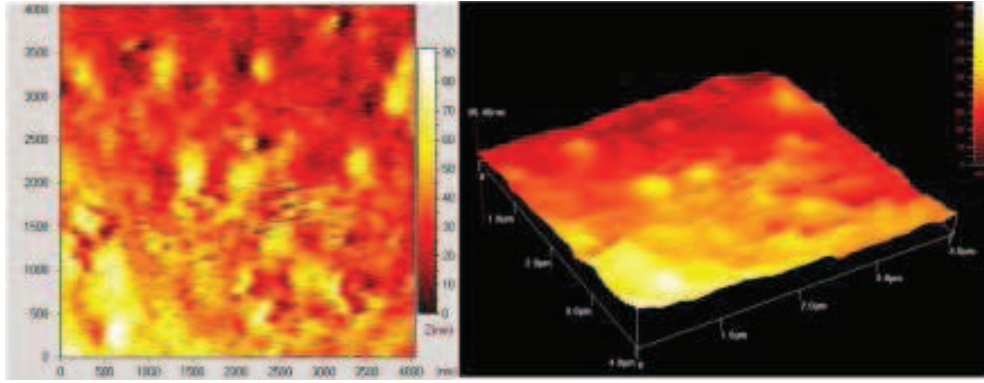
Element	Yüzdece Ağırlık
O	64.528
Si	34.590
Zn	0.883



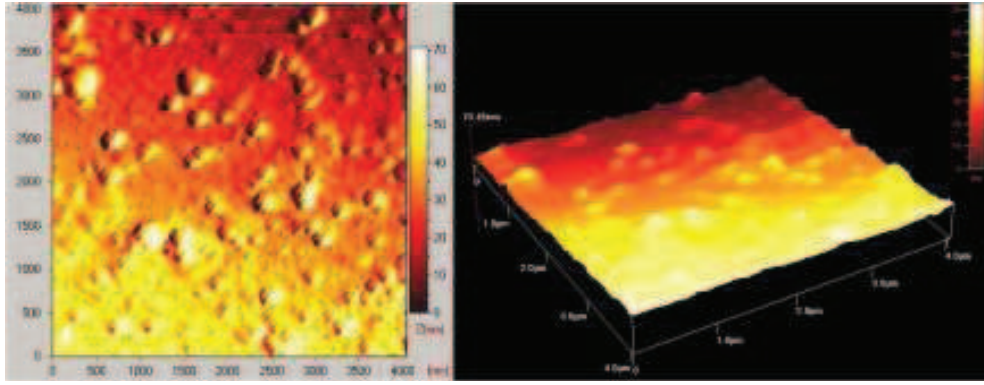
Şekil 6.21 %10 O₂ - %90 Ar konsantrasyonundaki ZnO ince filminin SEM görüntüsü

6.4.3 AFM Analizleri

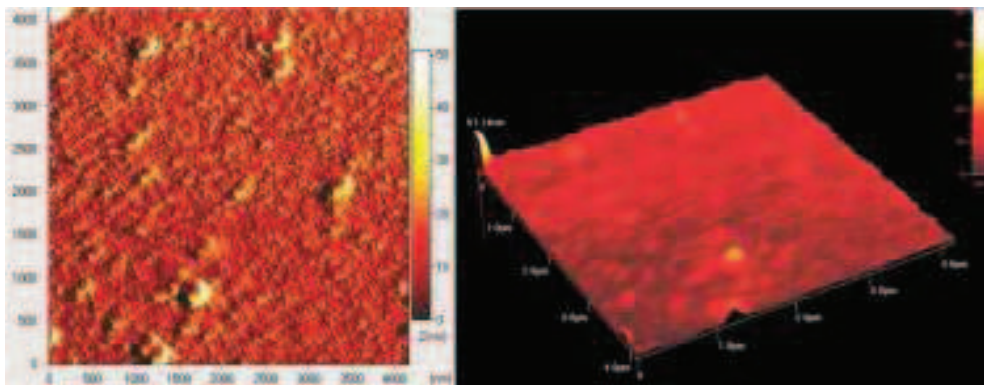
RF saçtırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerinin yüzey görüntüleri, Ambios marka Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak elde edilmiştir. Yüzey görüntüleri 4 μm^2 'lik alan taranarak görüntülenmiştir. RF saçtırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüleri şekil 6.22 ile 6.30 arasında gösterilmiştir.



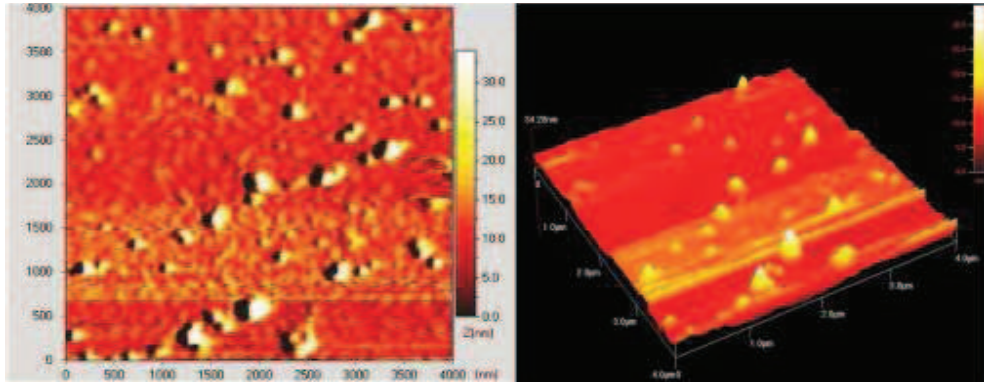
Şekil 6.22 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



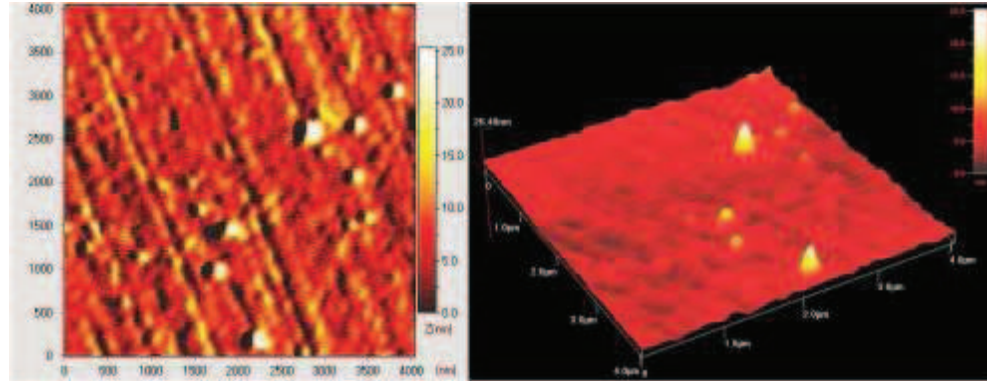
Şekil 6.23 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



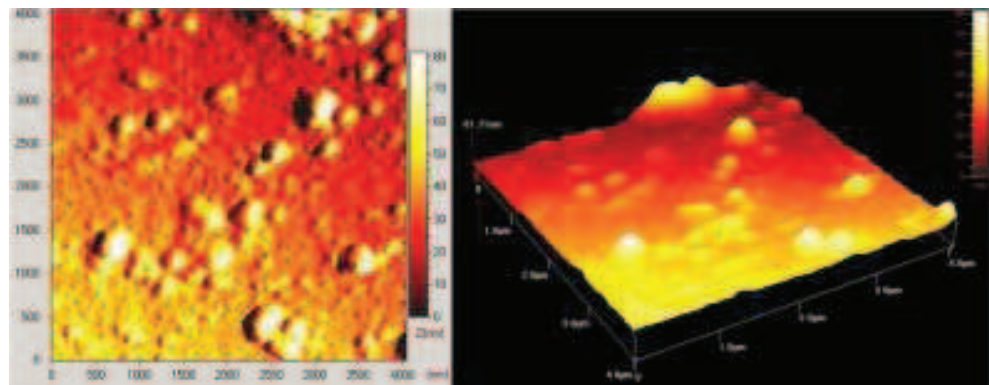
Şekil 6.24 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



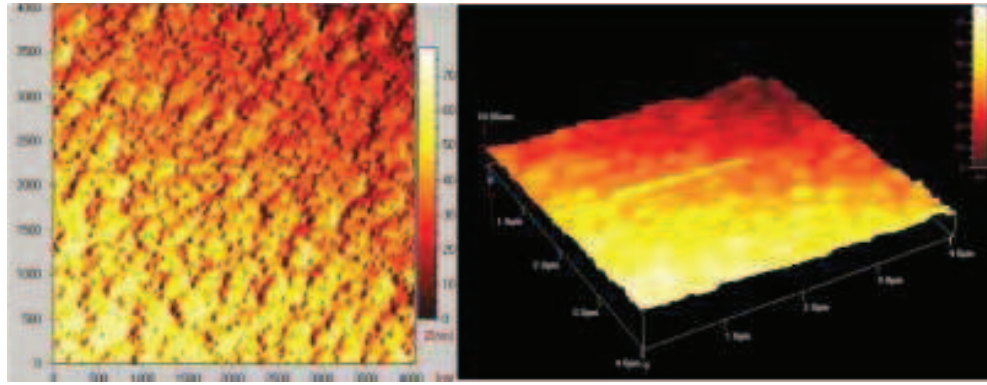
Şekil 6.25 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



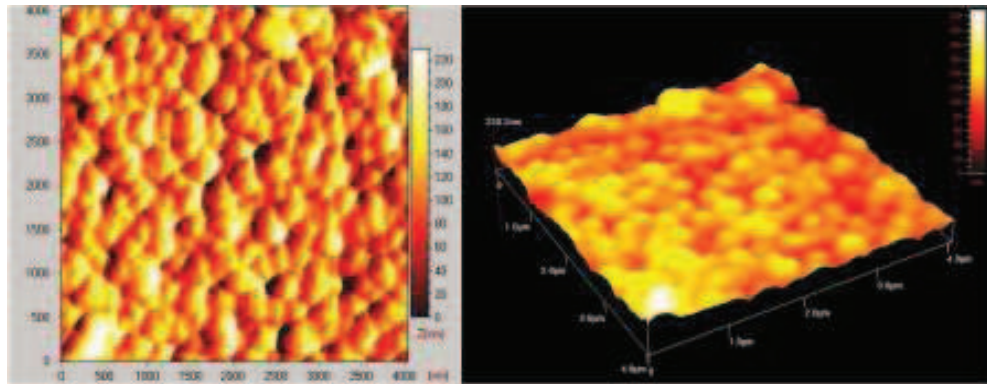
Şekil 6.26 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



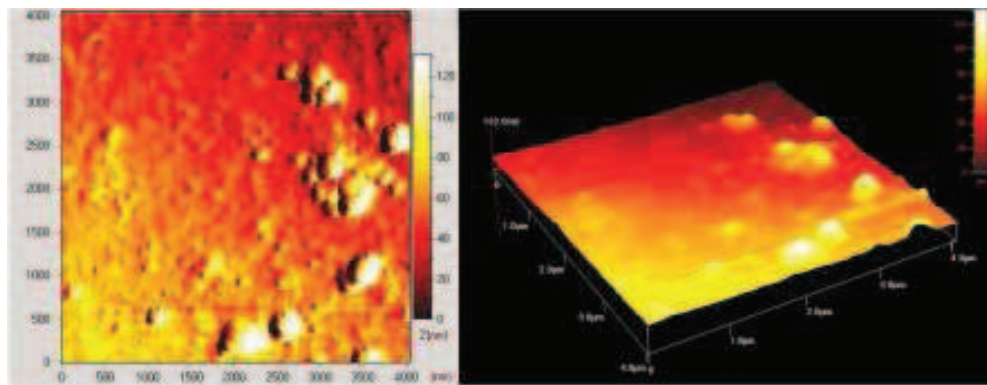
Şekil 6.27 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



Şekil 6.28 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



Şekil 6.29 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.



Şekil 6.30 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin AFM görüntüsü.

Şekil 6.22 – 6.30 arasında ZnO ince filmlerin AFM ile elde edilen, $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ ebatlarında iki boyutlu ve üç boyutlu görüntüleri gösterilmiştir. İki boyutlu ve üç

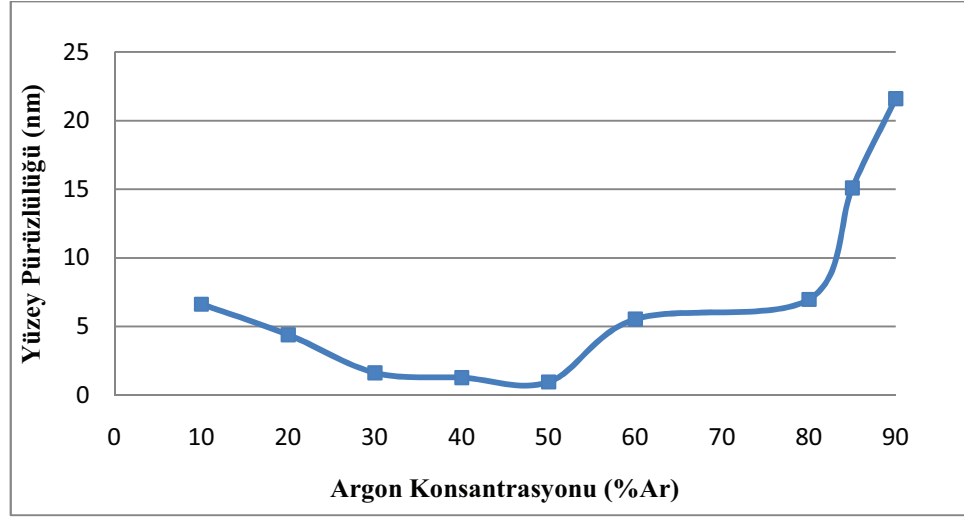
boyutlu görüntüleri bakıldığında, görüntüler arasında farklılıklar gözlenmektedir. Dolayısıyla gözlenen farklılıkların sebebi oksijen gazı konsantrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.4.4 Yüzey Pürüzlükleri Ölçümleri

RF saçırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerinin yüzey pürüzlülükleri Ambios marka Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak yüzey görüntüsü üzerinden eşit aralıklarla 40 ölçümün ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Bu elde edilen yüzey Ra (aritmetik ortalama pürüzlülük) pürüzlülüğü değerleri $\%(x)\text{Ar}+(100-x)\%\text{O}_2$ gaz konsantrasyonlarına göre Çizelge 6.11’ de ve şekil 6.31’ de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11 ZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri

Yüzde Oran $\%X \text{ Ar} + \%(100-X) \text{ O}_2$	Yüzey Pürüzlülüğü (nm)
$\%10\text{Ar} + \%90\text{O}_2$	6,62
$\%20\text{Ar} + \%80\text{O}_2$	4,39
$\%30\text{Ar} + \%70\text{O}_2$	1,62
$\%40\text{Ar} + \%60\text{O}_2$	1,27
$\%50\text{Ar} + \%50\text{O}_2$	0,95
$\%60\text{Ar} + \%40\text{O}_2$	5,53
$\%80\text{Ar} + \%20\text{O}_2$	6,97
$\%85\text{Ar} + \%15\text{O}_2$	15,1
$\%90\text{Ar} + \%10\text{O}_2$	21,6



Şekil 6.31 ZnO ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre yüzey pürüzlülüğü.

Farklı konsantrasyonlardaki ZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde en pürüzsüz filmin 0.95 nm ile %50 O₂ - %50 Ar konsantrasyonundaki ZnO ince filminde olduğu görülmektedir. En pürüzlü yüzey ise 21.6 nm ile %10 O₂ konsantrasyonuna ait filmde olduğu görülmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ile gaz konsantrasyonu arasında doğrusal olmasada bir değişim söz konusudur. Yine de bütün ZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülükleri oldukça düşüktür. Bu da RF saçırma tekniği ile üretilen ince filmler oldukça pürüzsüz yapıda olduğunu göstermektedir.

6.4.5. İnterferometrik metot ile kalınlık ölçümleri

RF saçırma tekniği ile Zn hedef malzeme kullanılarak üretilen ZnO ince film numunelerinin kalınlık ölçümleri interferometrik ölçüm yapan Filmetrics F20 İnterferometrik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz ile cam alt taşlar üzerine üretilmiş olan ince filmlerin kalınlıklarının ölçümü, numune yüzeyinin elli farklı yerinden ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülen kalınlık sonuçları maksimum, minimum ve standart sapma değerleri çizelge 6.12'de özetlemiştir. Ayrıca film depolama esnasında Cressington İnce Film Kalınlık Ölçer cihazı ile depolanan ZnO ince filmin kalınlığı takip edilmiştir.

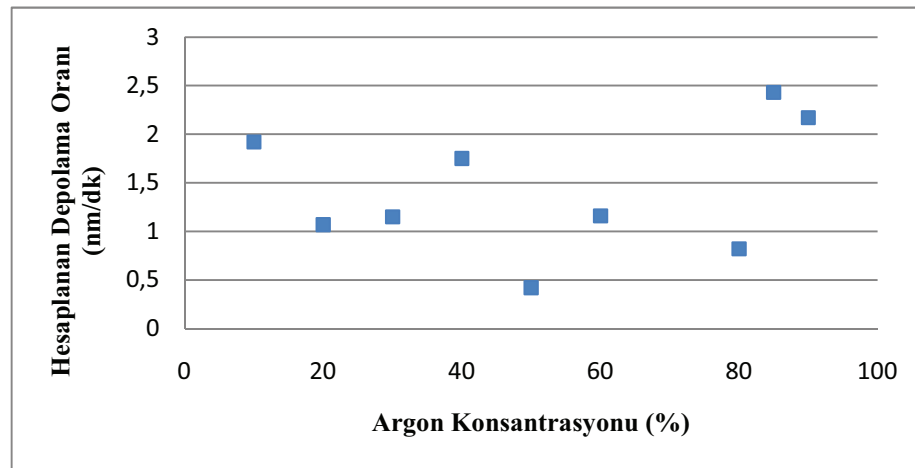
Çizelge 6.12 Filmetrics F₂₀ İnterferometrik ölçüm cihazıyla ölçülen kalınlık değerleri

Yüzde Oran	Ortalama Kalınlık (nm)	Minimum Kalınlık (nm)	Maksimum Kalınlık (nm)	Standart Sapma
%10Ar-%90O ₂	134.38	134.34	134.42	0.029
%20Ar-%80O ₂	86	85.96	86.04	0.026
%30Ar-%70O ₂	92.37	92.04	92.58	0.153
%40Ar-%60O ₂	123.08	123.07	123.1	0.012
%50Ar-%50O ₂	34.27	25	75.69	16.27
%60Ar-%40O ₂	93.39	93.34	93.42	0.022
%80Ar-%20O ₂	82.13	40.41	87.49	14.67
%85Ar-%15O ₂	194.92	193.26	197.92	1.86
%90Ar-%10O ₂	174.87	121.87	227.35	46.49

ZnO ince filmlerin depolama oranları için elde edilen sonuçlar çizelge 6.13 ve şekil 6.32’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.13 Elde edilen ZnO ince filmin gaz konsantrasyonuna göre hesaplanan üretim oranı

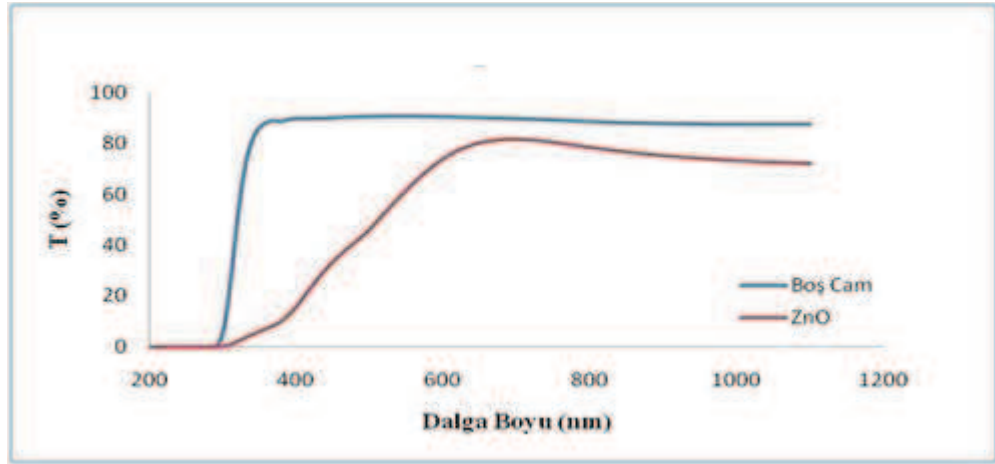
Yüzde Oran	Ölçülen Ortalama Kalınlık (nm)	Hesaplanan Depolama Oranı (nm/dakika)
%10Ar-%90O ₂	134.38	1.92
%20Ar-%80O ₂	86	1.075
%30Ar-%70O ₂	92.37	1.154
%40Ar-%60O ₂	123.08	1.758
%50Ar-%50O ₂	34.27	0.428
%60Ar-%40O ₂	93.39	1.167
%80Ar-%20O ₂	82.13	0.821
%85Ar-%15O ₂	194.92	2.436
%90Ar-%10O ₂	174.87	2.175



Şekil 6.32 Argon konsantrasyonuna göre ZnO ince filmin üretim oranı grafiği.

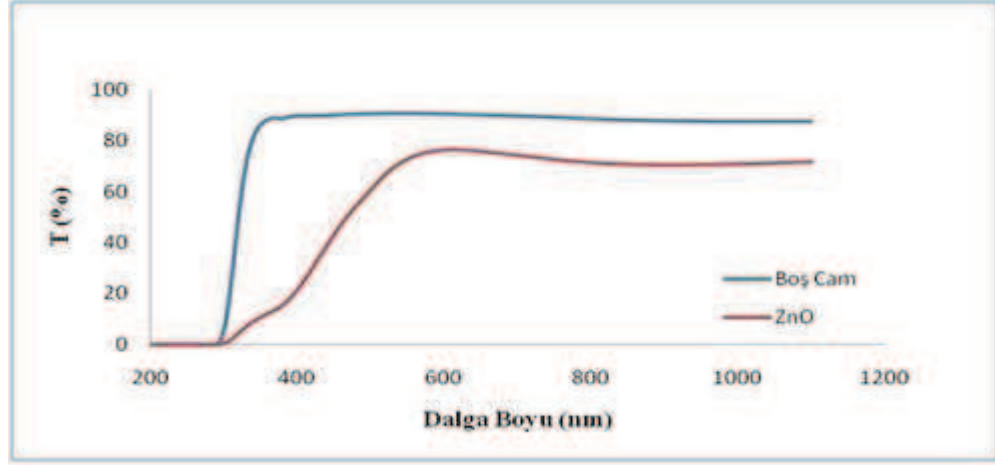
6.4.6. UV-ViS geçirgenlik sonuçları

RF saçırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerin dalga boyuna göre geçirgenlik değerleri Perkin Elmer marka UV/ VIS Spektrometer Lambda 2S ölçüm cihazı (200-1200 nm) ile alınmıştır. Bu geçirgenlik değerleri boş camın geçirgenlik değeri ile karşılaştırmalı olarak şekil 6.33 ile 6.41 aralığında verilmiştir.



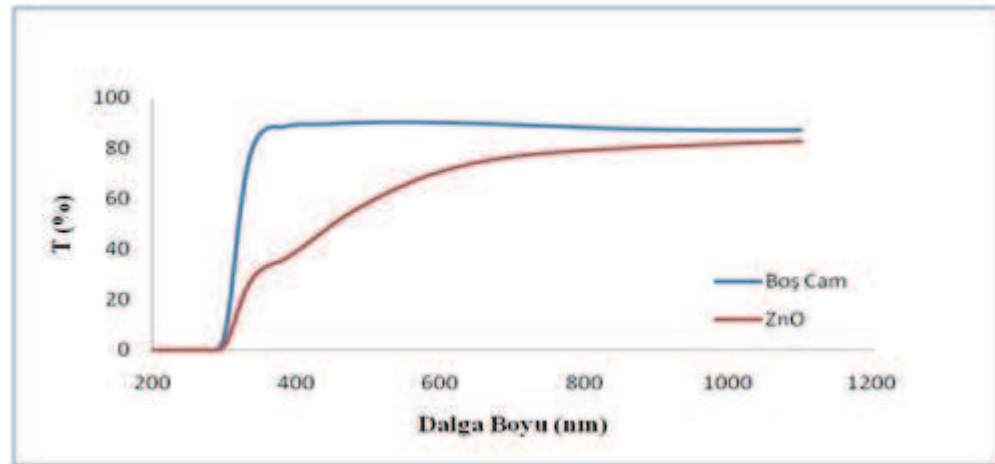
Şekil 6.33 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

Şekil 6.33' de görüldüğü gibi %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede 300 nm' ye kadar geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgeye yaklaşıldığında bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.34 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

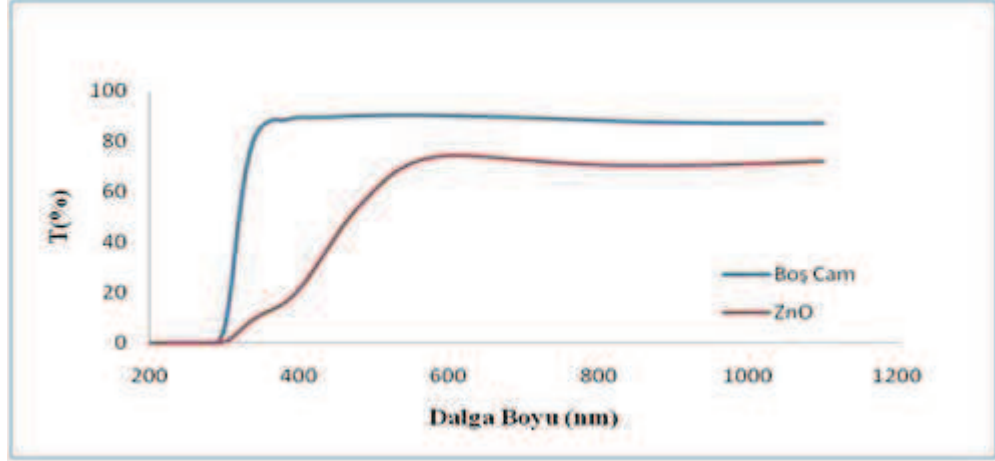
Şekil 6.34' de görüldüğü gibi %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede 300 nm' ye kadar geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgeye yaklaşıldığında bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.35 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

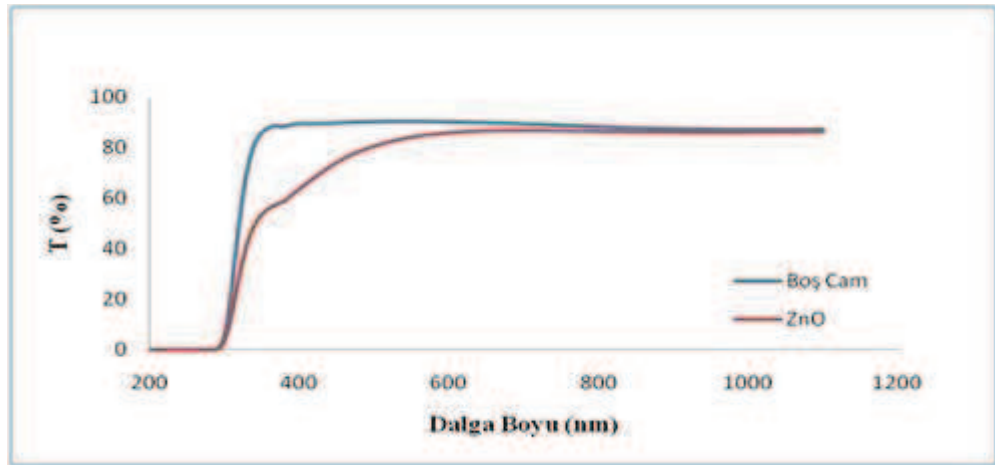
Şekil 6.35' de görüldüğü gibi %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede 300 nm' ye kadar geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür

bölgeye yaklaşıldığında bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.



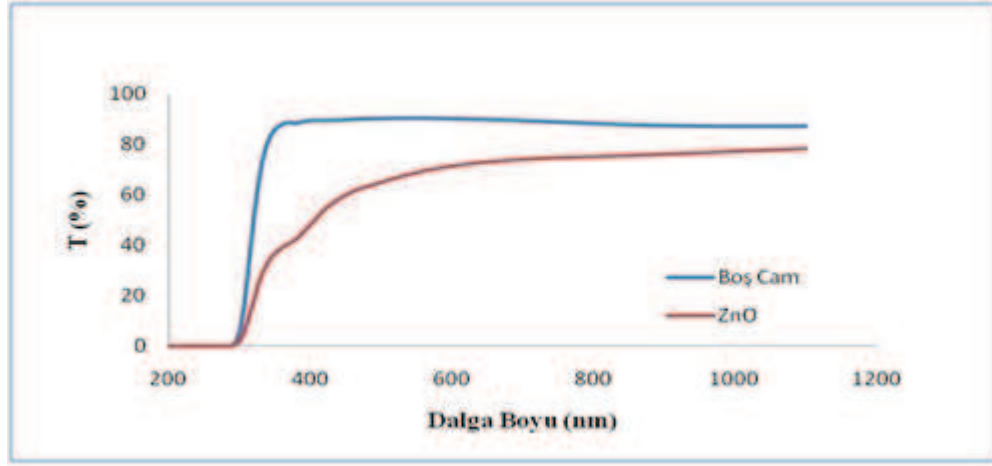
Şekil 6.36 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

Şekil 6.36' da görüldüğü gibi %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede 300 nm' ye kadar geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgeye yaklaşıldığında bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.



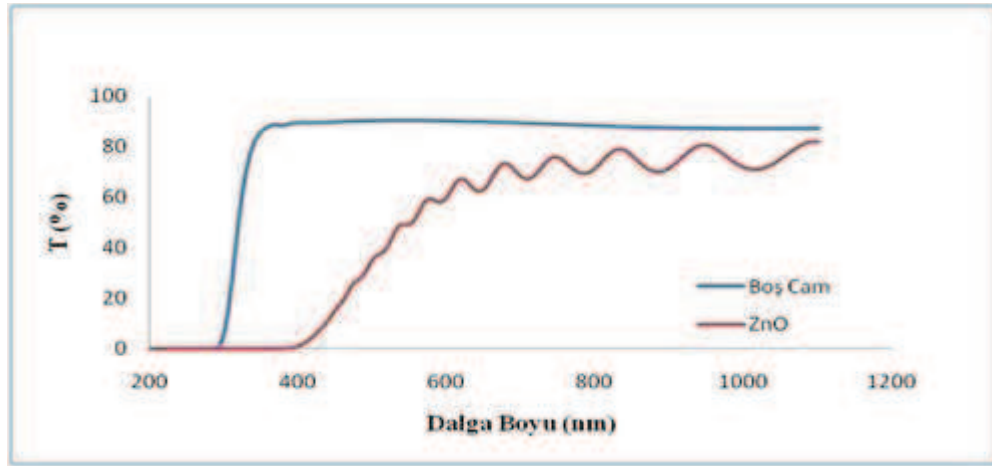
Şekil 6.37 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

Şekil 6.37' de görüldüğü gibi %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede 300 nm' ye kadar hiç geçirgenliğe sahip olmadığı, 200 nm' den sonra geçirgenliğin bir artış gösterdiği, ayrıca 700 nm' den sonra camın geçirgenliği ile hemen hemen geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.



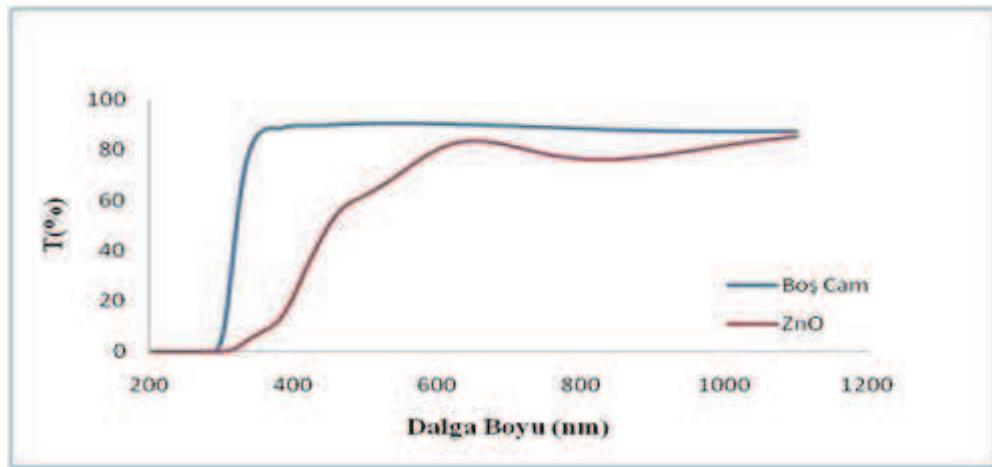
Şekil 6.38 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

Şekil 6.38' de görüldüğü gibi %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede 200 nm' ye kadar hiç geçirgenliğe sahip olmadığı, 200 nm' den sonra geçirgenliğin bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.



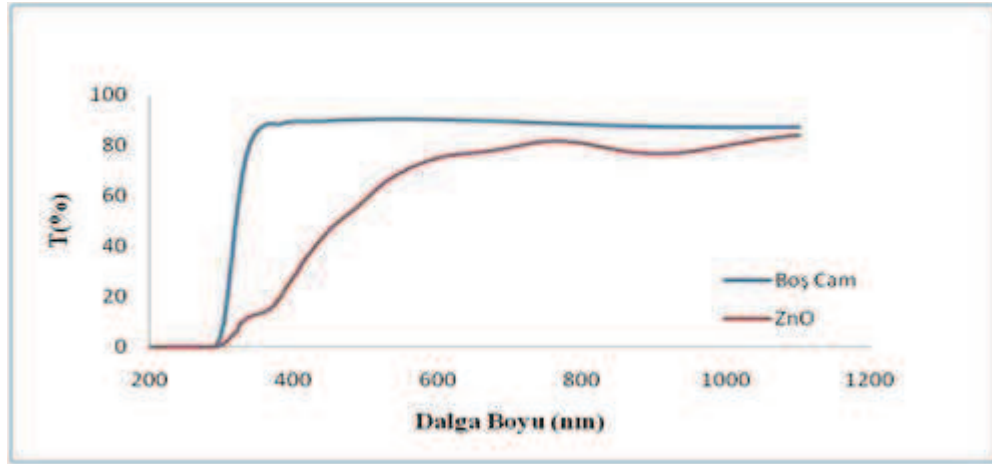
Şekil 6.39 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

Şekil 6.39' da görüldüğü gibi %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede hiç geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgede ise yaklaşık %80 geçirgenliğe kadar bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Geçirgenlik spektrumunda görülen dalgalanmanın nedeni filmin kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü ile alakalıdır. Belirli film kalınlığında filmin yüzey pürüzlülüğü düşük olduğunda filme gönderilen elektromanyetik dalganın girişim yapması sonucunda geçirgenlik spektrumunda dalgalanma görülür (Swanepoel, 1980; Gonzalez, 2006).



Şekil 6.40 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

Şekil 6.40' da görüldüğü gibi %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgeye yaklaşıldığında bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca yaklaşık 650 nm dalga boyunda geçirgenlik değeri boş camın geçirgenlik değerine oldukça yaklaşmıştır.



Şekil 6.41 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filminin dalga boyuna göre geçirgenlik grafiği.

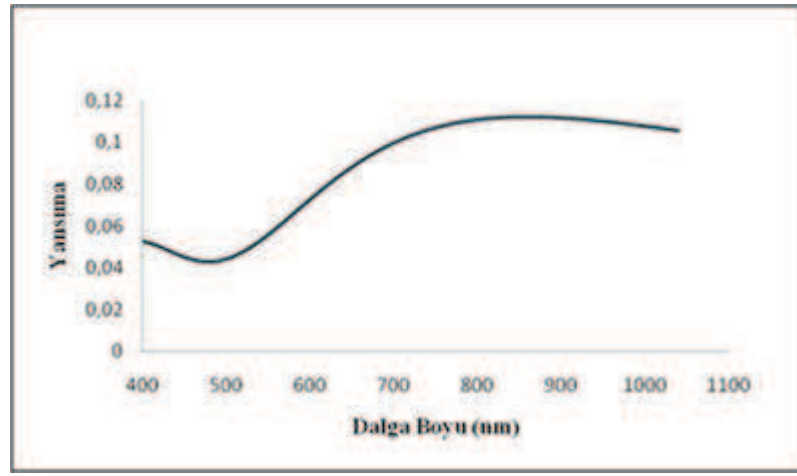
Şekil 6.41' de görüldüğü gibi %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgeye yaklaşıldığında bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretilen ZnO ince filmlerin geçirgenlikleri O₂-Ar gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. . %50O₂ + %50Ar ile üretilen ZnO ince filminin 700 nm üzerindeki geçirgenliği hemen hemen boş cam ile aynı değerdedir.

Depolanan ZnO ince filmlerin görünür bölgedeki geçirgenlik değerleri ise ortalama %70 civarındadır. Bu ise saydam iletken oksitlerin özelliklerindedir. Bu bölgede en fazla geçirgenlik değerine sahip ZnO ince filmi ise %50 O₂ - % 50 Ar konsantrasyonunda üretilen filmidir.

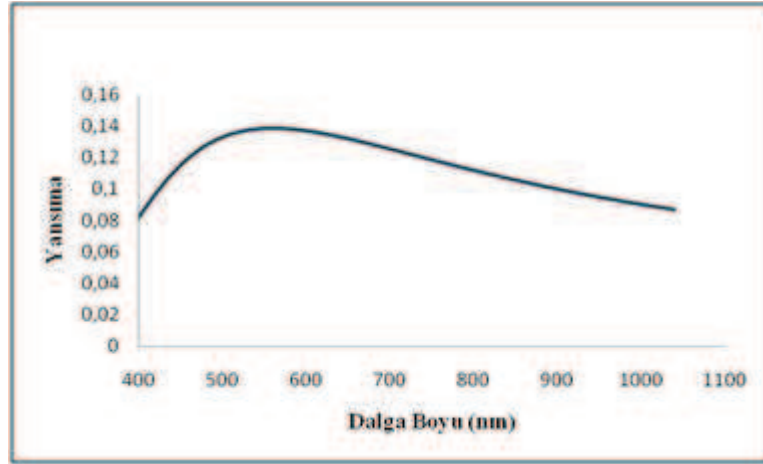
6.4.7 ZnO İnce Filmlerinin Yansımaya Sonuçları

RF saçırma tekniği ile üretilen ZnO ince filmlerin dalga boyuna göre yansımaya değerleri Filmmetrics F20 ölçüm cihazı (400-1100 nm aralığında) ile alınmıştır. Bu yansımaya değerleri şekil 6.42 ile 6.50 aralığında verilmiştir. Bu bölgede boş camın yansımaya değeri Fresnell Denklemine göre yaklaşık % 4' tür (http://www.qis.ucalgary.ca/quantech/471/labs/fresnel_brewster.pdf; Shirley; 1990).



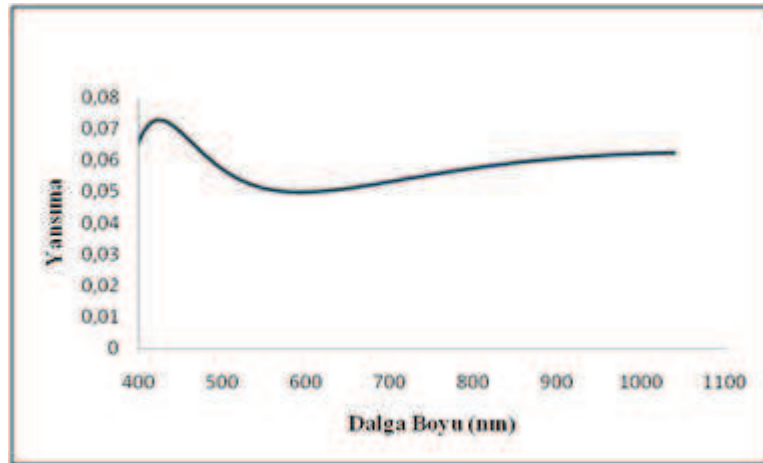
Şekil 6.42 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

Şekil 6.42'den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımaya değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri yaklaşık % 4 iken 550 nm' de % 5' lerde kırmızı bölgeye doğru ise % 8' lere çıkmaktadır. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 11' lere yaklaşmaktadır.



Şekil 6.43 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

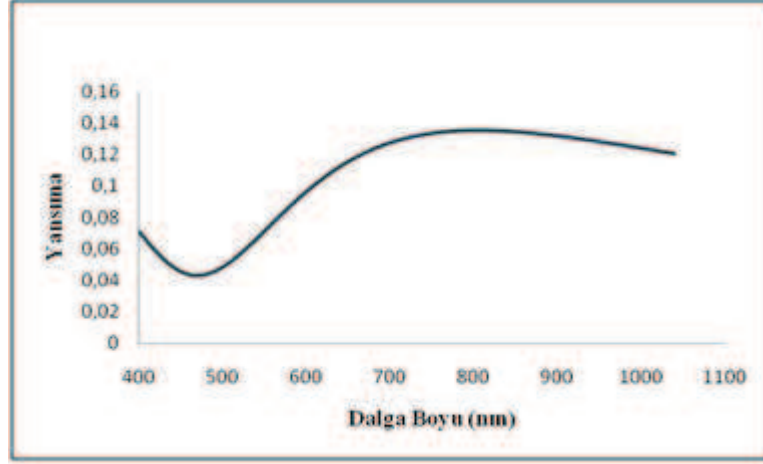
Şekil 6.43'den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımaya değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri yaklaşık % 10 iken 550 nm' de % 14' lere kırmızı bölgeye doğru ise % 14' ün altına inmektedir. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 8' lere yaklaşmaktadır.



Şekil 6.44 %30 - %70 O₂ Ar konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

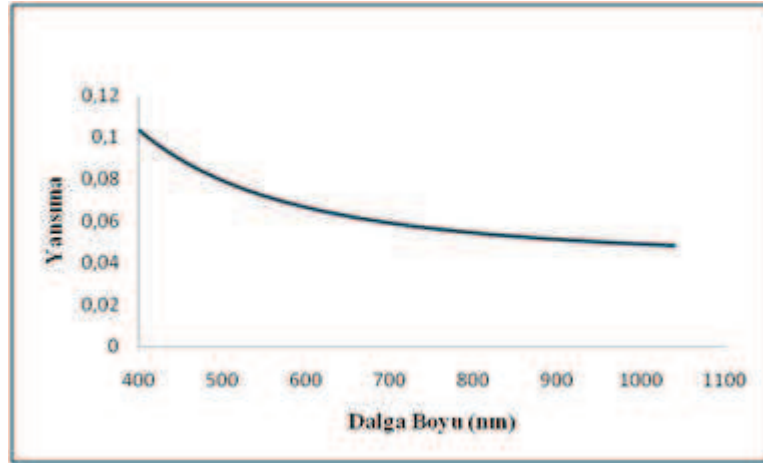
Şekil 6.44'den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımaya değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri yaklaşık % 6 iken 550 nm' de % 5' lere kırmızı bölgeye doğru ise % 5' in

üstüne çıkmaktadır. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 6' lara yaklaşmaktadır. Bu da literatüre göre ZnO' in yansımaya önleyici özelliğinden kaynaklandığını düşünmekteyiz.



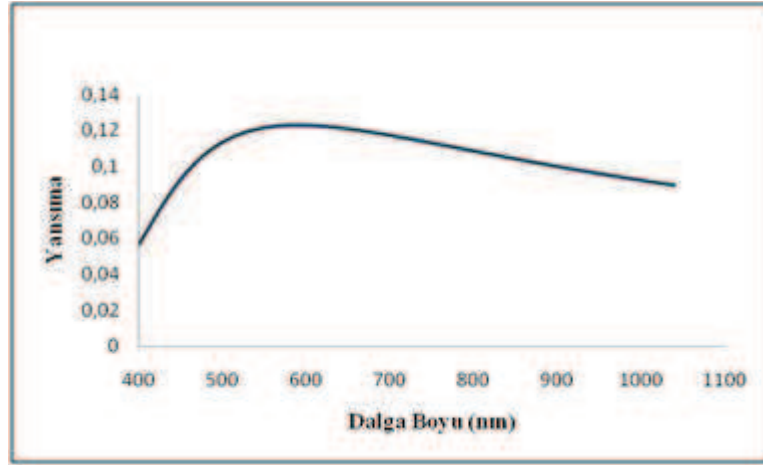
Şekil 6.45 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

Şekil 6.45'den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam altaşın yansımaya değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri yaklaşık % 7 iken kırmızı bölgeye doğru ise % 10' lara yaklaşmaktadır. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 11 - % 13 arasındadır.



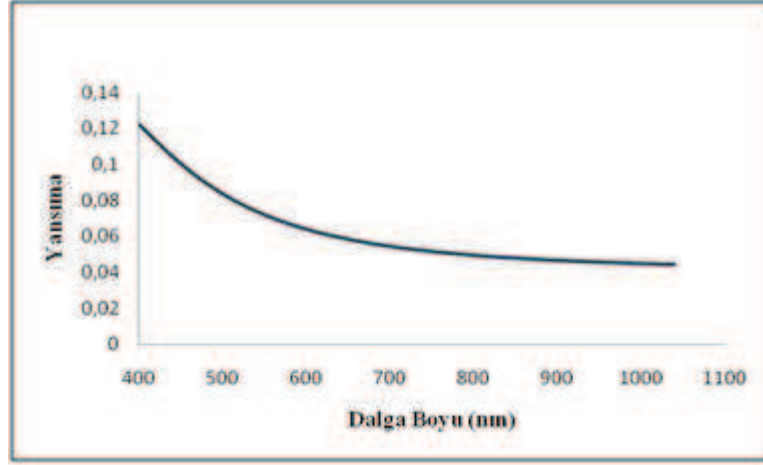
Şekil 6.46 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

Şekil 6.46'dan görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımada değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımada değeri yaklaşık % 10 iken 550 nm' de % 7' lere kırmızı bölgeye doğru ise % 6' lara inmektedir. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımada değeri % 5' lere yaklaşmaktadır.



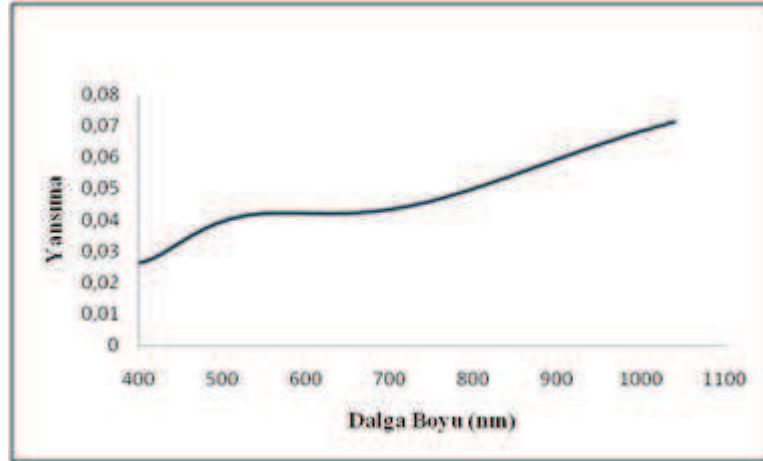
Şekil 6.47 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımada grafiği

Şekil 6.47'den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımada değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımada değeri yaklaşık % 6 - % 8 arasında iken 550 nm' de % 12' lere kırmızı bölgeye doğru ise % 10' lara inmektedir. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımada değeri % 8' lere yaklaşmaktadır.



Şekil 6.48 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

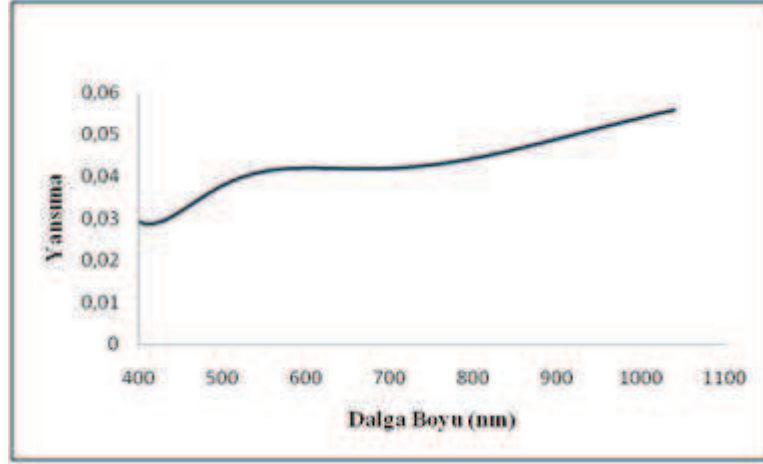
Şekil 6.48'den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımaya değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri yaklaşık % 10 iken 550 nm' de % 7' lere kırmızı bölgeye doğru ise % 7' in altına inmektedir. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 5' lere yaklaşmaktadır.



Şekil 6.49 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

Şekil 6.49'dan görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımaya değerlerinde bir değişim söz konusudur. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri yaklaşık % 3 iken 550 nm' de % 4' lere kırmızı bölgeye doğru ise % 4' ün

altına inmektedir. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 7' lere yaklaşmaktadır. Bu da literatüre göre ZnO' in yansımaya önleyici özelliğinden kaynaklandığını düşünmekteyiz.



Şekil 6.50 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yansımaya grafiği

Şekil 6.50' den görüldüğü gibi ZnO kaplanmış cam alttaşın yansımaya değeri değişmiştir. Görünür bölgede spektrumun mavi ucuna doğru yansımaya değeri % 3 iken 550 nm' de % 4' ün üzerine çıkmakta kırmızı bölgeye doğru ise % 4' ün altına inmektedir. Kırmızı ötesi bölgede ise yansımaya değeri % 6' lara yaklaşmaktadır. Bu da literatüre göre ZnO' in yansımaya önleyici özelliğinden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Şekil 6.42 ile 6.50 aralığında gösterilmiş olan yansımaya grafiklerinde gözlenen değişimlerin sebebinin;

- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın mikroyapısal özelliklerinden,
- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın tercihli yönelimlerinden,
- Yüzey bileşimlerinden,
- Yüzey pürüzlülüklerinin etkilerinden

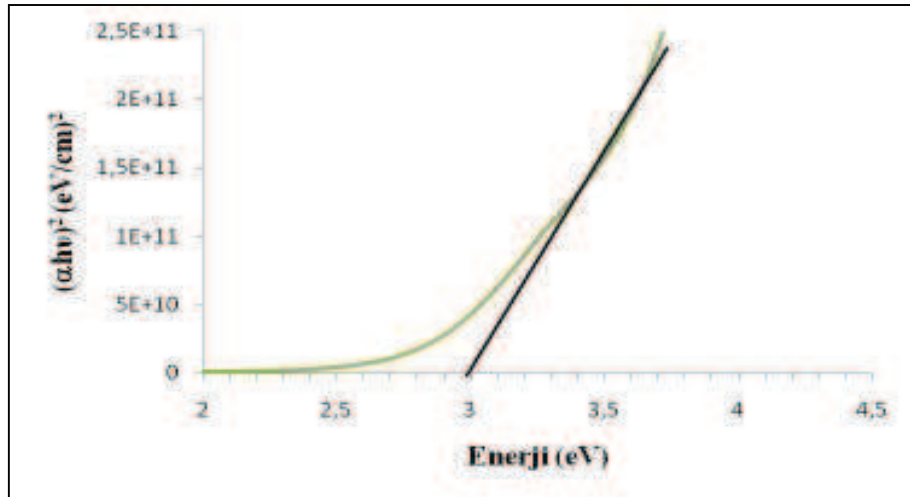
olduğunu düşünmekteyiz.

6.4.8. ZnO ince filmlerinin yasak enerji aralıklarının hesaplamaları

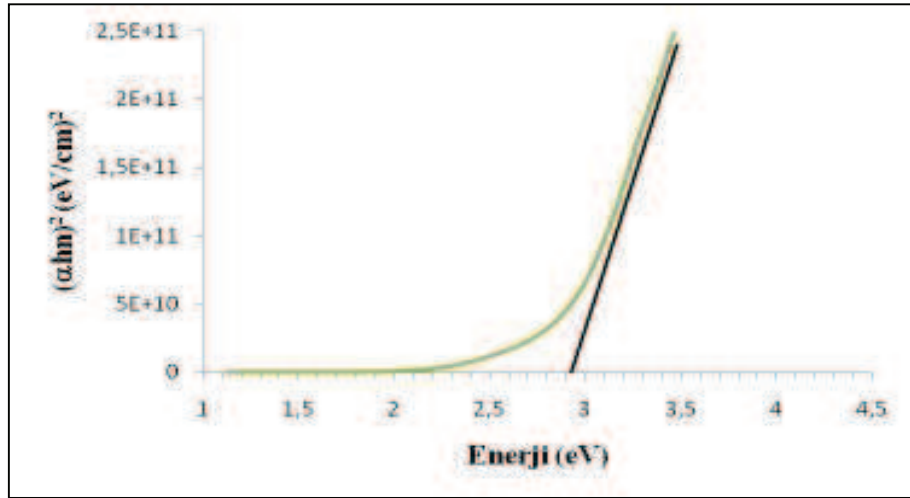
RF saçtırma tekniği kullanılarak üretilen ZnO ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleri optiksel metod olan Tauc Metodu kullanılarak hesaplanmıştır (Lui ve Zeng, 2004; Moura, 2008). Bu metotla grafiklerin doğrusal kısmından x-eksenine düz çizgi çizilir. Bu çizilen çizginin x-eksenini ile kesiştiği yerdeki değer yasak enerji aralığı değerini vermektedir. Grafikte $(\alpha h\nu)^2$ y eksenini ve enerji ($h\nu$) ise x-eksenini oluşturmaktadır.

Şekil 6.51'de ZnO ince filmlerin farklı Ar ve O₂ gazı konsantrasyonlarındaki yasak enerji aralığının ölçüldüğü grafikler gösterilmiştir. Bu grafiklerin dikey eksenini $(\alpha h\nu)^2$, yatay eksenini ise enerji ($h\nu$) ile gösterilir. α absorbanı, h Planc sabitini ve ν da frekansı göstermektedir.

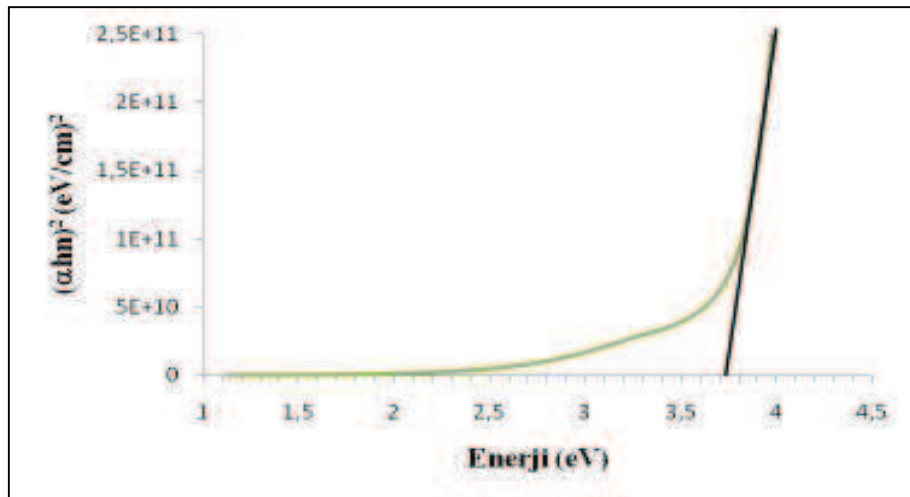
ZnO ince filmlerinin yasak enerji aralıkları grafikleri şekil 6.51 ile 6.59 aralığında verilmiştir.



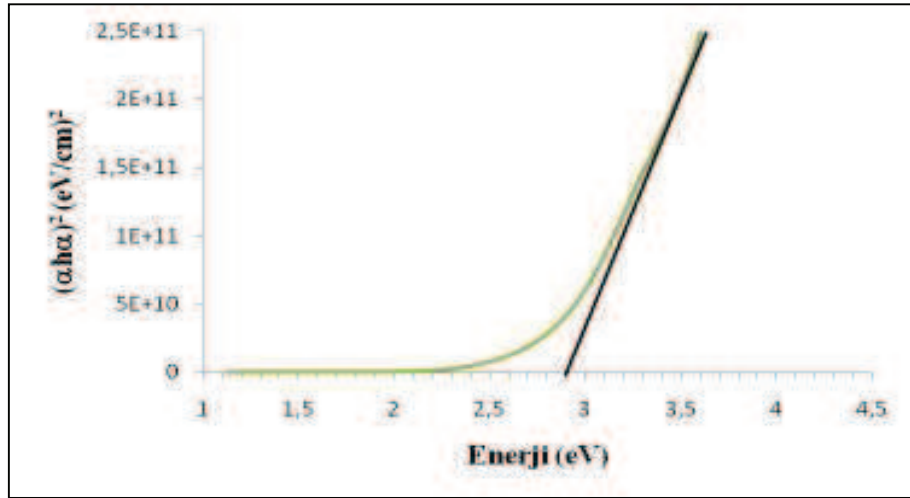
Şekil 6.51 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



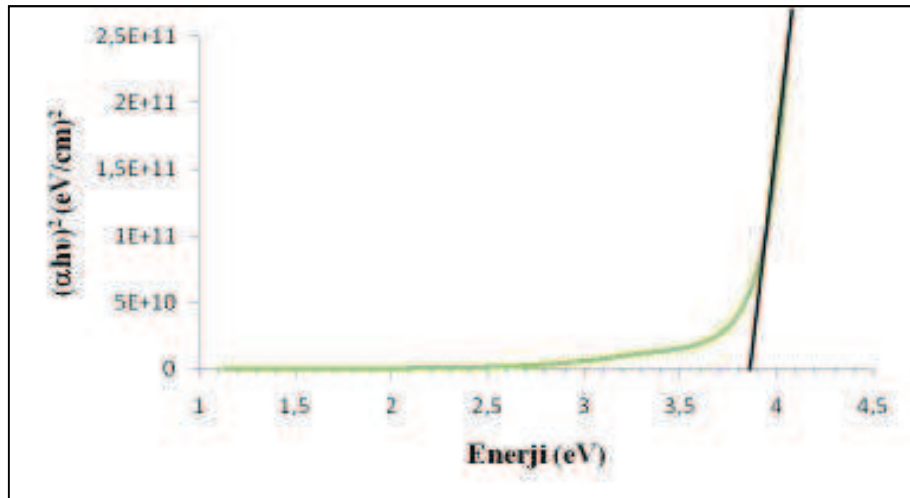
Şekil 6.52 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



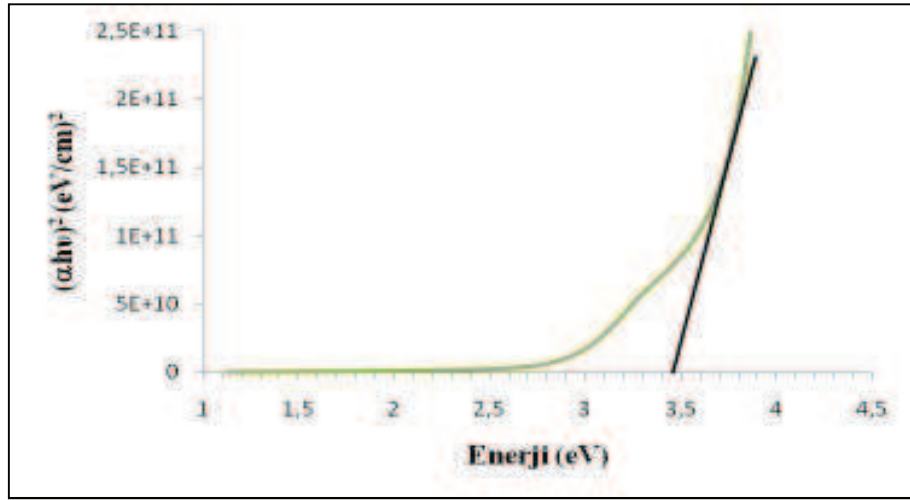
Şekil 6.53 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



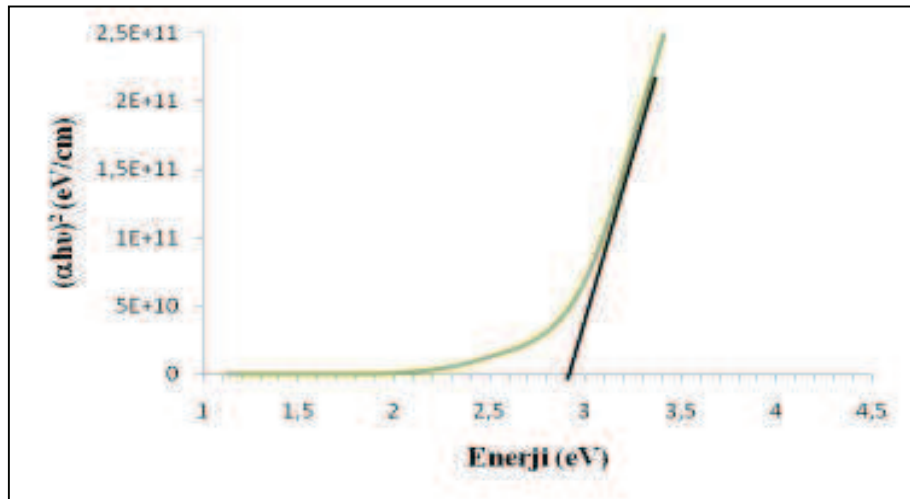
Şekil 6.54 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



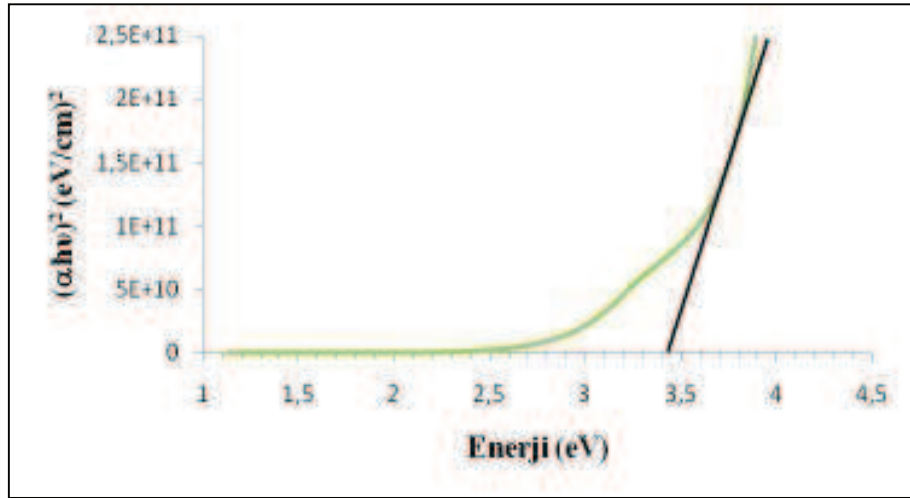
Şekil 6.55 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



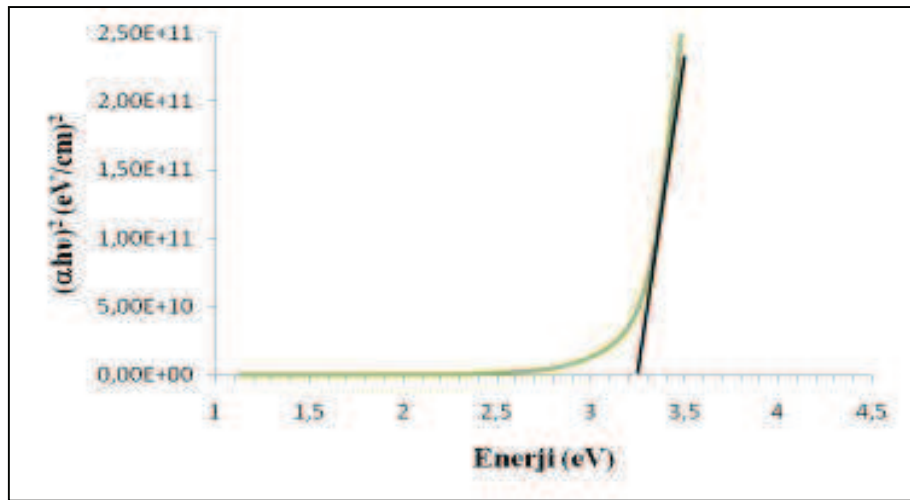
Şekil 6.56 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



Şekil 6.57 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.



Şekil 6.58 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.

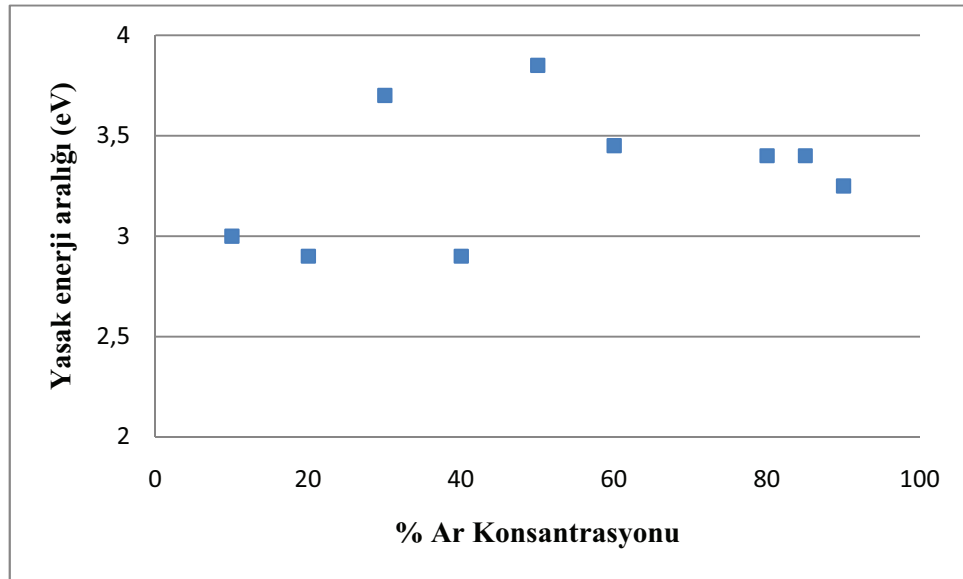


Şekil 6.59 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin yasak enerji aralığı grafiği.

Farklı %xAr+% (100-x)O₂ gaz konsantrasyonlarında üretilen ZnO ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleri çizelge 6.14' de gösterilmiştir.

Çizelge 6.14 ZnO ince filmlerin farklı Ar ve O₂ konsantrasyonlarındaki yasak enerji aralıkları

Yüzde Oran %X Ar+% (100-X)N ₂	Yasak enerji aralığı (E _g)(eV)
%10Ar+%90O ₂	3
%20Ar+%80O ₂	2,9
%30Ar+%70O ₂	3,7
%40Ar+%60O ₂	2,9
%50Ar+%50O ₂	3,85
%60Ar+%40O ₂	3,45
%80Ar+%20O ₂	3,4
%85Ar+%15O ₂	3,4
%90Ar+%10O ₂	3,25



Şekil 6.60 ZnO ince filmlerin Ar konsantrasyonuna göre yasak enerji aralığı grafiği.

Farklı gaz konsantrasyonlarında oluşturulan ZnO ince filmlerin yasak enerji aralığı 2,9 eV ile 3,85 eV arasında değişmektedir. Bu da literatürle uyum içerisindedir (Jiang et al., 2003; Li et al., 2004; Suche et al., 2006). Gözlenen değişimlerin sebebinin;

- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın mikroyapısal özelliklerinden,
- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın tercihli yönelimlerinden,
- Yüzey bileşimlerinden,

kaynaklandığını düşünmekteyiz.

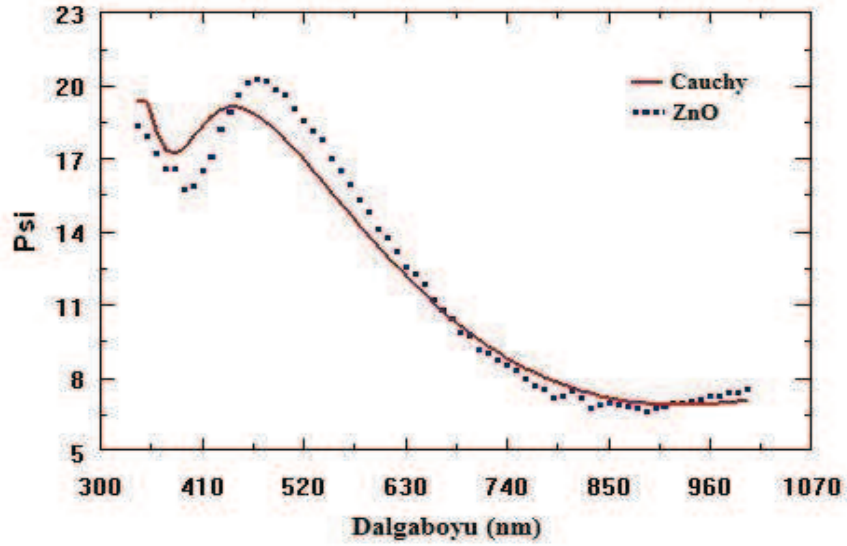
6.4.9. Spektroskopik elipsometre cihazı kullanılarak ZnO ince filmlerin kalınlık ve kırılma indisi değerlerinin belirlenmesi

RF saçırma tekniği kullanılarak depolanan ZnO ince filmlerinin bazı optik parametrelerinin (kalınlık ve kırılma indisi) belirlenmesinde, spektroskopik elipsometre (300-1000 nm) cihazı kullanılmıştır.

Spektroskopik elipsometre cihazı film yüzeyinden yansıyan ışığın filmin kırılma indisine bağlı olarak ışığın polarizasyonu sonucu oluşan ışığın ψ dalga fonksiyonunun genliğinde meydana gelecek değişimi analiz eder. Ölçüm sonucunda elde edilecek olan ψ ve Δ (faz farkı) nın dalgaboyuna karşılık elde edilen grafikleri yardımıyla bazı matematiksel hesaplama modelleri kullanarak filmlerin kalınlık ve kırılma indisi gibi optik parametreleri belirlenebilmektedir. Spektroskopik elipsometre cihazı kullanılarak elde edilen dalga boyuna karşılık ψ değişimi grafiklerinden yararlanarak Cauchy yaklaşım modeli ile filmlerin kalınlıkları belirlenmiştir. Ayrıca filmlerin kırılma indisi değerleri yine Cauchy hesaplama parametreleri olan A_n , B_n ve C_n sabit katsayıları ile belirlenmiştir (Bahadur et al., 2004; Dai et al., 2009; Özkan; 2010).

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (6.2)$$

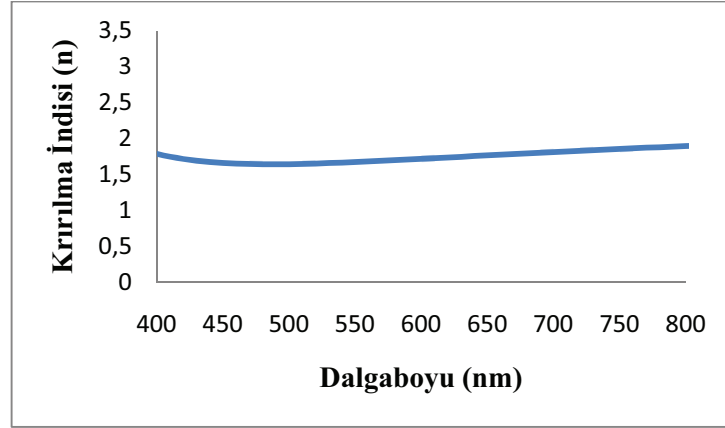
ZnO ince filmlerinin dalga boyuna karşılık ψ grafikleri ve cauchy hesaplama parametreleri ile hesaplanan kırılma indisi değerleri ile çizilen dalga boyuna karşılık kırılma indisi grafikleri şekil 6.61 ile 6.78 aralığında verilmiştir. Ayrıca modelleme sonrasında elde edilen kalınlıklar, cauchy hesaplama parametreleri olan A_n , B_n ve C_n sabit katsayıları ve cauchy metoduna göre ortalama hata oranları (OHO) [Mean Squared Errors (MSE)] çizelge 6.15 ile 6.23 aralığında verilmiştir.



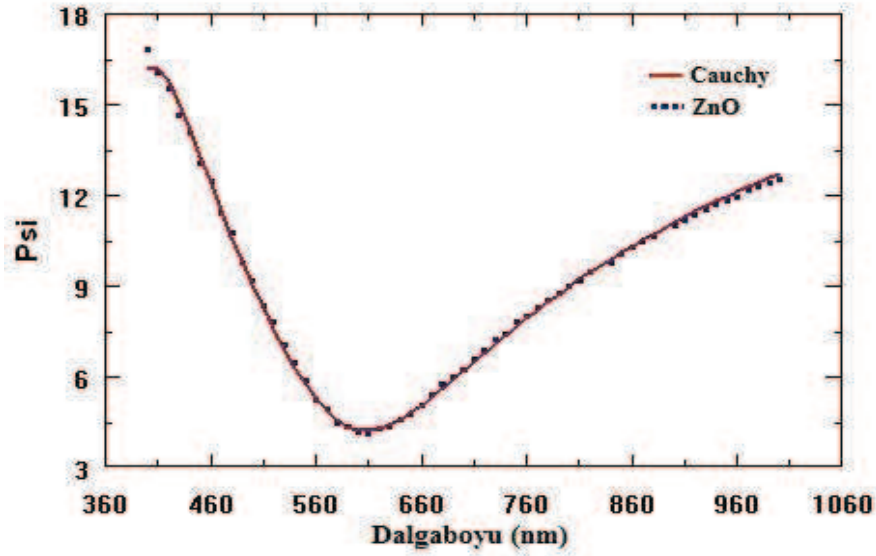
Şekil 6.61 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.

Çizelge 6.15 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	104,88
A_n	2,2552
B_n (nm²)	-0,2846
C_n (nm⁴)	0,0286
OHO	38,57



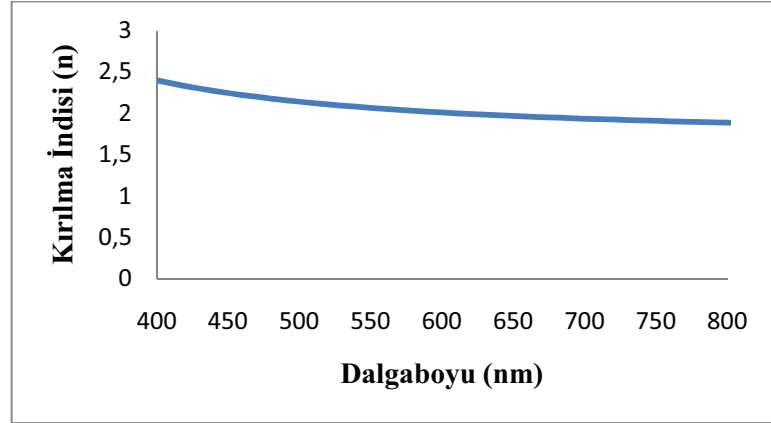
Şekil 6.62 %10 Ar - %90 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



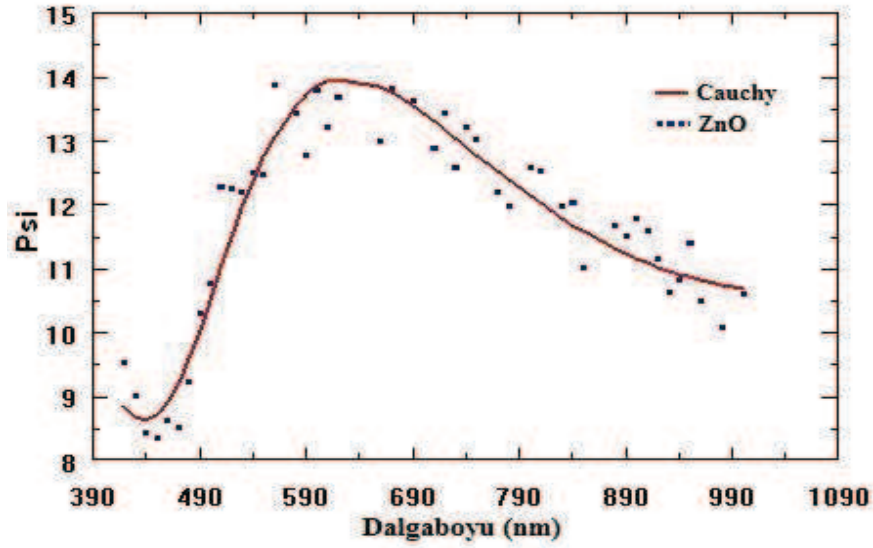
Şekil 6.63 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değeri grafiği.

Çizelge 6.16 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	88,95
A_n	1,7369
B_n (nm²)	0,0920
C_n (nm⁴)	0,0022
OHO	2,32



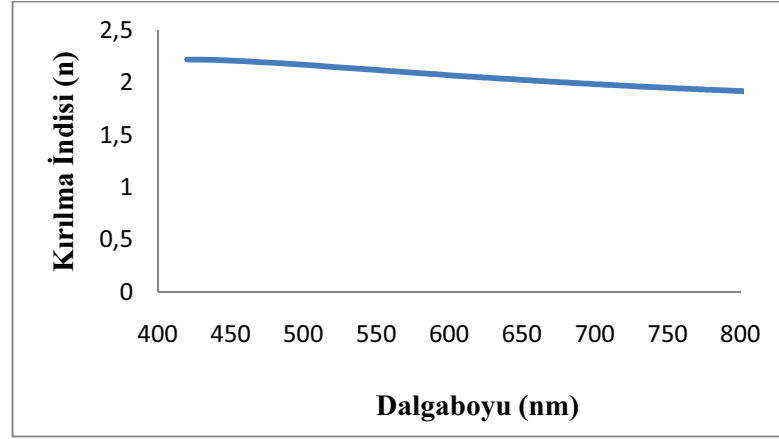
Şekil 6.64 %20 Ar - %80 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



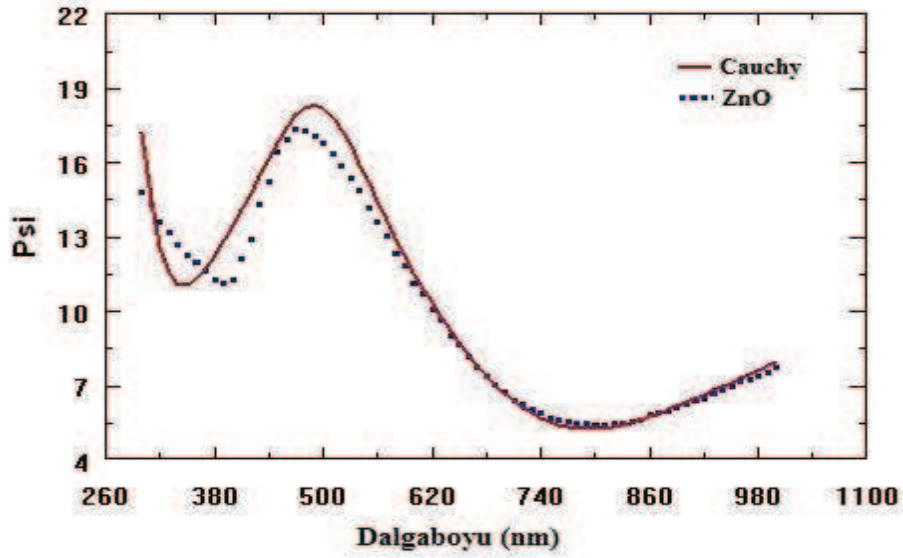
Şekil 6.65 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.

Çizelge 6.17 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	130
A_n	1,6496
B_n (nm²)	0,2028
C_n (nm⁴)	-0,0179
OHO	19,18



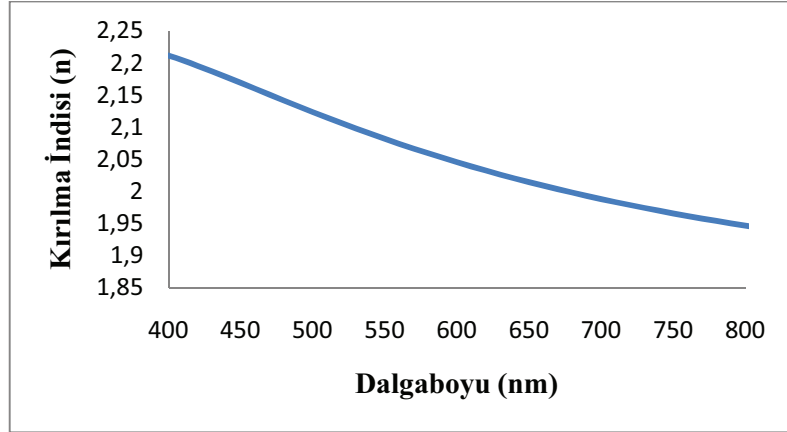
Şekil 6.66 %30 Ar - %70 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



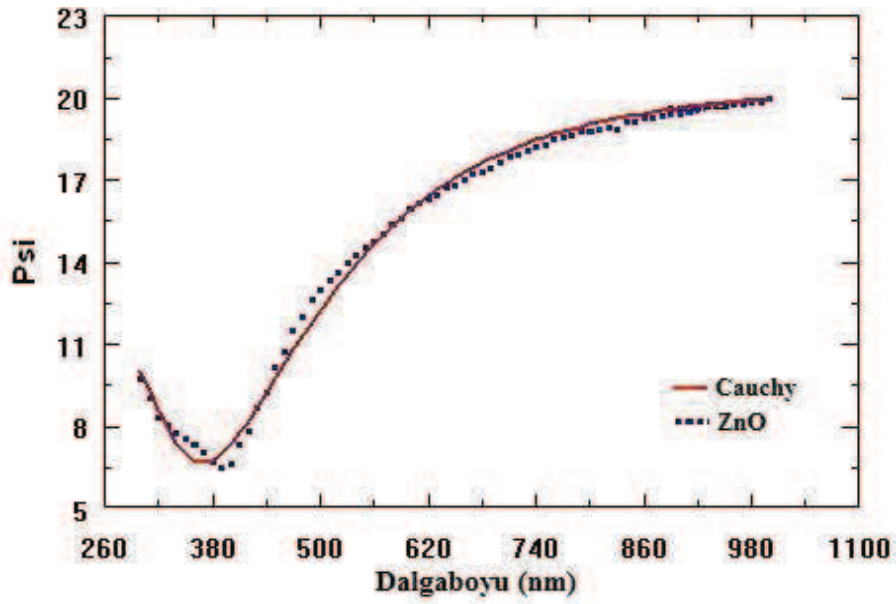
Şekil 6.67 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.

Çizelge 6.18 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri

Kalınlık (nm)	130,5
A_n	1,7890
B_n (nm²)	0,1120
C_n (nm⁴)	-0,0071
OHO	41,90



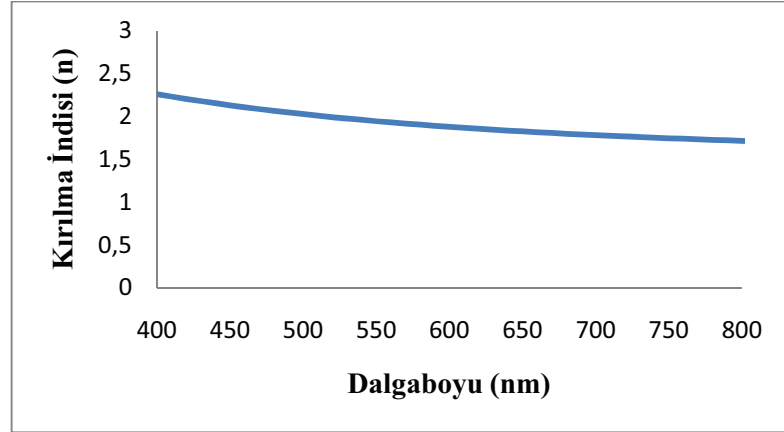
Şekil 6.68 %40 Ar - %60 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



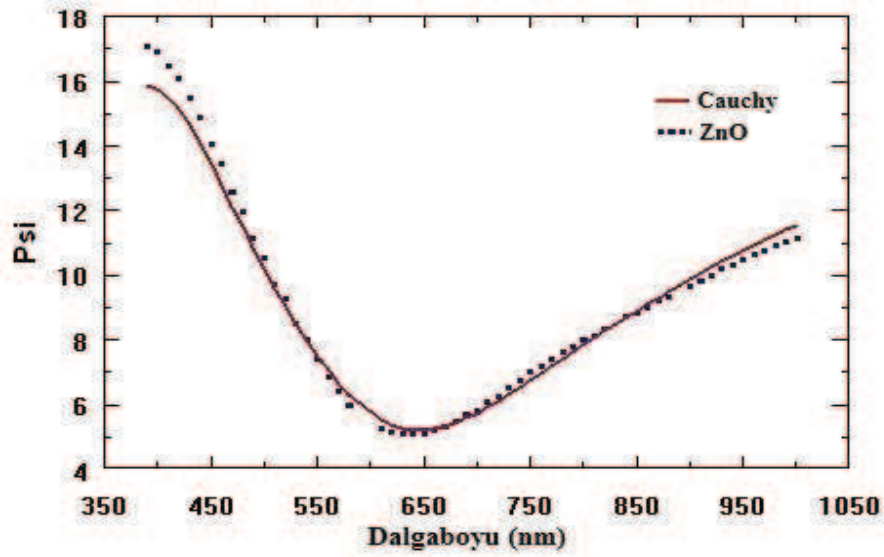
Şekil 6.69 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.

Çizelge 6.19 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri

Kalınlık (nm)	33,72
A_n	1,4864
B_n (nm²)	0,1548
C_n (nm⁴)	-0,0050
OHO	10,50



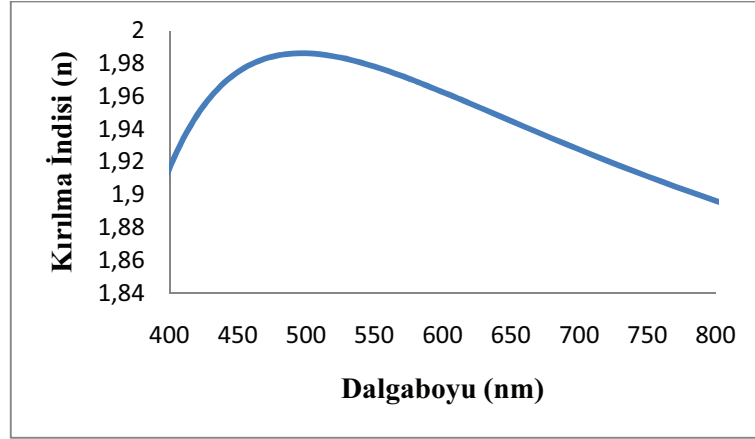
Şekil 6.70 %50 Ar - %50 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



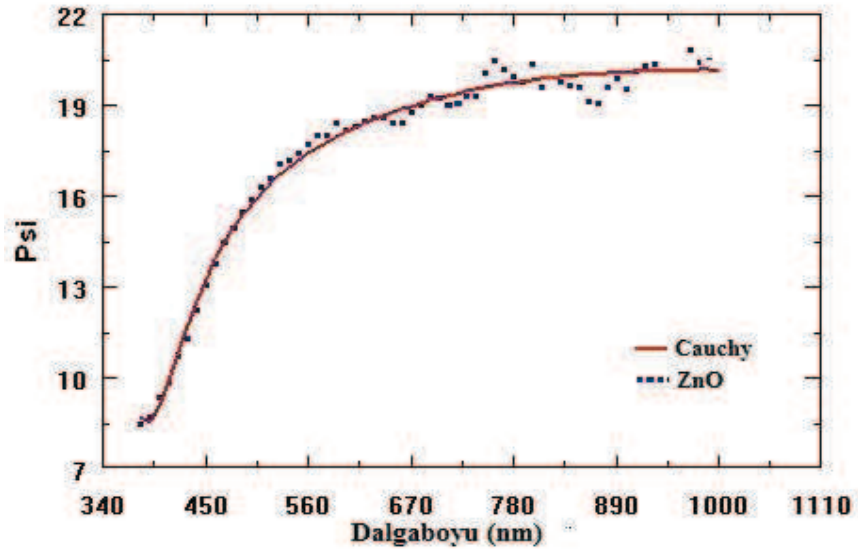
Şekil 6.71 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.

Tablo 6.20 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	98,52
A_n	1,7480
B_n (nm²)	0,1175
C_n (nm⁴)	-0,0144
OHO	11,47



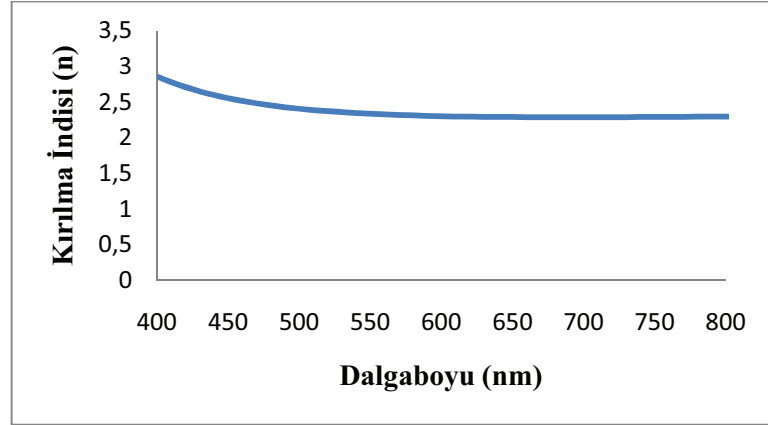
Şekil 6.72 %60 Ar - %40 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



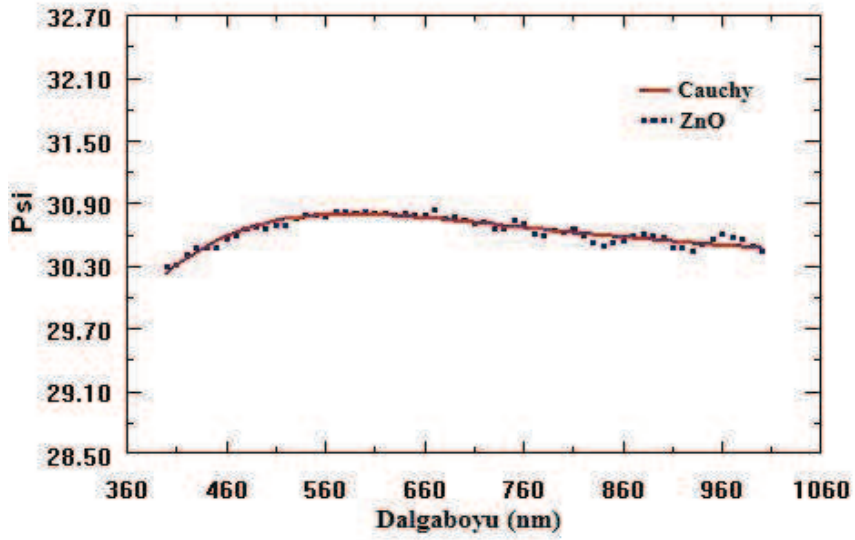
Şekil 6.73 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değışımi.

Çizelge 6.21 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	78,80
A_n	2,4359
B_n (nm²)	-0,1402
C_n (nm⁴)	0,0332
OHO	3,96



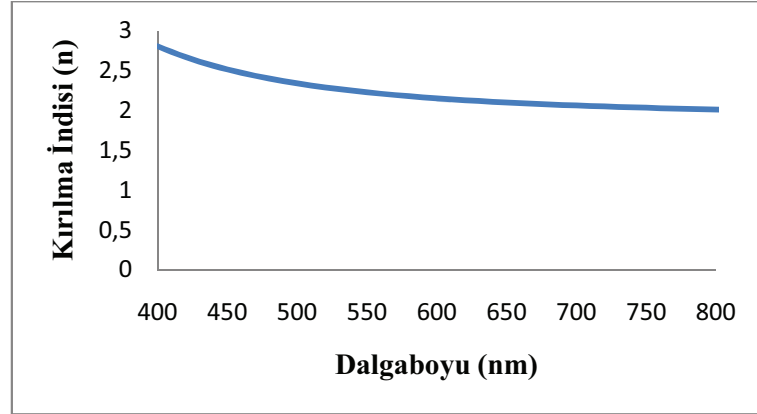
Şekil 6.74 %80 Ar - %20 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



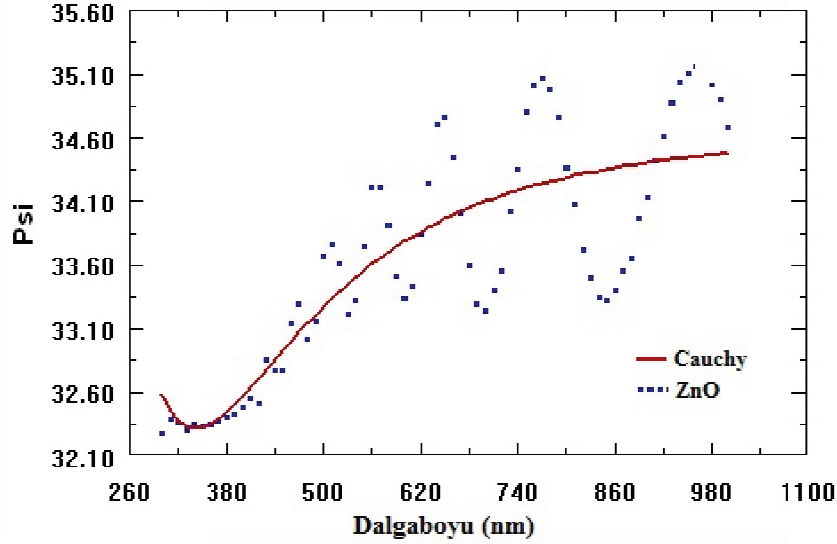
Şekil 6.75 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değişimi.

Çizelge 6.22 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	136,12
A_n	1,8975
B_n (nm²)	0,0478
C_n (nm⁴)	0,0156
OHO	0,02



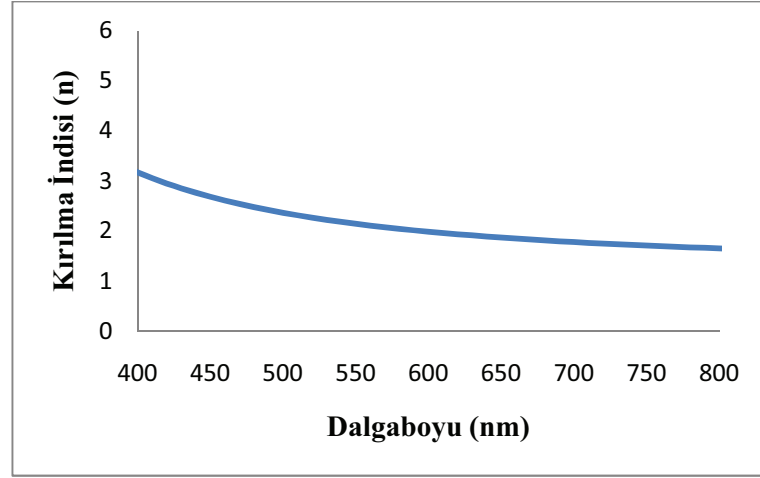
Şekil 6.76 %85 Ar - %15 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.



Şekil 6.77 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık ψ değeri grafiği.

Çizelge 6.23 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için kalınlık değeri, Cauchy modelinde fitlenen (uygun hale getirilen) parametreler ve OHO değeri.

Kalınlık (nm)	174,58
A_n	1,2860
B_n (nm²)	0,2128
C_n (nm⁴)	0,0141
OHO	2,06



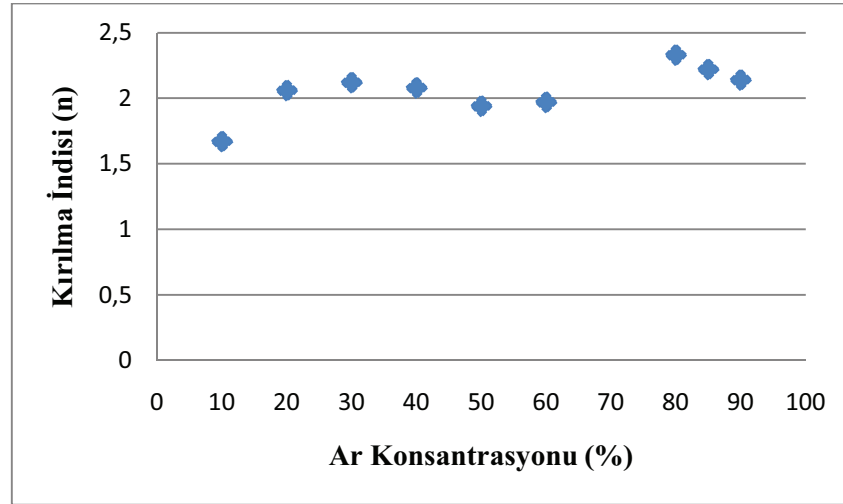
Şekil 6.78 %90 Ar - %10 O₂ konsantrasyonundaki ZnO ince filmi için dalgaboyuna karşılık kırılma indisi grafiği.

Farklı gaz konsantrasyonlarındaki ZnO ince filmlerin $\lambda=550\text{nm}$ dalga boyundaki kırılma indisi çizelge 6.24'de verilmiştir.

Çizelge 6.24 ZnO ince filmlerin ($\lambda=550\text{nm}$) kırılma indisi değerleri.

Yüzde Oran %XAr+% (100-X)O ₂	Kırılma indisi (n)
%10Ar+%90O ₂	1,67
%20Ar+%80O ₂	2,06
%30Ar+%70O ₂	2,12
%40Ar+%60O ₂	2,08
%50Ar+%50O ₂	1,94
%60Ar+%40O ₂	1,97
%80Ar+%20O ₂	2,33
%85Ar+%15O ₂	2,22
%90Ar+%10O ₂	2,14

RF saçırma tekniğiyle plazma ortamında oluşturulan ZnO ince filmlerin %Ar gazı konsantrasyonuna göre değişim grafiği şekil 6.79'da verilmiştir.



Şekil 6.79 Üretilen ZnO ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre $\lambda=550\text{nm}$ deki kırılma indisi değerleri.

Farklı gaz konsantrasyonlarında oluşturulan ZnO ince filmlerin kırılma indisi değerleri 1,67 ile 2,33 arasında değişmektedir. Bu da literatürle uyum içerisindedir (Hu et al., 1996; Gümüş et al.; 2006; <http://refractiveindex.info/?group=CRYSTALS&material=ZnO>). Gözlenen değişimlerin sebebinin;

- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın mikroyapısal özelliklerinden,
- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın tercihli yönelimlerinden,
- Yüzey bileşimlerinden,

kaynaklandığını düşünmekteyiz.

6.4.10 ZnO İnce Filmlerin Analiz Sonuçları

RF saçırma tekniği ile depolanan ZnO ince filmlerine yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen verileri toplu olarak çizelge 6.25' de karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Çizelge 6.25 ZnO ince filmlerin üretim parametreleri ve ölçüm sonuçları.

Numune kodu (ZnO)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
%Ar	10	20	30	40	50	60	80	85	90
%O ₂	90	80	70	60	50	40	20	15	10
Bamç (Torr)	1.2*10 ⁻¹	1.2*10 ⁻¹	1.2*10 ⁻¹	1.5*10 ⁻¹	1.3*10 ⁻¹	2*10 ⁻¹	6*10 ⁻²	6*10 ⁻²	6*10 ⁻²
Güç (Watt)	200	200	200	200	200	200	400	400	400
Süre (dk)	70	80	80	70	80	80	100	80	80
Ölçülen Kalınlık(nm)	134,38	86	92,37	123,08	34,27	93,39	82,13	194,92	174,87
Kırılma İndisi Değeri (550 nm)	1,67	2,06	2,12	2,08	1,94	1,97	2,33	2,22	2,14
Yasak Enerji Aralığı (eV)	3,00	2,90	3,70	2,90	3,85	3,45	3,40	3,40	3,25
Yüzey Pürüzlüğü(nm)	6,62	4,39	1,62	1,27	0,95	5,53	6,97	15,10	21,60

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

RF saçtırma tekniği ile saf Zn metalinden (10mmx10mmx1mm) %xAr + %(100-x)O₂ gaz karışımı plazması oluşturularak ZnO ince filmleri depolanmıştır. Bu üretilen ZnO ince filmlerin mikroyapıları, kristal yönelimleri ve kristalografik bilgileri XRD cihazı (Brugger) kullanılarak elde edilmiştir. Yüzey yapıları hakkında bilgiler edinebilmek için SEM, EDS, AFM ve Ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılmış ve bu özelliklerin gaz konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi incelenmiştir. ZnO ince filmlerin interferometrik metot ile oluşturulan ince filmlerin kalınlığı, üretim oranı, üretim oranının Ar ve O₂ gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi incelenmiş, UV-Vis spektrometre ile geçirgenlikleri belirlenmiştir. Ayrıca optiksel Tauc Metodu kullanılarak ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıkları hesaplanmış ve hesaplanan yasak enerji aralıklarının, Ar ve O₂ gazı konsantrasyonuna bağlı olarak nasıl değiştiiği incelenmiştir. Son olarak depolanan ZnO ince filmlerin kırılma indisi ve kalınlık değerleri spektroskopik elipsometre kullanılarak cauchy yaklaşım modeli ile hesaplanmıştır.

RF saçtırma tekniği yarı iletken iletken ve yalıtkan filmlerin depolanmasında ve kaplamaların yapılmasında oldukça yaygın kullanılan bir tekniktir. Genellikle saçtırma sistemlerde ince filmi oluşturulacak materyal “hedef materyal” olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise ZnO ince filmler oluşturulurken ZnO hedef materyali yerine Zn metali kullanılmıştır. Çalışma gazı olarak ise farklı konsantrasyonlarda O₂ gazı ilave edilerek vakum odası içerisinde Ar+O₂ gaz karışımı plazması oluşturulmuş ve RF güç kaynağı yardımı ile hedef materyalden (Zn) saçtırılan Zn atomları O₂ atomlarıyla reaksiyona girerek ZnO bileşiiği şeklinde alt taşın üzerine depolanması gerçekleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki ZnO ince filmlerin üretim oranları incelendiğinde, ZnO ince filmlerinin üretim oranının gaz konsantrasyonuyla arttığını ya da azaldığını söylemek mümkün değildir.

Elde edilen XRD sonuçlarına göre, %15 O₂ - %85 Ar konsantrasyonuna sahip ZnO ince filmi 34,44° lik 2θ değerinde (002) düzlemine ait tek pik verdiğinden tek kristal bir yapıya sahiptir. Bu sonuç, %15 O₂ - %85 Ar konsantrasyonuna sahip ZnO

ince filminin EDS analiz sonucu ile desteklenmektedir. Ayrıca %20 O₂ - %80 Ar konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin polikristal yapıda olduğu görülmektedir. Depolanan diğer konsantrasyonlardaki ZnO ince filmler ise amorf yapıdadır.

ZnO ince filmlerin yüzey görüntüleri incelendiğinde, gaz konsantrasyonuna göre değişik yapılarda oldukları görülmüştür. Tüm gözlenen farklılıkların sebebi oksijen gazı konsantrasyonu, basınç ve süreden kaynaklandığı düşünülmektedir. Fakat konsantrasyon dışında diğer parametreler sabit tutulsa bile yüzey görüntülerinde farklılık mutlaka görülecektir.

Üretilen ZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülükleri %xAr+%(100-x)O₂ gaz konsantrasyonuna göre farklı değerlerdedir. Bu farklılık düzenli olmamasına rağmen %15 O₂ - %85 Ar ve %10O₂ - %90Ar gaz konsantrasyonuna sahip ZnO ince filmler dışında depolanan bütün ZnO ince filmlerin yüzey pürüzlülükleri oldukça düşüktür.

Geçirgenlik sonuçları incelendiğinde zayıf absorban bölgesinde (>550 nm) ve görünür bölgede (400nm-700nm) en yüksek geçirgenlik değeri %50Ar+%50O₂ ve gaz karışımıyla depolanan ince filme aittir. Ayrıca %20 O₂ - %80 Ar konsantrasyonuna sahip ZnO ince filminin UV bölgede hiç geçirgenliğe sahip olmadığı, görünür bölgede ise yaklaşık %80 geçirgenliğe kadar bir artış gösterdiği, fakat görünür bölgede camın geçirgenliğine göre düşük bir geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Geçirgenlik spektrumunda görülen dalgalanmanın nedeni filmin kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü ile alakalıdır. Belirli film kalınlığında filmin yüzey pürüzlülüğü düşük olduğunda filme gönderilen elektromanyetik dalganın girişim yapması sonucunda geçirgenlik spektrumunda dalgalanma görülür. Depolanan ZnO ince filmlerin görünür bölgedeki geçirgenlik değerleri ise ortalama %70 civarındadır. Bu ise saydam iletken oksitlerin özelliklerindedir.

Yansıma ölçümleri incelendiğinde filmlerin 550 nm' deki ortalama yansıma değerinin yaklaşık %7 civarında olduğu görülmektedir. Farklı konsantrasyonlarda depolanan ZnO ince filmlerin yansıma değerlerinde bir farklılık mevcuttur. Görülen bu farklılığın sebeplerinin;

- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın mikroyapısal özelliklerinden,
- Cam alttaşın kaplanmış olduğu ZnO tabakanın tercihli yönelimlerinden,
- Yüzey bileşimlerinden,
- Yüzey pürüzlülüklerinin etkilerinden
- Kalınlık farklılığından

olduğunu düşünmekteyiz.

RF saçırma tekniğiyle elde edilen ZnO ince filmlerin Tauc metodu ile hesaplanan yasak enerji aralık değerleri 2,9 eV ile 3,85 eV arasında değişmektedir. Bu da literatürle uyum içerisindedir. Bu değişim Ar ve O₂ gaz konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

Cauchy yaklaşım modeli kullanılarak hesaplanan farklı konsantrasyonlardaki ZnO ince filmlerinin kırılma indisi değerleri 1,67 ile 2,33 arasında değişmektedir. Bu değişim yine Ar ve O₂ gaz konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

Ayrıca farklı konsantrasyonlarda depolanan ZnO ince filmlerin kalınlıkları üç farklı metotla belirlenmiştir. Bunlardan biri depolama esnasında Cressington İnce Film Kalınlık Ölçer cihazı ile ölçülen kalınlık değerleri, bir diğeri interferometrik metot ile hesaplanan kalınlık değerleri ve üçüncüsü ise cauchy yaklaşım metodu ile hesaplanan kalınlık değerleridir. Bu kalınlık değerleri çizelge 7.1' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge 7.1' den de görüleceği gibi 3 ayrı metotla hesaplanan ya da ölçülen kalınlık değerleri arasında farklılık olmasına rağmen bu değerler birbirine yakındır.

Çizelge 7.1 Üç farklı metotla ölçülen ya da hesaplanan kalınlık değerleri

Yüzde Oran	İnterferometrik Metot ile Hesaplanan Ortalama Kalınlık (nm)	Cauchy Modeli ile Hesaplanan Kalınlık (nm)	Depolama Esnasında Cressington İnce Film Kalınlık Ölçer Cihazı ile Ölçülen Kalınlık(nm)
%10Ar-%90O ₂	134.38	104,88	122
%20Ar-%80O ₂	86	88,95	105
%30Ar-%70O ₂	92.37	130	135
%40Ar-%60O ₂	123.08	130,5	143
%50Ar-%50O ₂	34.27	33,72	78
%60Ar-%40O ₂	93.39	98,52	112
%80Ar-%20O ₂	82.13	78,80	90
%85Ar-%15O ₂	194.92	136,12	260
%90Ar-%10O ₂	174.87	174,58	170

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kullanılan gaz karışımı plazması içerisindeki Ar ve O₂ gazı konsantrasyonuna bağlı olarak ZnO yapılarının değiştiği açıkça gözlenmiştir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akan, T., 2003, Termiyonik vakum ark (TVA)'nın temel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Aksoy S., 2006, Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Arı, T, 2007, Dalga Optiği, 1. Baskı, Gazi Üniversitesi Vakfı İktisadi İşletmeleri Yayınevi, Ankara
- Ashour M.A. Kaid N.Z. El-Sayed and Ibrahim A.A., (2005), “Physical properties of ZnO thin films deposited by spray pyrolysis technique,” Applied Surface Science
- Bahadur H., Garg S.C., Samanta S.B., Sharma R.K., Srivastava A.K., Sood K.N., Kishore R., Basu A., Rashmi, Kar M., Pal P., Bhatt V. and Chandra S., 2004, Characterization of ZnO Thin Films
- Balbağ, M. Z., 2009, Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği ile Magnezyum, Bor ve Magnezyum Borür ince filmlerinin üretilmesi ve bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Binnig, G., Quate, C. F., Gerber, Ch., 1986, Atomic Force Microscope, Phys. Rev. Lett., 56: 930
- Bunshah, R. F., 1994, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings Science: Technology and Applications, Second Edition, University of California at Los Angeles, Los Angeles, California, USA, 888 p
- Bütün H., 2007, Fe_xZn_{1-x} İnce Filmlerinde $K\beta/K\alpha$ Şiddet Oranının Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Campbell, D. S., 1978, Active and passive thin films devices, Academic press, London, chapt.2.
- Catlow, C.R.A., Defects and Disorder in Crystalline and Amorphous Solids, Klumer Academic publishers, 1991.
- Cheal, R. L., Yong, J. P., 2003, Characteristics of UV photodetector fabricated by $Al_{0,3}Ga_{0,7}N/ GaN$ heterostructure, Journal of Crystal Growth, 252: 51-57
- Chenn, E., 2004, Thin film deposition, Applied Physics, 298
- Chopra K., Kaur I., 1983, Thin Film Device Applications, Plenum Pres, NewYork, 244s
- Çörekçi S., 2008, Grup III-V Bileşik Yarıiletkenlerde AFM Yüzey Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Dai Z. H., Zhang R. J., Shao J., Chen Y. M., Zheng Y. X., Wu J. D. and Chen L. Y., 2009, Optical Properties of Zinc-oxide Films Determined Using Spectroscopic Ellipsometry with Various Dispersion Models, Journal of the Korean Physical Society 55-3, 1227-1232
- Demirci B., 2006, İndiyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Dulda A., 2006, II-VI Grubu Nanoyapıların Sentezlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Egerton, F. R., 2005, Physical Principles of Electron Microscopy : An Introduction to TEM, SEM, and AEM, Springer, USA, 0387258000

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Ekem N, Korkmaz S, Pat S, Balbag M.Z., Cetin E.N., Ozmumcu M., 2009, Some physical properties of ZnO thin films prepared by RF sputtering technique, International Journal of Hydrogen Energy 34, 5218-5222

Encyclopedia of Chemical Technology, 1998

Eren O., 2006, Alüminyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

Fahrenbruch, A.L. (1977), II-VI Compounds in Solar Energy Conversion, J. Cryst. Growth, 39, 73-91

Filmetrics F₂₀ operation manual, 2005

Fishbane, Paul M., Gasiorowicz Stephen, Stephen T. Thornton 2003, Temel Fizik, Cilt 2, Arkadas Yayıncılık, İstanbul, 686,1155-1195-1209

Gadelmawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M. A., Elewa, I. M., Soliman, H. H., 2002, Roughness parameters, Journal of Materials Processing Technology, 123: 133-145

Goldstein, J. I. and Yakowitz, H., Practical Scanning Electron Microscopy, Plenum Press, NY, 1975, ISBN 0-306-30820-7

Gonzalez, J. S., Parralejo A. D., Ortiz A.L., Guiberteau F., 2006, Determination of optical properties in nanostructured thin films using the Swanepoel method, Applied Surface Science 252, 6013-6017

Grill A., 1993, Cold Plasma in materials fabrication, IEEE Pres

Guinier A., 1994, Diffraction of X-rays by Crystals, in X-ray Diffraction in Crystals, Dover Publications, Inc., New York, USA

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Gür E., 2007, Çinko Oksit Yarıiletkeninin Yapısal, Optik ve Elektriksel Karakterizasyon Teknikleriyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye
- Jiang X., Wong F. L., Fung M. K., and Lee S. T., 2003, Aluminum-doped zinc oxide films as transparent conductive electrode for organic light-emitting devices, Applied Physics Letters 83-9, 1875-1877
- Johnson, R. L., 2005, Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric micro-cantilevers, Master Thesis, Electrical Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa, 98 p.
- Kars İ., 2007, $Al_{0,2}Ga_{0,8}As/GaAs$ Çoklu Kuantum Kuyusunun Yapısal ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Kavgacı M., 2007, Kimyasal Banyo Yöntemiyle Üretilen Xse ($X=Zn,Cu,Mn$) İnce Filmlerinde Xrf Ölçümleri, Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye
- Kırmızıgül F., CdO İnce Filmlerin Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- Kokkokoğlu M., 2010, RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Korçak, S., 2006, $Al_xGa_{1-x}As$ ve $In_xGa_{1-x}N$ Tabakalı Yarıiletken İnce Filmlerin Optik ve Yapısal Özelliklerinin Tayini, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Küçükgenç Ö., 2008, Güneş Işığı Kollektörlerinde Kullanılan Soğurucu Filmlerin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Türkiye
- Li S. Y., Lin P., Lee C. Y. and Tseng T. Y., 2004, Field emission and photofluorescent characteristics of zinc oxide nanowires synthesized by a metal catalyzed vapor-liquid-solid process, *Journal of Applied Physics* 95-7, 3711-3716
- Mathew X., Enriquez J. P., 2000, Temperature dependence of the optical transitions in CdTe thin Film-Investigation with photoresponse spectra, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 63, 347
- Mattox, Donald M., 1998, *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control*, Westwood, N.J.: Noyes Publications
- Morkel M., Weinhardt L., Lohmüller B., Heske C., Umbach E., Riedl W., Zweigart S. and Karg F., 2001, Flat conduction-band alignment at the CdS/CuInSe₂ thin-film solar-cell heterojunction, *Applied Physics Letters* 79, 27
- Oura, K., Lifshitsi V. G., Saranin, A. A., Zotov, A. V., Katayama, M., 2003, *Surface science*, Springer, Berlin, 166, 229, 378, 382
- Özbayraktar L. N., 2006, Atmalı Plazma Katodik Ark Yöntemiyle Elde Edilmiş ZnO (Çinko Oksit) İnce Filmlerde Fotoiletkenlik, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye
- Özkan M., 2010, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile II-VI Grubu Bazı Yarıiletken Bileşiklerin İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Pulker, H.K., 1984, Coatings on Glass. Elsevier, 213 p, Amsterdam
- Rath S. and Sahu S. N., 2005, Mercury-telluride nanocrystalline thin films: a unique photoluminescence in the visible regime, Journ. of Metastable and Nanocrystalline Materials 23, 125-128
- Roth, J.R., 2001, Industrial plasma engineering, vol.II, IOP publish Bristol-Philadelphia
- Seshan K., 2002, Deposition Processes and Techniques: Principles, Methods, Equipment and Applications, Second Edition, Santa Clara, California, USA, 629 p
- Shirley P.S., 1990, Physically Based Lighting Calculations for Computer Graphics, University of Illinois at Urbana-Champaign, , Urbana, Illinois, 175 p
- Srikant V. and Clarke D. R., 1998, On the optical band gap of zinc oxide, J. Appl. Phys. 83, 5447
- Suchea M., Christoulakis S., Moschovis K., Katsarakis N., Kiriakidis G., 2006, ZnO transparent thin films for gas sensor applications, Thin Solid Films 515, 551–554
- Swanepoel R.J., 1980, J. Phys. E: Sci. Instrum. 16, 1214
- Tarımcı C., Sarı H., 2006, Vakum tekniği, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 1. Baskı, 168 s
- Thornton, J. A., 1983, Plasma assisted deposition process: Theory, mechanism and applications, Thin Solid Film, vol.107, 3-19
- TT90 Spektroskopik Elipsometre Kataloğu 2010

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Wasa, K., Kitabatake, M., Adachi H., 2004, Thin Film Materials Technology
Sputtering of Compound Materials, William Andrew Publishing, USA

Watchman, J. B., Haber R.A., 1993 Ceramic films and coatings, Noyes Publications,
New Jersey, USA, 447p.

http://borneinstein.tripod.com/physics_engineering/thinfilm.html

http://www.emg.tu-bs.de/forsch/material/mat_half_en.htm

http://www.qis.ucalgary.ca/quantech/471/labs/fresnel_brewster.pdf

<http://www.semiconductors.co.uk/propivi5410.htm>

www.eng.tau.ac.il/~yosish/courses/vlsi/Sputtering1.ppt