



**YANSITICI VE YANSIMA ÖNLEYİCİ OPTİK İNCE FİLM  
MALZEMELERİN ÜRETİMİ ANALİZ VE TEST SÜREÇLERİ**

**Ümran Ceren BAŞKÖSE**

**DOKTORA TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2016**

Ümran Ceren BAŞKÖSE tarafından hazırlanan “YANSITICI VE YANSIMA ÖNLEYİCİ OPTİK İNCE FİLM MALZEMELERİN ÜRETİMİ ANALİZ VE TEST SÜREÇLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Semran SAĞLAM

Fizik, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Başkan :** Prof. Dr. Mehmet KASAP

Fizik, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye :** Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK

Fizik, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye :** Doç. Dr. Nefise ÖZÇELİK

Fizik, Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye :** Yrd. Doç. Dr. Barış KINACI

Fizik, İstanbul Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 29/06/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Metin GÜRÜ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ümran Ceren BAŞKÖSE

29/06/2016



YANSITICI VE YANSIMA ÖNLEYİCİ OPTİK İNCE FİLM MALZEMELERİN  
ÜRETİMİ ANALİZ VE TEST SÜREÇLERİ  
(Doktora Tezi)

Ümran Ceren BAŞKÖSE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2016

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında ince film optik kaplamalar üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri gerçekleştirildi. Yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan optik ince filmler fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden püskürtme ve eş odaklı püskürtme sistemleri kullanılarak üretildi. Yansıma önleyici kaplamalar için ince film malzeme olarak silikon nitrat ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), yansıtıcı kaplamalar için ise altın/krom (Au/Cr) kullanıldı. Farklı altlıklar üzerinde oluşturulan bu ince filmlerin doğasına ve işlevselliğine ışık tutabilmek için, X-ışını kırınım yöntemi ile yapısal analizler; foto lüminesans, kızılötesi ve mor ötesi-görünür bölge spektroskopileri ile optik analizler; atomik kuvvet mikroskobu ile morfolojik analizler yapıldı. Üretilen Au/Cr ince filmleri, alternatif kullanıma uygunluğunun değerlendirilebilmesi için termal dayanım testine tabii tutuldu. Farklı üretim süreçleri, üretim sonrası ısı işlemler ve bu süreçlerin malzeme üzerindeki etkileri, analiz ve test sonuçları üzerinden detaylı olarak tartışıldı. Geliştirilen  $\text{Si}_3\text{N}_4$  filminin fotovoltaik hücreler için yansıma önleyici katman olarak kullanılabilmesi; Au/Cr filmlerinin ise uzay araçlarındaki sensörleri uzay çevresel şartlarından koruyucu optik kaplama ve ısı kalkan olarak kullanımının uygun olduğu değerlendirildi.

Bilim Kodu : 20210

Anahtar Kelimeler : Optik kaplama, Püskürtme, Eş odaklı püskürtme,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , Au

Sayfa Adedi : 80

Danışman : Doç. Dr. Semran SAĞLAM

THE PRODUCTION, ANALYSIS AND TESTING PROCESSES OF REFLECTIVE &  
ANTIREFLECTIVE OPTICAL THIN FILM MATERIALS

(Ph. D. Thesis)

Ümran Ceren BAŞKÖSE

GAZİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2016

ABSTRACT

This thesis deals with a development study into thin film optical coatings. Reflective and antireflective optical thin films were produced using sputtering and co-sputtering, which are two methods of physical vapor deposition. Silicon nitride ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) was used as thin film material for the antireflective coating; gold (Au) was used as thin film material for the reflective coating. To shed light on the nature and functionality of thin films coated onto a different substrate, the structure analysis of the films was performed by X-ray diffraction method, the optical analysis of the films was performed by photoluminescence, infrared and ultraviolet-visible range spectroscopy, the morphological analysis of the films was performed by atomic force microscope. Au/Cr thin films were tested for thermal resistance to find out the conformity of alternative applications. The analyses, test results, different production processes, thermal treatment before the production, and the effect of this process on materials were extensively discussed. It is evaluated that the developed  $\text{Si}_3\text{N}_4$  film can be used as anti-reflection layer for photovoltaic cells and Au / Cr films are suitable for use as a protective optical coating in the spacecraft sensors for space environmental conditions. In addition, their use as thermal shield is evaluated.

Science Code : 20210

Key Words : Optical coating , Sputtering, Co-sputtering,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , Au

Page Number : 80

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semran SAĞLAM

## TEŞEKKÜR

Akademik çalışmalarım süresince her konuda benden yardımlarını, desteğini ve tecrübesini esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Semran SAĞLAM'a teşekkür ederim.

Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin tüm imkân ve olanaklarından faydalanarak doktora çalışmalarımı tamamlamam konusunda benden bilgi ve desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK'e ve Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yollarımın kesiştiği tüm bilim emekçisi hocalarıma ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan aileme minnettarım...

Bu çalışmaya 2011K120290 nolu proje ile Kalkınma Bakanlığı'na, desteklerinden dolayı TÜBİTAK-UZAY ve MSB Ar-Ge ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederim.



**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. OPTİK İNCE FİLM TEORİSİ.....	7
2.1. Transfer Matris Yöntemi.....	7
2.2. Yansıma Engelleyici Kaplamalar.....	14
2.3. Yüksek Yansıtıcı Kaplamalar .....	15
3. MATERYAL VE METOT .....	19
3.1. Püskürtme & Eş Odaklı Püskürtme Sistemleri .....	19
3.2. Isıl İşlem Sistemleri.....	22
3.3. Spektroskopik Analiz Sistemleri.....	24
3.4. Yüzey Analiz Sistemleri .....	30
3.5. Elektriksel Analiz Sistemleri.....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	35
4.1. Yansıma Engelleyici Kaplamaların Üretim ve Karakterizasyonları .....	35
4.2. Yüksek Yansıtıcı Kaplamaların Üretim ve Karakterizasyonları.....	46

**Sayfa**

4.2.1. Safir üzerindeki yansıtıcı kaplamaların karakterizasyonları .....	48
4.2.2. Soda kireç camı üzerindeki yansıtıcı kaplamaların karakterizasyonları ...	53
4.2.3. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların karakterizasyonları.....	61
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	77



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri ve matematiksel ifadeleri .....	31
Çizelge 4.1. Yansıma engelleyici kaplamaların büyütme parametreleri.....	35
Çizelge 4.2. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular .....	37
Çizelge 4.3. Tabaka kalınlıkları ve fit parametreleri .....	43
Çizelge 4.4. Püskürtme sisteminde kaplanan yüksek yansıtıcı filmlerin büyütme parametreleri .....	47
Çizelge 4.5. Eş odaklı püskürtme sisteminde kaplanan yüksek yansıtıcı filmlerin büyütme parametreleri .....	47
Çizelge 4.6. Au/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Au/Cr/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> yansıtıcı kaplamaların X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular.....	52
Çizelge 4.7. Au/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kaplamaların özdirenç (rezistivite) ölçüm sonuçları .....	53
Çizelge 4.8. Au/Cr/SKC yansıtıcı kaplamaların X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular.....	55
Çizelge 4.9. Au/Cr/SKC kaplamaların özdirenç (rezistivite) ölçüm sonuçları.....	57
Çizelge 4.10. Au/SKC yansıtıcı kaplamaların termal döngü testi sonrasında x-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular.....	60
Çizelge 4.11. Au/Cr/SKC örneklerinin termal döngü testi sonrası özdirenç ölçüm sonuçları.....	61
Çizelge 4.12. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular .....	64
Çizelge 4.13. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların özdirenç ölçüm sonuçları.....	65

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sınırlardaki alanlar.....	8
Şekil 2.2. $\lambda/4$ kalınlığında filmlerden oluşan yansıma engelleyici çift katman ve üçlü katman .....	15
Şekil 2.3. Çok tabakalı periyodik sistem (çift çeyrek ve çeyrek dalga istifi) .....	16
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yöntem ve cihazların şematik gösterimi .....	19
Şekil 3.2. Püskürtme yöntemi ile film biriktirmenin şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.3. Elektromanyetik dalga - madde etkileşimleri .....	24
Şekil 3.4. Elektromanyetik spektrum.....	25
Şekil 3.5. Parlama sırasındaki enerji değişimi .....	28
Şekil 3.6. Elipsometrenin ölçüm prensibi.....	29
Şekil 4.1. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri.....	36
Şekil 4.2. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin kızılötesi (FTIR) soğurma spektrumları .....	38
Şekil 4.3. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin morötesi-görünür (UVVIS) bölge yansıma spektrumları .....	40
Şekil 4.4. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin $h\nu-[F(R)h\nu]^2$ grafiği.....	41
Şekil 4.5. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin fotoluminesans (PL) spektrumları .....	42
Şekil 4.6. Modellemenin şematik gösterimi .....	43
Şekil 4.7. Si/Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ince filmlerin spektroskopik elipsometre ölçüm ve modelleme sonuçları .....	44
Şekil 4.8. Kırılma indisinin (n) ve sönüm sabitinin (k) foton enerjisine göre değişimleri .....	45
Şekil 4.9. Yansıtıcı kaplamalarda kullanılan alttaşların geçirgenlik spektrumları .....	46
Şekil 4.10. Safir üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri .....	51

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.11. Safir üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları.....	52
Şekil 4.12. SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri .....	55
Şekil 4.13. SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları.....	56
Şekil 4.14. SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin termal döngü testi sonrası X-ışını kırınım (XRD) desenleri .....	59
Şekil 4.15. SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin termal döngü testi sonrası UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları.....	60
Şekil 4.16. Cam ve corning cam üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri .....	63
Şekil 4.17. Cam ve corning cam üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları.....	64

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. BESTEC 222 magnetron püskürtme sistemi .....	21
Resim 3.2. NVTS-500 eş püskürtme sistemi.....	22
Resim 3.3. Konveksiyon ısıtma fırını.....	23
Resim 3.4. Difüzyon fırını .....	23
Resim 3.5. APD 2000 PRO XRD cihazı ve Bruker D8 Discover XRD cihazı .....	26
Resim 3.6. VERTEX 80 FTIR spektrometresi .....	27
Resim 3.7. Perkin Elmer Lambda 2S UV-VIS spektrometresi.....	27
Resim 3.8. Fotolüminesans sistemi.....	28
Resim 3.9. Spektroskopik elipsometre cihazı .....	30
Resim 3.10. Nano Magnetics hpAFM atomik kuvvet mikroskobu.....	31
Resim 3.11. Dektak-150 yüzey profilometresi .....	32
Resim 3.12. Özdirenç ölçüm tablası.....	32
Resim 4.1. Safir ( $Al_2O_3$ ) alttaşın 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $5\mu m \times 5\mu m$ ) .....	48
Resim 4.2. Aşındırılmış safir ( $Al_2O_3$ ) alttaşın 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $5\mu m \times 5\mu m$ ).....	49
Resim 4.3. N328 (Au/aşındırılmış $Al_2O_3$ ) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $1\mu m \times 1\mu m$ ) .....	49
Resim 4.4. N328 (Au/ $Al_2O_3$ ) örneğinin tavlama öncesi 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $1\mu m \times 1\mu m$ ) .....	50
Resim 4.5. N328 (Au/ $Al_2O_3$ ) örneğinin tavlama sonrası 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $1\mu m \times 1\mu m$ ) .....	50
Resim 4.6. CTS135 (Au/Cr/ $Al_2O_3$ ) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu m \times 3\mu m$ ).....	51
Resim 4.7. Soda kireç camın 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $5\mu m \times 5\mu m$ ).....	54
Resim 4.8. CTS87 (Au/Cr/SKC) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu m \times 3\mu m$ )...	54
Resim 4.9. CTS88 (Au/Cr/SKC) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu m \times 3\mu m$ )...	55

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.10. CTS87'nin termal test (a) öncesi ve (b) sonrası optik mikroskop görüntüleri .....	58
Resim 4.11. CTS88'in termal test (a) öncesi ve (b) sonrası optik mikroskop görüntüleri .....	58
Resim 4.12. CTS87 ve CTS88 örneklerinin termal döngü testi sonrası 3D AKM görüntüleri ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ ) .....	59
Resim 4.13. CTS135 (Au/Cr/cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ ) ...	62
Resim 4.14. CTS135 (Au/Cr/corning cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ ).....	62
Resim 4.15. CTS136 (Au/Cr/cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ ).....	62
Resim 4.16. CTS136 (Au/Cr/corning cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ ).....	63

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
$\alpha$	Alfa
$\beta$	Beta
$\delta$	Dislokasyon yoğunluğu
Å	Ångström
$\theta$	Bragg açısı
$\epsilon$	Dielektrik sabiti
°	Derece
$\Psi$	Genlik
$\Delta$	Faz farkı
$\lambda$	Dalga boyu
$E_g$	Bant boşluğu
$\nu$	Frekans
Å/s	Ångström /saniye
$\chi^2$	Fit uygunluk derecesi
°C	Santigrad derece
2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu
G	Gauss
mtorr	Mili torr
cm <sup>-1</sup>	Santimetre üzeri eksi bir
eV	Elektron volt
nm	Nanometre
mbar	Mili bar
ohm.cm	Ohm.santimetre
A	Soğurma
D	Tane boyutu
h	Planck sabiti



<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
-----------------	--------------------

<b>k</b>	Sönüm sabiti
<b>K</b>	Kelvin
<b>n</b>	Kırılma indisi
<b>R</b>	Yansıma
<b>T</b>	Geçirgenlik
<b>V</b>	Volt
<b>W</b>	Watt
<b>Al</b>	Alimünyum
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Safir
<b>Ar<sup>+</sup></b>	Argon iyonu
<b>Au</b>	Altın
<b>Cr</b>	Krom
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O</b>	Etanol
<b>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O</b>	Aseton
<b>DI-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Deiyonize su
<b>GaAs</b>	Galyum Arsenik
<b>HF</b>	Hidrojen florür
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Hidrojen peroksit
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sülfürik asit
<b>N</b>	Azot
<b>O</b>	Oksijen
<b>Si</b>	Silikon
<b>Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub></b>	Silisyum nitrür

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
--------------------	--------------------

<b>AFM</b>	Atomik kuvvet mikroskobu
<b>ATR</b>	Zayıflatılmış toplam yansıma
<b>CTA</b>	Konveksiyon ısıtma tavlama
<b>DC</b>	Doğru akım
<b>EMA</b>	Etkin Ortam yaklaşımı

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>FTIR</b>	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
<b>FWHM</b>	Pik yüksekliğinin yarı genişliği
<b>IR</b>	Kızılötesi
<b>MIR</b>	Orta kızılötesi
<b>NIR</b>	Yakın kızılötesi
<b>PL</b>	Fotoluminesans
<b>RF</b>	Radyo frekansı
<b>RMS</b>	Kare ortalama karekök
<b>SE</b>	Spektroskopik elipsometre
<b>SKC</b>	Soda kireç camı
<b>SPR</b>	Yüzey plazmonik rezonans
<b>UV</b>	Mor ötesi
<b>VIS</b>	Görünür
<b>XRD</b>	X-ışını kırınım

## 1. GİRİŞ

Nanoyapılı malzemelerin ve cihazların tasarım üretim ve işlevselliğine temel oluşturan ince film materyaller, günümüzde hem akademik hem de endüstriyel alanda birçok teknolojik ve bilimsel araştırmaya konu edilmiştir.

İnce film formatındaki nanokristal materyaller, elektriksel özellikleri sayesinde yarıiletken/süperiletken cihazlarda, yalıtım ve iletim fonksiyonlarında, devre elemanı yapımında; optik özellikleri sayesinde *yansıtıcı ve yansıma önleyici kaplamalarda*, girişim filtrelerinde, optiksel disklerde; ferromanyetik ve ferroelektrik özellikleri sayesinde bilgisayar hafıza aygıtlarında; kimyasal özellikleri sayesinde oksidasyon veya korezyona karşı korumada, ince film bataryalarda, sensörlerde ve daha pek çok mikro ve nano yapılı malzeme uygulamalarında, hem endüstriyel hem de araştırma-geliştirme amaçlı yaygın olarak kullanılmaktadır. Saf metallere oluşan nano yapılar ve nano parçacıklar da fotonik ve plazmonik uygulamalarda, telekomünikasyon ve bilgi işleme cihazlarında, optik aletlerde, molekül ve kimyasal madde algılayıcılarda ve de medikal alanda çok sık kullanılmaktadır [1-5].

İnce filmler; kaplanacak malzemenin atomlarının veya moleküllerinin, filmin oluşumuna yardımcı olacak bir alt malzeme üzerine genellikle 1µm'nin altındaki kalınlıklarda dizilmesiyle oluşturulur. Bu dizilim fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki temel başlık altında toplanan birçok yöntemle sağlanabilmektedir. Kimyasal çözelti kaplaması (CSC), kimyasal banyo kaplaması (CBD), sol-jel metot, spin kaplama, kimyasal buhar biriktirme (CVD), metal organik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD), plazma geliştirmeli kimyasal buhar biriktirme (PECVD), atomik katman biriktirme (ALD) kimyasal yöntemlerdir. *Fiziksel buhar biriktirme (PVD)* ise; buharlaştırma (rezistans ile buharlaştırma, endüktif RF buharlaştırma, ark yöntemi, elektron demetiyle buharlaştırma, lazer ile buharlaştırma) ve *sıçratma* (diyot sıçratma, triyod sıçratma, manyetik alan sıçratma, iyon demetiyle sıçratma) yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır [6].

İşlevsel bir ince film optik kaplama üretebilmek için, kaplama parametreleri dikkatle seçilmelidir. Öncelikle amaçlanan spektral bölgeye uygun fiziksel (optik soğurma, direnç, ...) ve kimyasal (sitokiyometri, saflık, ...) nitelikte olan malzeme belirlenmelidir. İnce film

kaplamaların optik performansını etkileyen en önemli parametreler, kaplamayı oluşturan katmanların kırılma indisleri ve kalınlıklarıdır. Kırılma indisi altaştan büyük olan filmlerle yansıtma arttırılırken (yüksek yansıtmalı kaplamalar), kırılma indisi altaştan küçük olan filmlerle yansıtma azaltılmaktadır (yansıtma azaltıcı kaplamalar). Örneğin kırılma indisi 4 civarında olan, yüzeyden %36 civarında yansıtma kaybı veren germanyum ve kırılma indisi 3.5, yansıtma kaybı %31 civarlarında olan silikon gibi sık kullanılan yarıiletkenleri yansıtma engelleyici kaplamalar olmadan, ilgili uygulamaların pek çoğunda kullanmak imkansız olurdu. Aynı zamanda güneş hücreleri için yüzeyden yansıtma kayıplarını en aza indirebilmek çok önemli bir uygulamadır. Kaplanmamış tipik güneş pilinin %30'a varan yansıtma kaybı yansıtma engelleyici kaplama ile %10'a kadar düşürülebilmektedir. Bu da hücrede yük taşıyıcıları oluşturarak pilin verimliliğini yükseltir [7].

Optik malzeme ve optik kaplamaların geliştirilmesi yeryüzünde olduğu kadar uzay uygulamaları içinde kritik öneme sahip teknolojiler arasında yer alır. Uydularda kullanılan sensörler, dijital ve analog elektronikler, kızılötesi algılayıcılar, katıhal parçacık dedektörleri gibi elektro-optik aygıtlar ilgili yörüngede aşırı ışınlama, sıcaklık farklılıkları gibi çevresel etkilerden olumsuz etkilenmekte ve bu etki ile körleşmeye kadar uzanan problemlerle karşılaşmaktadır. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmanın yollarından biri, elektro-optik aygıtların önüne ışık geçirgenliğini, gerekli minimum seviyeye düşüren metal ince film kaplamaların geliştirilmesidir. Değişken ortam şartlarına göre uzay araçlarının gereksinimleri, kullanılacak malzemeler için çalışma sıcaklıklarının kontrol edilmesi, termal sebeplerle oluşabilecek hasarların belirlenmesi ve bu konudaki önlemlerin verimden kayıp yaratmayacak şekilde geliştirilmesini sağlayabilmek için metalik türdeki yansıtıcı kaplamalar kullanılmaktadır. Tüm metalik yansıtıcılar seçilen dalga boyu bölgesine göre farklı yansıtıcılık sergilerler. Termal kontrol kaplamaları için 0.2-15 $\mu$  aralığı önem teşkil etmektedir. Bu dalga boylarında en yaygın kullanılan yansıtıcı malzemeler alüminyum gümüş ve altındır. Metal ince filmlerin uzay kalifiye olarak optik geçirgen yüzeyler üzerine üretimleri için ilgili yörüngedeki ışınlama ve sıcaklık değişim etkileri gibi uzay-çevresel etkilere dayanımlı ve yüzey yapışma direncinin yeterli düzeyde olması hedeflenmelidir [8-12].

Tüm dünyada sivil endüstrinin ve savunma sanayinin ihtiyacı olan optik kaplamalar üzerinde yapılacak araştırma ve geliştirme faaliyetleri, ülkemize hem sosyal hem de ekonomik olarak olumlu katkılar sağlayacaktır.

Öncelikle tez çalışmasına konu olan malzemeler üzerine, geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalar ve konunun gelişimi detaylı olarak incelendi.

Ashley Taylor'ın çalışmasında [13] silikon nitrit ince filmler, 400°C'de, reaksiyona giren NH<sub>3</sub>, SiH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub> gazlarının akış oranı değiştirilerek plazma geliştirmeli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) metodu ile ayrıca; 820°C'de, NH<sub>3</sub> ve SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> gazları kullanılarak kimyasal buhar biriktirme (CVD) metodu ile, yaklaşık 1µm kalınlığında, silikon alttaş üzerine kaplandı. N/Si oranı elektron mikro prop (EMP) ve Rutherford geri saçılma (RBS) yöntemleri kullanılarak analiz edildi. Ayrıca çalışmada fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrum analizleri kullanıldı.

Tijanić ve diğerlerinin çalışmasında [14] SiN<sub>x</sub> ince film 570°C'de, NH<sub>3</sub>, SiH<sub>4</sub> gazları kullanılarak düşük basınçlı kimyasal buhar biriktirme (LPCVD) metotla silikon alttaş üzerine kaplandı. Reaksiyona giren amonyak gazı akış oranı değiştirilip RAMAN ve fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrum analizleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapıldı.

Liu ve diğerlerinin yaptığı çalışmada [15] alttaş sıcaklığı (100-200-300-400°C), reaksiyona giren SiH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub> gazlarının akış oranı (20/80-30/70-40/60-50/50) ve de RF gücü (100-150-200W) değiştirilerek, plazma geliştirmeli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) metotla Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince film silikon alttaş üzerine kaplandı.

Deshpandea ve diğerlerinin yaptığı çalışmada [16] amonyak, disilan, hidrojen ve argon gazları ile 245-370°C'de 1500-1850°C filament sıcaklığında sıcak filament destekli kimyasal buhar biriktirme (HFCVD) metoduyla Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince film kuartz ve silikon alttaş üzerine kaplandı. Karakterizasyon için elektron spin rezonans (ESR), morötesi-görünür (UV-VIS) bölge, fotoluminesans (PL) ve fotoluminesans eksitasyon (PLE) spektrumlarının analizleri yapıldı.

Katzer ve diğerleri çok yüksek vakum altında biriktirme (UHVD) metoduyla silikon nitrit ince filmi silikon alttaş üzerine hazırlayarak fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR), Rutherford geri saçılma (RBS), spektroskopik elipsometri (SE) ve X-ışını kırınım (XRD) analizleriyle karakterizasyon yaptılar [17].

Molinari ve diğerklerinin yaptığı çalışmada [18] amorf silikon nitrit ince filmler ( $a\text{-SiN}_x$ )  $100^\circ\text{C}$ ' de  $2000\text{\AA}$  kalınlıkta silikon ve cam alttaşlar üzerine biriktirildi ve tavlama işlemi uygulandı. Kızılötesi (IR), RAMAN, fotolüminesans (PL) ve morötesi-görünür-yakın kızılötesi (UV-VIS-NIR) yöntemleri ile spektroskopik inceleme yapıldı.

Xu ve diğerklerinin çalışmasında [19] silikon nitrit ince filmler, saf Si kaynağı (target), yüksek saflıkta Ar ve  $\text{N}_2$  gazları kullanılarak farklı alttaşlar üzerine manyetik alan sıçratma yöntemi uygulanarak yapıldı. Morötesi-görünür (UV-VIS) bölge spektrum, fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrum, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınım (XRD) ve Rutherford geri saçılma (RBS) analizleri yapıldı.

Shih-Liang Ku ve Cheng-Chung Lee yaptıkları çalışmada [20] iyon yardımcı kaplama süreci ile (IAD), silikon, germanyum ve cam alttaşlar kullanarak,  $\text{SiN}_x$  filmleri hazırlayıp, taramalı elektron mikroskobu (SEM), fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektrum, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve spektroskopik elipsometri (SE) lmleri uyguladılar.

George, Glaunsinger, Thundat ve Lindsay'in çalışmasında krom altın difüzyonu taramalı tünelleme mikroskobu (STM) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile incelendi [21].

Premchander Perumal çalışmasında ışın buharlaştırma metot ile altın nano parçacıkları Cr/cam ince film yüzeyinde üretti. Taramalı tünelleme mikroskobu (STM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile yüzey çalışması yaparak X-ışını spektroskopisi ile yapı bilgisi verdi. Soğurum geçirgenlik ve yansıtma ölçümlerini Morötesi-görünür (UV-VIS) bölgede gerçekleştirerek altının yüzey plazmonik özelliklerini tartıştı [22].

Piersona, Wiederkehra, Billardb'n çalışmasında bakır, gümüş ve altın kaynaklar kullanarak; silikon ve cam alttaşlar üzerine; farklı reaktif gazlar uygulanarak; RF püskürtme süreciyle, metal filmler oluşturuldu. Metal film incelemelerinde; X-ışını kırınım (XRD) analizleri, oda sıcaklığı özdirenç ölçümleri ve Morötesi-görünür (UV-VIS) bölge spektrum ölçümleri ile band boşluğu hesaplamaları yapıldı. Büyütme sürecine bağlı olarak sonuçlar değerlendirildi [23].

Axelevitch, Gorenstein ve Golan çalışmalarında, termal buharlaştırma ve düşük basınç DC plazma püskürtme yöntemi ile cam üzerine oluşturulan farklı ince metal filmlerin optik özelliklerini incelediler. Çalışmada atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri, Morötesi-görünür (UV-VIS) bölge spektrumları ve elektriksel özdirenç ölçümleri de mevcut [24].

Altın ince filmler farklı alttaşlar üzerine sıklıkla termal buharlaştırma ve püskürtme yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir [25-27]. Ayrıca metal-dielektrik çok katlı yapılarda yansıtıcı özellikteki malzeme tasarım ve üretimlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [28-29].

Bu tez çalışması kapsamında ince film optik kaplamalar üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapıldı. Yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan optik ince filmler fiziksel buhar biriktirme yöntemleri kullanılarak üretildi. Yansıma engelleyici kaplamalar için alt malzeme olarak silikon (Si) ve galyum arsenik (GaAs), kaplanacak ince film malzeme olarak da silikon nitrat ( $Si_3N_4$ ) kullanıldı. Yansıtıcı kaplamalar için optik geçirgen yüzeyler üzerine tek tür metal ince film ve farklı metal ince filmlerin ardışık olarak kaplanması ve karakterizasyonu gerçekleştirildi. Alt malzeme olarak safir ( $Al_2O_3$ ), soda kireç camı (SKC), corning cam ve mikroskop camı; kaplanacak tek ve ardışık metal ince filmler için malzeme olarak altın (Au), alimünyum (Al) ve krom (Cr) kullanıldı.

Bu tez çalışmasının yansıma engelleyici kaplama kısmı için; Gazi Üniversitesi Fotonik Araştırma Laboratuvarında bulunan püskürtme sisteminde (BESTEC 222 UHV), RF magnetron püskürtme yöntemi ile  $200^\circ C$  alttaş sıcaklığında,  $Si_3N_4$  kaynak malzeme kullanılarak farklı alttaşlar üzerine (silikon ve GaAs) kalınlık parametresi değiştirilerek (75nm; 150nm; 200nm) çeşitli kaplamalar uygulandı. Yansıtıcı (metalik ayna) kaplama kısmı için; altın ince filmler Gazi Üniversitesi Fotonik Araştırma Laboratuvarında bulunan eş odaklı püskürtme (co-sputtering) sisteminde (NTVS-500) hazırlandı. Sistem hem ısı buharlaştırma hem de mıknatıslı saçırma işlemlerinin gerçekleştirilebildiği kombine bir sistemdir.

Üretilen bu ince film malzemelerin doğasına ve işlevselliğine ışık tutabilmek için, X-ışını kırınım (XRD) yöntemi ile yapısal analizler; fotoluminesans (PL), kızılötesi (FTIR) ve mor

ötesi-görünür bölge (UV-VIS) spektroskopileri ile optik analizler; atomik kuvvet mikroskobu (AKM) ile morfolojik analizler yapıldı.

Tez çalışması aşağıdaki şekilde organize edilerek sunuldu:

Birinci bölümde tez çalışmasının amacı ve çalışma boyunca izlenen yol, ilgili literatür araştırmalarıyla birlikte sunuldu. İkinci bölümde deneysel olarak sürdürülen tez çalışmasının teorik altyapısı optik ince film teorisi başlığı altında özetlendi. Üçüncü bölümde tüm çalışma boyunca kullanılan üretim ve analiz sistemleri anlatıldı. Dördüncü bölümde araştırma bulguları detaylı olarak tartışıldı ve son olarak beşinci bölümde de elde edilen sonuçlar verilerek, konuyla ilgili öneriler sunuldu.





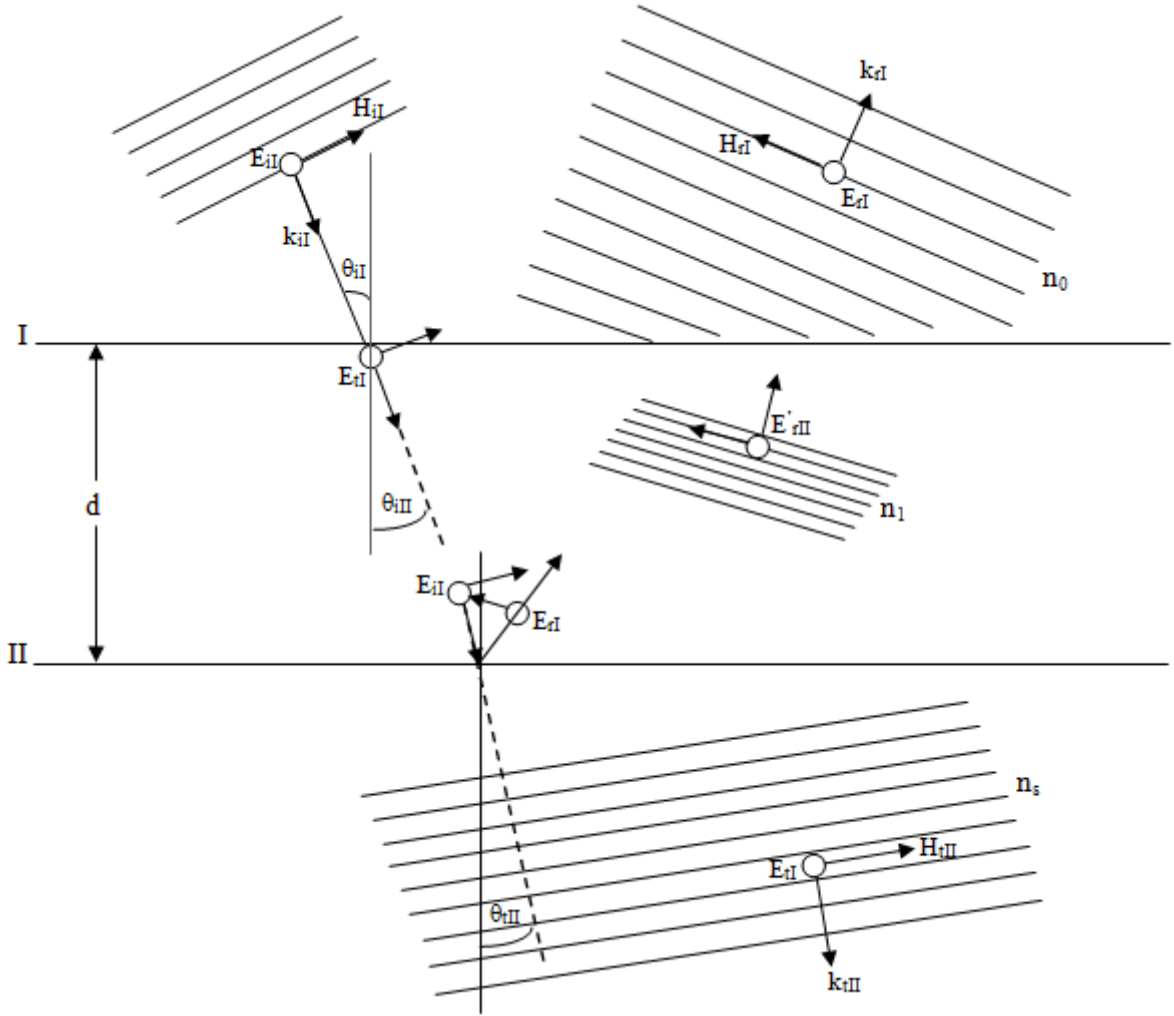
## 2. OPTİK İNCE FİLM TEORİSİ

Bu bölümde optik uygulamalar için üretilen ince filmler hakkında temel tanımlamalar, fiziksel kavramlar ve bu kavramların matematiksel ifadeleri ele alınacaktır. Optik uygulamalar için üretilen ince filmlerin temel prensibi girişim olayıdır. İnce film ile kaplanmış bir alttaş, üzerine gelen ışınların bir kısmını geçirirken bir kısmını da yansıtır. Hem alttaş hem de film yüzeyinden yansıyan ışınlar yapıcı ve yıkıcı girişim oluştururlar.

Çok katmanlı filmlerin teorisini daha iyi açıklayabilmek için, toplam elektrik ve manyetik alanları ve onların çeşitli bölgelerdeki sınır koşullarıyla ilgili matematiksel inceleme yapmak gerekir. Maxwell'in makroskobik kuramının bir uygulaması olan transfer matrisi hesaplama yöntemi ile bu inceleme ayrıntılı şekilde yapılabilir. Bu yöntem ilk olarak 1950 yılında F. Abelés tarafından önerilmiş ve o tarihten bu yana geliştirilmiştir [30].

### 2.1. Transfer Matris Yöntemi

Şekil 2.1' de verilen  $E_{rI}$ ,  $E'_{rII}$ ,  $E_{tII}$  vb. dalgalarının her biri, ortamın belli bir noktasında belli bir doğrultuda ilerleyen bütün dalgaların bileşkesini gösterir. Toplama işlemi bu nedenle gösterim içindedir. Sınır koşulları uyarınca, hem elektrik hem de manyetik alanların teğetsel bileşenleri sınırları geçerken süreklidirler [31]. Transfer matris yöntemi de Maxwell denkleminin süreklilik koşuluna dayanmaktadır. Tabakanın başlangıcındaki alan biliniyorsa tabaka sonundaki alan basit bir matris işlemi ile elde edilebilir. Yönteme göre; tek tek tabakaların matrislerinden oluşan bir yığın şeklindeki tabaka, matris sistemi ile temsil edilir. Yöntemin son adımı da, oluşturulan matris sisteminin yansıma ve geçirgenlik katsayılarına dönüşümünü verir.



Şekil 2.1. Sınırlardaki alanlar [31]

I sınırında;

$$E_I = E_{iI} + E_{rI} = E_{tI} + E'_{rII} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} H_I &= \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (E_{iI} - E_{rI}) n_0 \cos \theta_{iI} \\ &= \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (E_{tI} - E'_{rII}) n_I \cos \theta_{iII} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Manyetik olmayan ortamda, E ve H' 1, kırılma indisi ve birim yayılma vektörü ile birbirine bağlayan,

$$H = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n \hat{k} \times E \quad (2.3)$$

Eş. 2.3 ile verilen bağıntıdan faydalanılmıştır.

II sınırında;

$$E_{II} = E_{iII} + E_{rII} = E_{tII} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} H_{II} &= \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (E_{iII} - E_{rII}) n_1 \cos \theta_{iII} \\ &= \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_{tII} n_s \cos \theta_{tII} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$n_s$  taşıyıcının kırılma indisidir. İnce tabakayı bir kez geçen dalga, faz bakımından  $k_0(2n_1 d \cos \theta_{iII})/2$ ' lik bir kaymaya uğrar. Bu kayma  $k_0 h$  ile gösterilince,

$$E_{iII} = E_{tI} e^{-ik_0 h} \quad (2.6)$$

ve

$$E_{rII} = E_{rII} e^{+ik_0 h} \quad (2.7)$$

olur. Bu durumda;

$$E_{II} = E_{tI} e^{-ik_0 h} + E'_{rII} e^{+ik_0 h} \quad (2.8)$$

$$H_{II} = (E_{tI} e^{-ik_0 h} - E'_{rII} e^{+ik_0 h}) \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_1 \cos \theta_{iII} \quad (2.9)$$

Eş. 2.8 ve Eş. 2.9 ile verilen bağıntılardan  $E_{tI}$  ve  $E'_{rII}$  çözümlenip Eş. 2.1 ve Eş. 2.2 ifadelerinde yerine konulduğunda:

$$E_I = E_{II} \cos k_0 h + H_{II} (i \sin k_0 h) / Y_1 \quad (2.10)$$

$$H_I = E_{II} Y_1 i \sin k_0 h + H_{II} \cos k_0 h \quad (2.11)$$

elde edilir. Burada

$$Y_1 \equiv \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_1 \cos \theta_{iII} \quad (2.12)$$

E gelme düzleminde olduğunda, yukarıdaki hesaplamalarla bu kez,

$$Y_1 \equiv \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_1 / \cos \theta_{iII} \quad (2.13)$$

olmak üzere benzer denklemler elde edilir.

Matris gösteriminde yukarıdaki doğrusal bağıntılar,

$$\begin{bmatrix} E_I \\ H_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos k_0 h & (i \sin k_0 h) / Y_1 \\ Y_1 i \sin k_0 h & \cos k_0 h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{II} \\ H_{II} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

veya

$$\begin{bmatrix} E_I \\ H_I \end{bmatrix} = \mathcal{M}_I \begin{bmatrix} E_{II} \\ H_{II} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

şeklini alırlar. Karakteristik  $\mathcal{M}_I$  matrisi, ardışık iki sınırdaki alanları birbirine bağlar. Buna göre taşıyıcı üzerine, birbiri üstüne iki tabaka çökeltilmişse, üç sınır veya ara yüzey olur ve bu durumda:

$$\begin{bmatrix} E_{II} \\ H_{II} \end{bmatrix} = \mathcal{M}_{II} \begin{bmatrix} E_{III} \\ H_{III} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

olur. Bu bağıntının iki yanını  $\mathcal{M}_I$  ile çarpılarak

$$\begin{bmatrix} E_I \\ H_I \end{bmatrix} = \mathcal{M}_I \mathcal{M}_{II} \begin{bmatrix} E_{III} \\ H_{III} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

elde edilir.

Genelde, her biri belirli bir  $n$  ve  $h$  değerine sahip tabakaların sayısı  $p$  ise, ilk ve son sınırlar,

$$\begin{bmatrix} E_I \\ H_I \end{bmatrix} = \mathcal{M}_I \mathcal{M}_{II} \dots \mathcal{M}_p \begin{bmatrix} E_{(p+1)} \\ H_{(p+1)} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

ile birbirlerine bağlıdır. Bütün sistemin karakteristik matrisi,  $2 \times 2$ ' lik matrislerin (doğru sırada) çarpımının sonucudur, yani,

$$\mathcal{M} = \mathcal{M}_I \mathcal{M}_{II} \dots \mathcal{M}_p = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

dir [31]. Bunların hepsinin birbirleriyle nasıl uyum içinde olduğunu görmek için, yukarıdaki yöntem kullanılarak, genlik yansıma ve geçirme katsayılarını veren bağıntılar çıkarılacaktır. Eş. 2.15 sınır şartları (Eş. 2.1, Eş. 2.2 ve Eş. 2.4) kullanılarak yeniden düzenlenip

$$Y_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_0 \cos \theta_{iI} \quad (2.20)$$

ve

$$Y_s = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} n_s \cos \theta_{tII} \quad (2.21)$$

alnarak,

$$\begin{bmatrix} (E_{iI} + E_{rI}) \\ (E_{iI} + E_{rI})Y_0 \end{bmatrix} = \mathcal{M}_I \begin{bmatrix} E_{tII} \\ E_{tII}Y_s \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

elde edilir. Matrislerle işlem yapıp,

$$r = E_{rI}/E_{iI} \quad \text{ve} \quad t = E_{tII}/E_{iI} \quad (2.23)$$

alındığında bu son eşitlik,

$$1 + r = m_{11}t + m_{12}Y_s t \quad (2.24)$$

$$(1 - r)Y_0 = m_{21}t + m_{22}Y_s t \quad (2.25)$$

olur. Sonuç olarak:

$$r = \frac{\gamma_0 m_{11} + \gamma_0 \gamma_s m_{12} - m_{21} - \gamma_s m_{22}}{\gamma_0 m_{11} + \gamma_0 \gamma_s m_{12} + m_{21} + \gamma_s m_{22}} \quad (2.26)$$

ve

$$t = \frac{2\gamma_0}{\gamma_0 m_{11} + \gamma_0 \gamma_s m_{12} + m_{21} + \gamma_s m_{22}} \quad (2.27)$$

bulunur. Tek ya da çok katlı ince filmlerin herhangi bir düzenlenişinin r veya t sini bulmak için, her tabakanın karakteristik matrisini hesaplayıp, onları çarparak bulunan matrisin elemanlarını, yukarıdaki bağıntıda yerine koymak yeterlidir.  $r^*$  ve  $t^*$  yansıma ve kırma katsayılarının sanal kısımları olmak üzere yansıtıcılık ve geçirgenlik  $R = |r|^2 = rr^*$  ve  $T = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} tt^* = 1 - R$  şeklinde bulunur [31-33].

Elektrik alanın geliş düzleminde farklı kutuplanmaya sahip olması teoride yapılması gerekli değişiklikleri gerektirir. E'nin B'nin orijinal doğrultusu ile aynı yönde seçildiğini

ve B'nin de buna uygun olarak aynı dalga yönünü vermesi için döndürüldüğünü varsayarsak;

$$\vec{E} \perp \text{gelme yüzeyi: } \gamma_1 = n_1 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \cos \theta_{t1} \quad (2.28)$$

$$\vec{E} \parallel \text{gelme yüzeyi: } \gamma_1 = n_1 \frac{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}{\cos \theta_{t1}} \quad (2.29)$$

olur. Işık ara yüzeye dik olarak geliyorsa  $E_{\perp}$  ve  $E_{\parallel}$  ifadeleri eşdeğer olur. Işık ara yüzeye eğimli olarak geliyor ise, sonuçlar her bir kutuplama için hesaplanmalıdır. Kutuplanmamış ışık için bir ortalama alınabilir. Işığın yüzeye dik gelmesi (normal geliş) pratikte en sık karşılaşılan durumdur. Bu teoriyi ışık demetinin bütün arakesit yüzeylerine dik olarak veya dikliğe yakın olarak geliş için uygularsak transfer matrisin elemanları aşağıdaki şekli alır.

$$m_{11} = \cos \delta \quad (2.30)$$

$$m_{12} = \frac{i \sin \delta}{n_1 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (2.31)$$

$$m_{21} = i n_1 \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \sin \delta \quad (2.32)$$

$$m_{22} = \cos \delta \quad (2.33)$$

Bu ifadeleri kullanarak yansıma katsayısı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$r = \frac{n_1(n_0 - n_s) \cos \delta + i(n_0 n_s - n_1^2) \sin \delta}{n_1(n_0 + n_s) \cos \delta + i(n_0 n_s - n_1^2) \sin \delta} \quad (2.34)$$

Yansıma parlaklığını belirleyen yansıma oranı ise  $R = |r|^2 = rr^*$  şeklinde tanımlıdır. Bu ifadeyi kullanarak dik gelme durumu için filmin yansıtıcılığı ve geçirgenliği ( $T = 1 - R$ ) sırası ile aşağıdaki şekilde yazılır [33]:

$$R = \frac{n_1^2(n_0 - n_s)^2 \cos^2 \delta + (n_0 n_s - n_1^2)^2 \sin^2 \delta}{n_1^2(n_0 + n_s)^2 \cos^2 \delta + (n_0 n_s + n_1^2)^2 \sin^2 \delta} \quad (2.35)$$

$$T = \frac{4n_0 n_s}{(n_0 + n_s)^2 \cos^2 \delta + \left(\frac{n_0 n_s}{n_1} + n_1\right)^2 \sin^2 \delta} \quad (2.36)$$

Eşitlikten de görüldüğü gibi kaplanacak filmin kırılma indisinin büyüklüğü, kaplanmamış alt malzemeye göre yansıma oranının artıp ( $n_1 > n_s$ ) artmayacağını ( $n_1 < n_s$ ) açıkça belirler. Ayrıca yansıtıcılığın nasıl değiştiği, film kalınlığına bağlı olarak faz farklarının değişimi üzerinden incelenebilir. Kısaca özetleyecek olursak, ilgili elektromanyetik alan bölgesi için (hedef dalga boyu) çeyrek dalga boyu veya katlarında seçilen film kalınlık değerleri, yansıma eğrisinde optimum artışa (yüksek yansıtma oranlı kaplama) veya maksimum azalmaya (yansıtmasız kaplama) sebep olur. Bu maksimum ve minimum yansımaların değişik dalga boylarında oluşması film kalınlığının optik yol farkını değiştirecek şekilde belirlenmesi ile elde edilir [34].

## 2.2. Yansıma Engelleyici Kaplamalar

Tek tabaka yansıma engelleyici optik kaplama için ( $R \approx 0$ ) yansiyarak gelen ışınların arasındaki optik yol farkı çeyrek dalga boyu veya çeyrek dalga boyunun tek katları şeklinde ise bu durum ışınların farklı fazlı olmaları olarak tabir edilir ve yıkıcı girişim gözlemlenir. Bunun sonucu olarak da yansıyan ışın minimum düzeyde iken geçen ışın maksimum düzeyde olur. Yani Eş. 2.35 ifadesinde  $\delta = \pi/2$  olarak alındığında ince tabakanın optik kalınlığının çeyrek film kalınlığında seçilmesi ile yansıtıcılık Eş. 2.37'de verilen şekilde elde edilir.

$$R = \frac{(n_0 n_s - n_1^2)^2}{(n_0 n_s + n_1^2)^2} \quad (2.37)$$

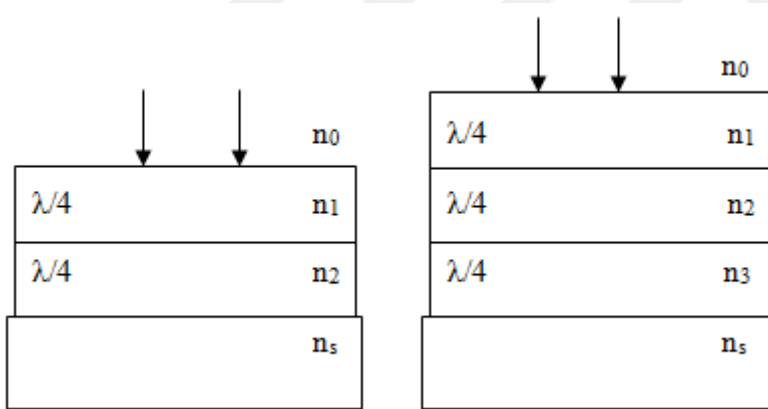


Bu ifadeye göre  $n_1^2 = n_0 n_s$  olması R değerini sıfır yapar. Böylece mükemmel yansıtma film üretilebilir.

Sağlam ve istenilen değerdeki kırılma indisine sahip malzemeleri bulmak mümkün olmayabilir. Pratikte ilgili uygulamalar için çift veya daha fazla katman kullanmak gerekir. İki katmanlı yansıtma film için (hava - düşük indis - yüksek indis - alt taban) transfer matrisi uygulandığında normal (dik) geliş ve çeyrek dalga kalınlığında yansıtma oranı

$$R = \left( \frac{n_0 n_2^2 - n_s n_1^2}{n_0 n_2^2 + n_s n_1^2} \right)^2 \quad (2.38)$$

olur.  $n_0 n_2^2 = n_s n_1^2$  olması R değerini sıfır yapar. Aynı yöntemle ve aynı şartlarda üç katmanlı bir filmin yansıtma spektrumunu hesaplırsak  $\frac{n_1 n_3}{n_2} = \sqrt{n_0 n_s}$  olması R değerini sıfır yapar.

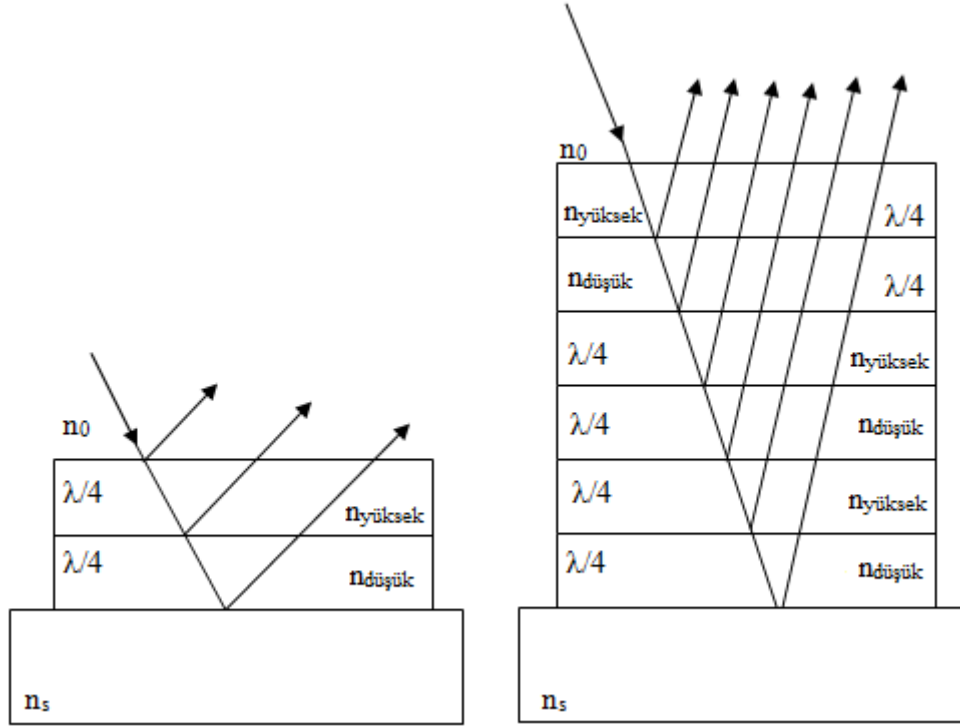


Şekil 2.2.  $\lambda/4$  kalınlığında filmlerden oluşan yansıtma engelleyici çift katman ve üçlü katman

### 2.3. Yüksek Yansıtıcı Kaplamalar

Eğer yansıtma için optimize edilen  $\lambda/4$ - $\lambda/4$  çift katmanlı filmdeki katmanların sırası tersine çevrilirse (hava- yüksek indis - düşük indis - alt taban), yapıdan çıktığı zaman üç yansıyan demette aynı fazda olur böylece yansıtma azalmak yerine artar. Bu şekildeki bir seri çift katman, yüksek yansıtma oranlı yığın ya da yalıtkan (dielektrik) ayna olarak adlandırılır.

Fazla katmanlı kaplama kullanımı, daha düz, geniş ve daha yüksek yansıtımlı bölge elde etmeyi sağlar [34]. En basit çok tabakalı periyodik sistem, çeyrek dalga tabakalarından oluşan çeyrek dalga istifidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Çok tabakalı periyodik sistem (çift çeyrek ve çeyrek dalga istif)

Matris yöntemini, N tane yüksek-düşük kırılma indisli,  $\lambda/4$  kalınlıklı çift katmanlı kaplamalar serisi için uyguladığımızda yansıma katsayısı (Eş. 2.39) ve yansıtma oranı (Eş. 2.40) aşağıdaki ifadelerle bulunur;

$$r = \left[ \frac{n_0(-n_{düşük}/n_{yüksek})^N - n_s(-n_{yüksek}/n_{düşük})^N}{n_0(-n_{düşük}/n_{yüksek})^N + n_s(-n_{yüksek}/n_{düşük})^N} \right]^2 \quad (2.39)$$

$$R_{max} = \left[ \frac{(n_0/n_s)(n_{düşük}/n_{yüksek})^{2N} - 1}{(n_0/n_s)(n_{düşük}/n_{yüksek})^{2N} + 1} \right]^2 \quad (2.40)$$

Bu şekilde tasarlanacak optik kaplama sisteminin merkezi bölge genişliği,  $n_{düşük}/n_{yüksek}$  indis oranıyla, yüksekliği de tabaka sayısıyla artar. Çift çeyrek periyodik bir yapının maksimum yansıtması, başka bir yüksek indisli tabaka eklenerek daha fazla arttırılabilir.

Bu düzenlemeyle çok yüksek yansıtımlı ayna yüzeyleri yapılabilir. Ayrıca gelme açısının değişimi, ince tabaka kaplamalarının yansıtma eğrilerinde kaymaya sebep olur.

Bu konuda literatürde çeşitli tez [35-37] ve makale çalışmaları bulunmaktadır. G. Kılıç çalışmasında  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  kullanarak düşük geçirgenlik bölgesine ve yüksek geçirgenlik bölgesine sahip girişim filtreleri tasarlayarak geçirgenlik özelliklerini araştırdı. Filtrelerin üretimi için vakumda buharlaştırma yöntemi kullanıldı ve analiz içinde UV ve EDX spektrumları aldı [38]. Haider Y. Hammoud ve arkadaşları teorik araştırmalarında, çok tabakalı yüksek yansıtıcı aynayı  $\text{GaAs(H)}+\text{InSb(L)}$  materyalleri ve matlab programı kullanarak tasarladılar [39]. M. F. Silva ve arkadaşları dar bant görüntüleme analizlerinde kullanmak için endoskopik kapsüle entegre edilebilir filtre tasarım ve üretimi yaptılar. Yeşil ve mavi bölgeleri merkez alan optik ince film filtreleri için  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  materyallerini ve RF püskürtme yöntemini kullandılar [40]. T. Bauer ve arkadaşlarının çalışmasında ise  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  materyalleri ve iyon destekli reaktif buharlaştırma yöntemi kullanılarak kısa dalga boylu kızılötesi filtre için teorik ve deneysel uygulamalar yapıldı [41].

Metal malzemelerle yüzeyi ayna haline (yüksek yansıtıcı metalik aynalar) getirip yansıtıcılığı arttırmakta yüksek yansıtıcı kaplamaların bir başka uygulama şeklidir. Bu alanda en yaygın kullanılan malzemeler alüminyum gümüş ve altındır. Alüminyum kolay buharlaşması, morötesi, görünür ve kızılötesi bölgelerdeki yüksek yansıtıcılığı ve birçok alt malzemeye güçlü tutunma (adezyon) yeteneği sayesinde yansıtıcı optik kaplama uygulamalarında sık kullanılmaktadır [42]. En yaygın kullanılan metalik malzemeler arasındaki alüminyum, görünür bölgede %88-%92 civarlarında yansıtıcılık gösterirken, gümüş %95-%99 yansıtıcılık gösterir. Spektrumun morötesi bölgesine gidildikçe gümüşün yansıtıcılığı %90'lara düşer. Altın kızılötesi bölge için en uygun malzemedir ve bu bölgede yansıtıcılığı %98-%99 civarlarındadır. Yansıtıcı kaplamalarda kullanılan metalik malzemeler mekanik ve kimyasal bozunmalara karşı dayanıksız oldukları için, üzerlerine koruyucu katman kaplanması gerekmektedir. Bu koruyucu katmanlar, kaplamanın yansıtıcılığını düşürmemesi için yansıtıcılığı arttıracak şekilde dielektrik ayna formunda tasarlanır [43].

Altın, gümüş, bakır gibi saf metallerin doğrudan alt malzemeye adezyonu zayıftır. Pratikte bu metaller doğrudan uygulandığında kolay bozulabilir film oluşturma eğilimindedir. Alt

malzemenin uygun bir prosedürle temizlenmesi ve alt malzemeyle film arasına ince bir ara tabaka (Cr, Ti, Mo..) kaplanması bu sıkıntıyı ortadan kaldırır [44].

Metalik malzemelerin kırılma indisleri  $\hat{n} = n - i\kappa$  olmak üzere yansıtıcılık Eş. 2.41 ile verilen ifadede bulunur.

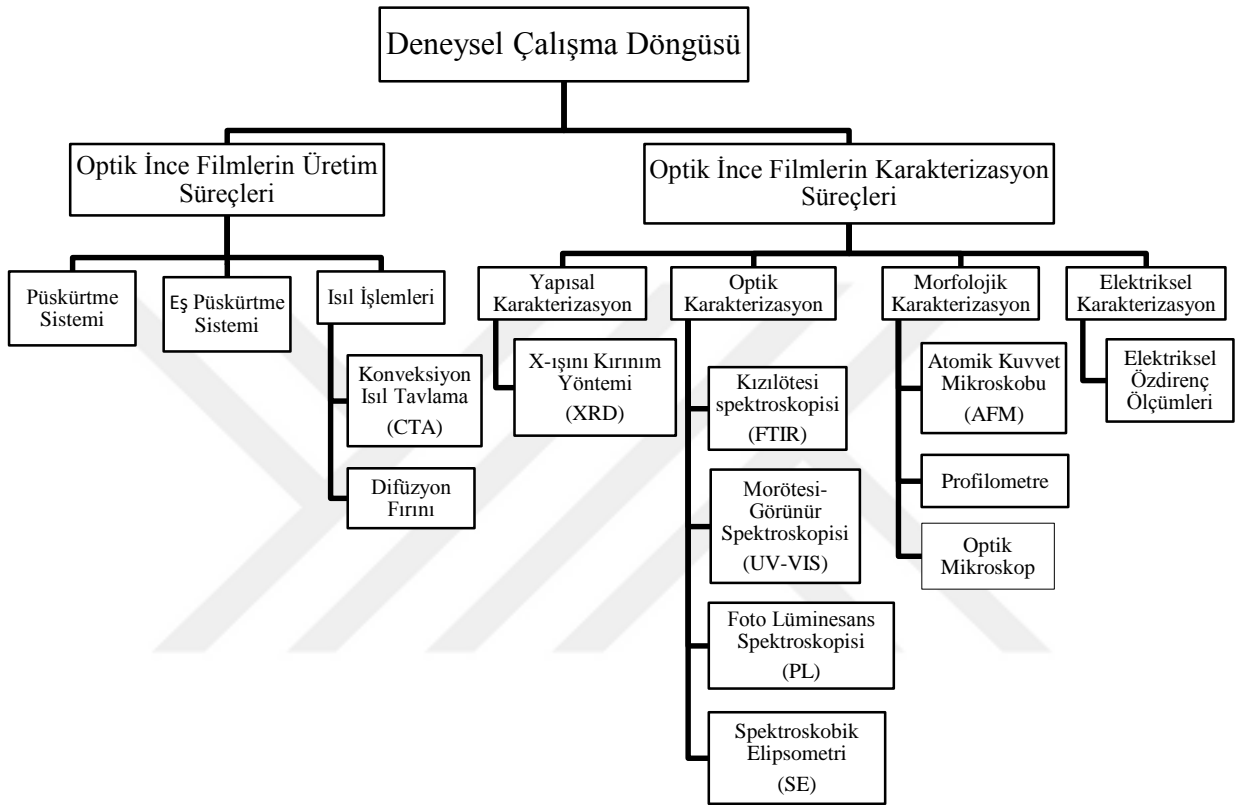
$$R = \frac{(n - 1)^2 + \kappa^2}{(n + 1)^2 + \kappa^2} \quad (2.41)$$

Burada  $n$  kırılma indisinin gerçek kısmı,  $\kappa$  soğurma katsayısını ifade eden sanal kısımdır [45].



### 3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde ilgili deneysel çalışmaların tamamlanması için kullanılan tüm sistem ve cihazlarla ilgili teknik ve teorik detaylara yer verildi.

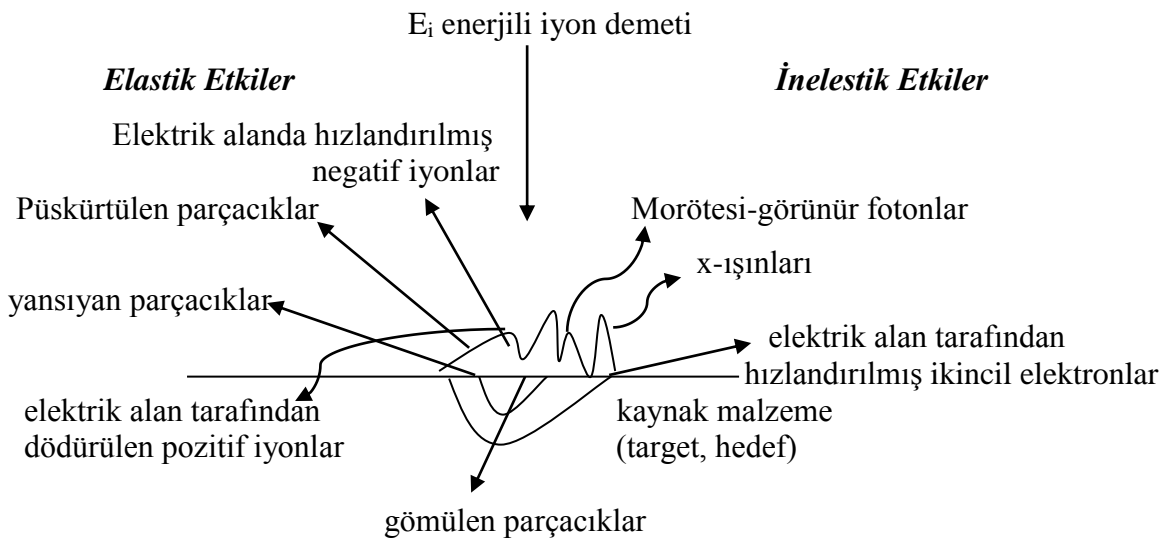


Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yöntem ve cihazların şematik gösterimi

#### 3.1. Püskürtme ve Eş Odaklı Püskürtme Sistemleri

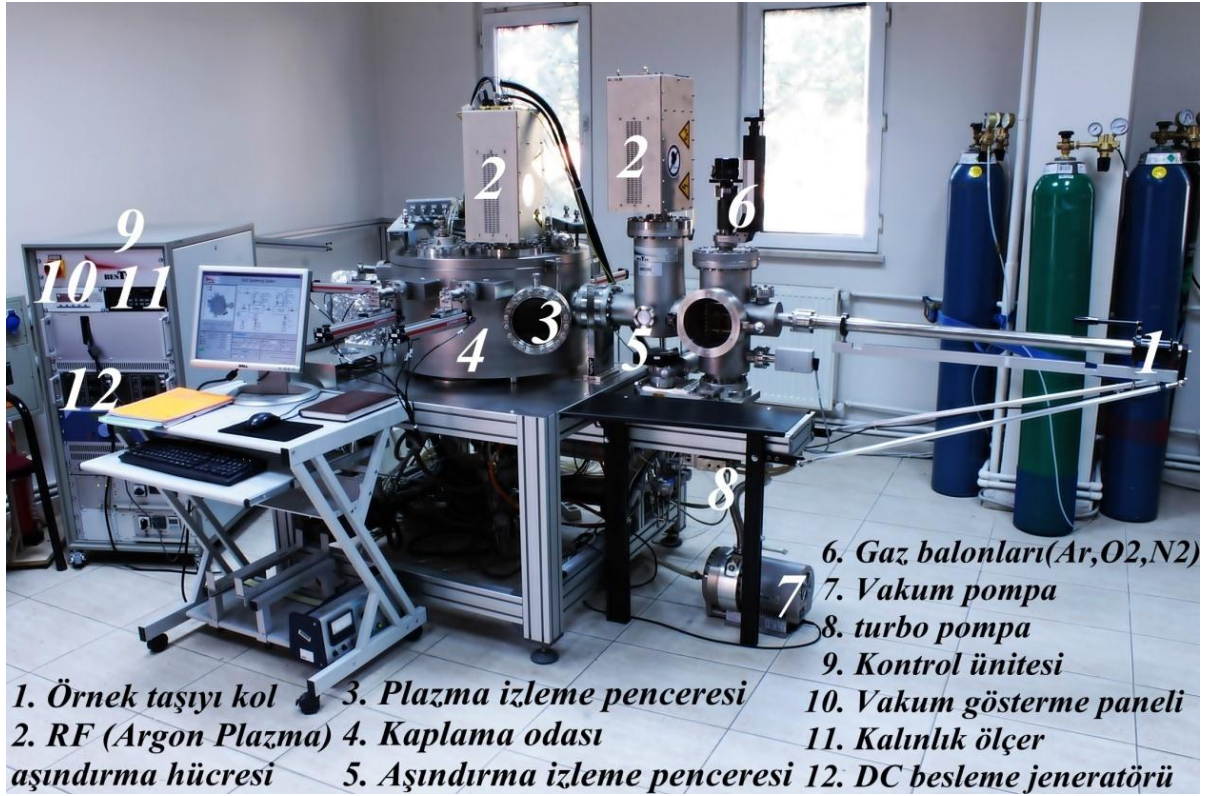
Püskürtme (sputtering) ince film malzemeler oluşturmak için ideal olan yüksek enerjili bir süreçtir. Püskürtme sürecinin ilk aşamasında, soy gazı düşük basınçta yüksek gerilim uygulayarak iyonize olmuş gaz ortamı (plazma) oluşturulur. Daha sonra elektrik alanında hızlandırılan gaz metallerinin iyonları (genellikle  $Ar^+$  oluşturulur) hedef malzemeye (target, kaynak) gönderilir. İyonlar hedeften parçacıkları ve atomları püskürtür. Atomlar alttaşa doğru hareket eder ve alttaş üzerinde yoğunlaşır ve ince film oluştururlar. Püskürtme yöntemi ile film biriktirmenin şematik bir gösterimi Şekil 3.1’de verildi.

Püskürtme yönteminde alttaş sıcaklığını, deşarj gücünü ve büyütme süresini; alttaş olarak kullanılan malzeme, kaynak malzeme ve film kalınlığı ile ilişkilendiren bir deneme yanılma süreci izlemek gerekir.



Şekil 3.2. Püskürtme yöntemi ile film biriktirmenin şematik gösterimi

Bu çalışmada kullanılan püskürtme sistemi (Resim 3.1), iki vakum odasına sahip, DC(3)/RF(2) magnetron saçırma kaynakları içeren ve 3" altaşlara maskeli veya doğrudan kaplama yapabilen bir sistemdir. Giriş odasında yükleme ve ters püskürtme işlemleri gerçekleşir. Ters püskürtme plazma ile yüzeyden aşındırma yaparak yüzey temizliği sağlamada kullanılır. Kaplamanın gerçekleştiği ikinci oda, püskürtme kaynakları ve silindirik koordinatlarda hareket edebilen numune tutacağından oluşur. Sistemin temel basınç değeri  $10^{-8}$  mbar civarındadır. Püskürtme sisteminde, reaktif gazların ve uygun kaynak malzemelerin kullanımı ile çeşitli ince filmler ideal homojenlikte hazırlanabilmektedir.



Resim 3.1. BESTEC 222 magnetron püskürtme sistemi

Bu çalışmada kullanılan eş odaklı püskürtme sistemi (Resim 3.2) hem ısı buharlaştırma hem de mıknatıslı saçırma işlemlerinin gerçekleştirilebildiği kombine bir sistemdir. Eş odaklı püskürtme sistemi; kutu tipi vakum kazanının kullanıldığı, ardışık/eşzamanlı ısı buharlaştırma potları ve de DC/RF mıknatıslı saçırma kaynakları içeren, fiziksel buhar kaplama sistemidir. Kullanılan sistem konfokal (eş odaklı) hedef kafalarına sahiptir. Konfokal geometrideki hedeflerle homojen film oluşturulması, numune tutucunun z-ekseni etrafında dönmesi sayesinde oluşturulabilmektedir. Bu kombine sistem ile nanoboyutlu,

çok katmanlı, oksit, karbür ve nitür ince filmler yüksek homojenlikte hazırlanabilmektedir.

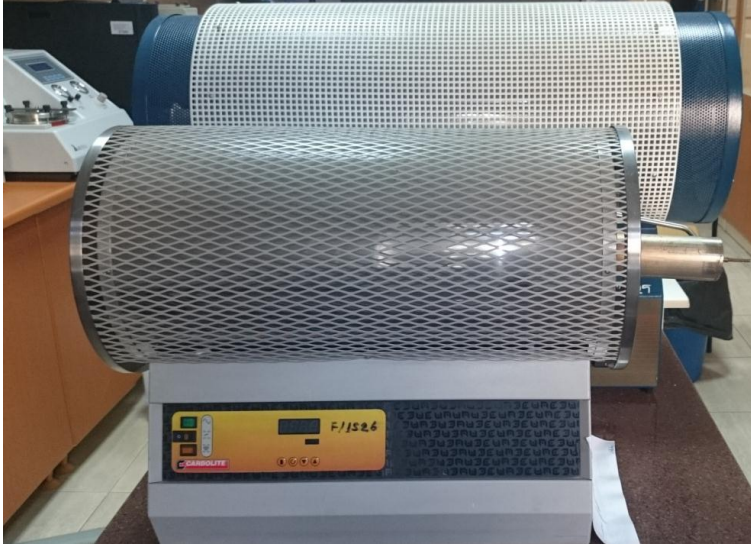


Resim 3.2. NVTS-500 eş püskürtme sistemi

### 3.2. Isıl İşlem Sistemleri

Isıl tavlama işlemi malzemeyi rahatlatmak, yumuşatmak ve içyapıyı daha kullanılabilir bir hale getirmek amacıyla malzemeyi belli bir sıcaklıkta belli bir süre ısıttıktan sonra, yavaşça soğutmaktır. Bu tez çalışmasında konveksiyon ısıl tavlama fırını (Resim 3.3) ve difüzyon fırını (Resim 3.4) kullanıldı.





Resim 3.3. Konveksiyon ısı tavlama fırını

Konveksiyon ısı tavlama fırını atmosfer ortamında çalışan, yüksek sıcaklıklara çıkabilen ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) ve ısıyı her taraftan eşit ileten silindir şeklinde seramik bir fırındır. Bu tez çalışmasında yansıma engelleyici kaplamaların ısı tavlama işlemi için kullanıldı.

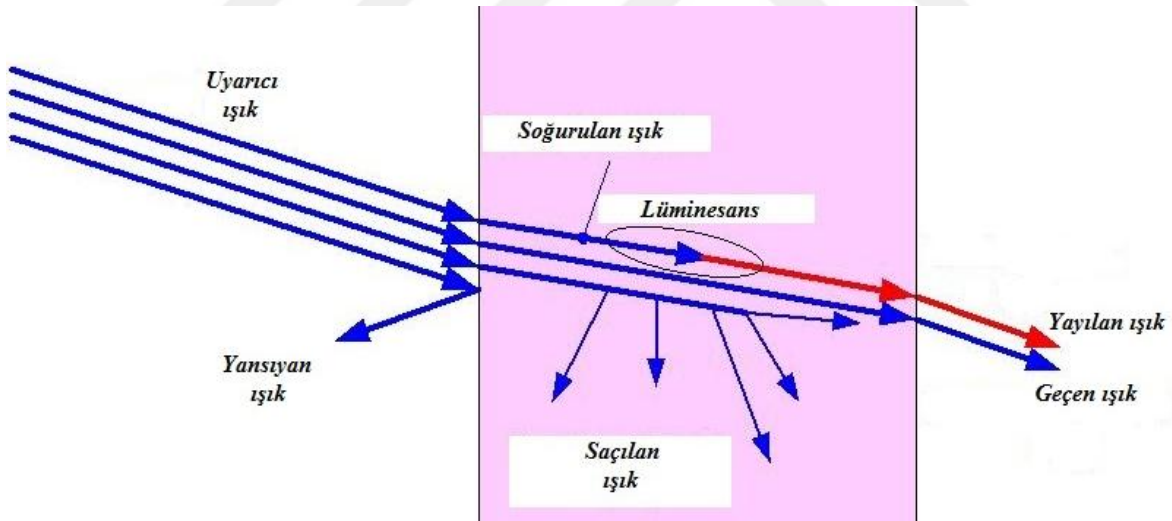


Resim 3.4. Difüzyon fırını

Difüzyon fırını ile, sisteme bağlı turbo moleküler pompa ile  $10^{-5}$  mbar mertebesinde vakum altında ısıtma işlemi gerçekleştirilebilir. Kullanılan malzemelere uygun sıcaklık ve süre parametrelerini içeren iki farklı süreçler belirleyerek argon taşıyıcı gazıyla istenilen difüzyon, kuartz tüp içerisinde sağlanmaktadır. Bu tez çalışmasında difüzyon fırını, vakum ortamında  $10^{\circ}\text{C}$ 'lik artımlarla metal filtrelerin termal döngü testi için kullanıldı.

### 3.3. Spektroskopik Analiz Sistemleri

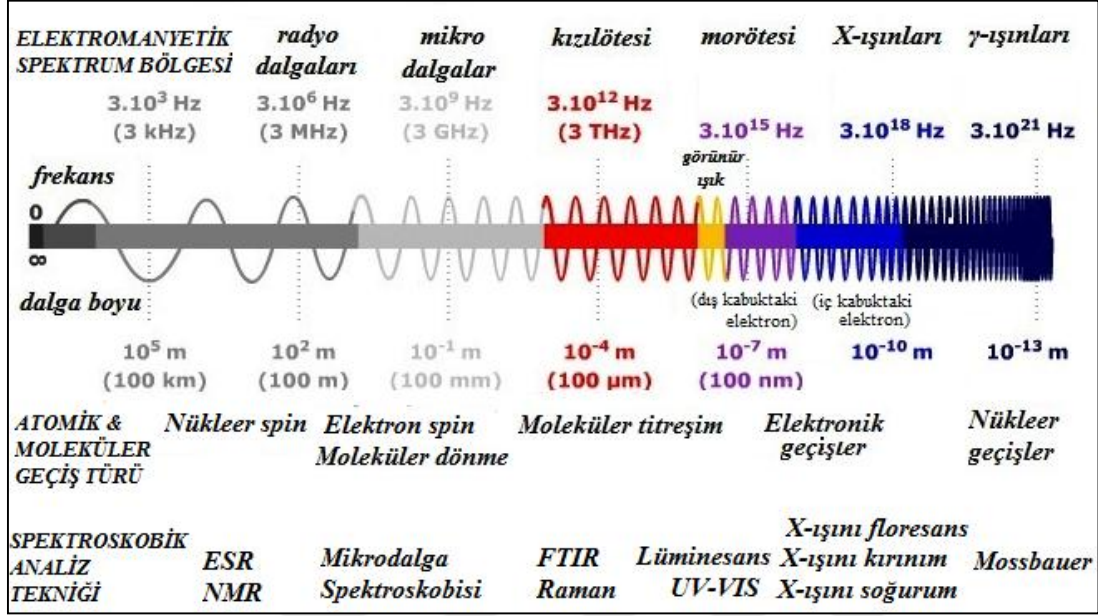
Kaplanan malzemelerin elektromanyetik dalga etkileşimleriyle ilgili bilgi sahibi olabilmek için spektroskopik karakterizasyon yöntemleri kullanılır. Spektroskopik yöntemler elektromanyetik dalga - madde etkileşimlerinden doğan emisyon, absorpsiyon, lüminesans veya saçılma olaylarına dayanır (bkz. Şekil 3.3). Her olayı ölçen cihaz yapısal olarak farklı gösterirken temel bileşenlerinin çoğu benzerlik gösterir. Tipik bir spektroskopik cihaz; ışık kaynağı, numune hücresi, dalga boyu seçici veya frekans modülatörü, dedektör, sinyal işlemci ve göstergeden oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Elektromanyetik dalga - madde etkileşimleri

Işın emisyonu; emisyon spektroskopisi (X-ışınları, mor ötesi, görünür, elektron, Auger), floresans, fosforesans ve lüminesans (X-ışınları, mor ötesi ve görünür) yöntemleri ile ışın absorpsiyonu; spektrofotometri ve fotometri (X-ışınları, mor ötesi, görünür, kızılötesi), fotoakustik spektroskopisi, nükleer manyetik rezonans ve elektron spin rezonans spektroskopisi yöntemleri ile ışın saçılması; turbidimetri, nefelometri ve Raman yöntemleri

ile ışın kırılması; refraktometri ve interferometri yöntemleri ile ışın difraksiyonu; X-ışınları ve elektron difraksiyon yöntemleri ile analiz edilir (Şekil 3.4) [46].

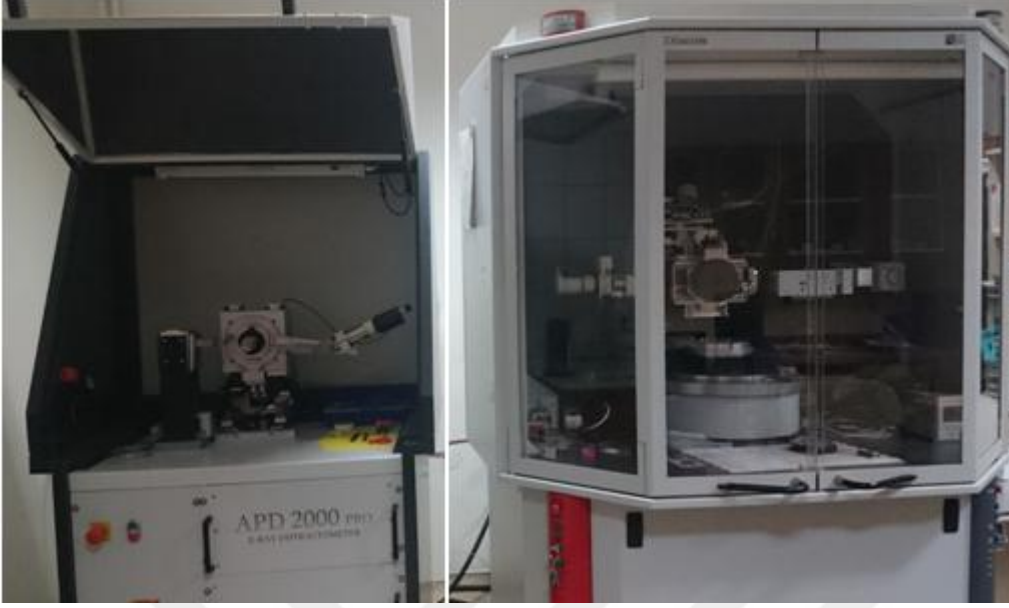


Şekil 3.4. Elektromanyetik spektrum

X-ışını kırınımı (XRD), bir malzemenin atomik yapısı hakkında bilgi verir. Bilinmeyen yapıları belirlemek ve yapısal parametreleri tayin etmek için en çok kullanılan tekniklerden biridir. X-ışını kırınım yöntemi, ince film uygulamalarda kristalin yapısı, faz saflığı, kristal yönelimleri ve örgü sabitlerinin belirlenmesinde kullanılır.

X-ışınları bir kristalle karşılaştıklarında kristali oluşturan tüm atomlar tarafından saçılırlar. Saçılan ışınların doğrultuları *Bragg Kanunu* ile belirlenir. Bragg kanunu; farklı atomik düzlemlerden saçılan ışınların yapıcı girişim oluşturarak birbirlerini kuvvetlendirmesi için, farklı düzlemlerden saçılan ışınlar arasındaki yol farkının kullanılan ışının dalga boyunun tam katlarına eşit olması gerekliliği ile ifade edilir. Örgü düzlemleri arasındaki mesafe  $d$ ,  $\theta$  Bragg açısı,  $n$  saçılma mertebesi,  $\lambda$  dalgaboyu olmak üzere,  $2d \cdot \sin\theta = n\lambda$  matematiksel ifadesiyle tanımlanır.

Bu çalışmada kullanılan Bruker D8 Discover XRD cihazı (Resim 3.5) X-ışını kaynağı olarak  $1.54060 \text{ \AA}$  dalga boylu  $\text{CuK}\alpha$  radyasyon tüpüne ve Ge (022) yönelimli dört kristal monokromatöre sahip X-ışını kristal kırınımı cihazıdır. APD 2000 PRO XRD cihazı (Resim 3.5) sintilasyon NaI dedektörlü X-ışını toz kırınımı cihazıdır.



Resim 3.5. APD 2000 PRO XRD cihazı ve Bruker D8 Discover XRD cihazı

*Kızılötesi (FTIR) spektroskopisinde*, kızılötesi bölgede tüm frekansları içeren  $P_0$  şiddetindeki elektromanyetik ışınım, incelenmesi istenen örnek üzerine gönderilerek örneğin yapısına ve ışınımın frekansına bağlı olarak geçen veya soğurulan ışık incelenir. Soğurulan ışınımın frekansı iki titreşimsel enerji seviyesindeki enerji farkı ile belirlenir.

Fotonlarla ışın absorplayan atom veya moleküller arasındaki etkileşimin sonucu olarak ışınım gücü  $P_0$ 'dan  $P$ 'ye azalır. Ortam tarafından geçirilen ışınım oranı yani geçirgenlik ( $T$ )

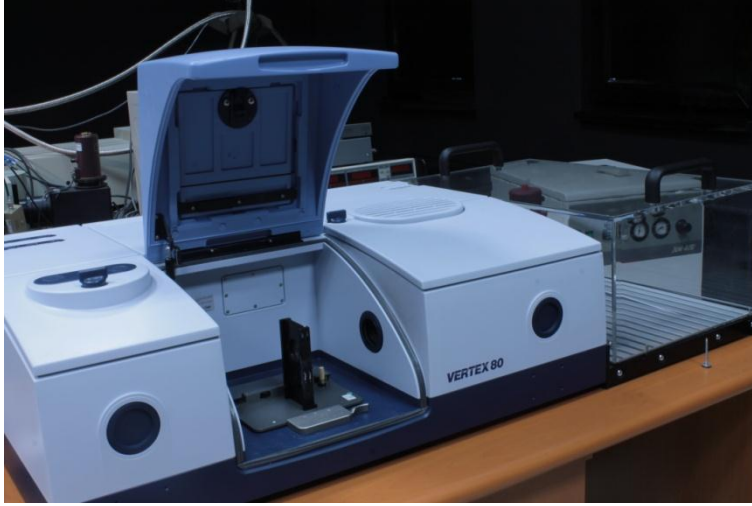
$$T = P/P_0 \quad \%T = P/P_0 \times 100 \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. Bir ortamın absorpsansı ( $A$ ) ise;

$$A = -\log_{10} T = \log \frac{P_0}{P} \quad (3.2)$$

eşitliği ile tanımlanır. Bu çalışmada kullanılan Bruker Vertex 80 FTIR spektrometresinde (Resim 3.6) HeNe lazer, hava soğutmalı yüksek enerjili DLaTGS dedektör, geniş bant MCT dedektör ve NIR bölgede çalışan bir InGaAs diyot dedektör bulunmaktadır.





Resim 3.6. VERTEX 80 FTIR spektrometresi

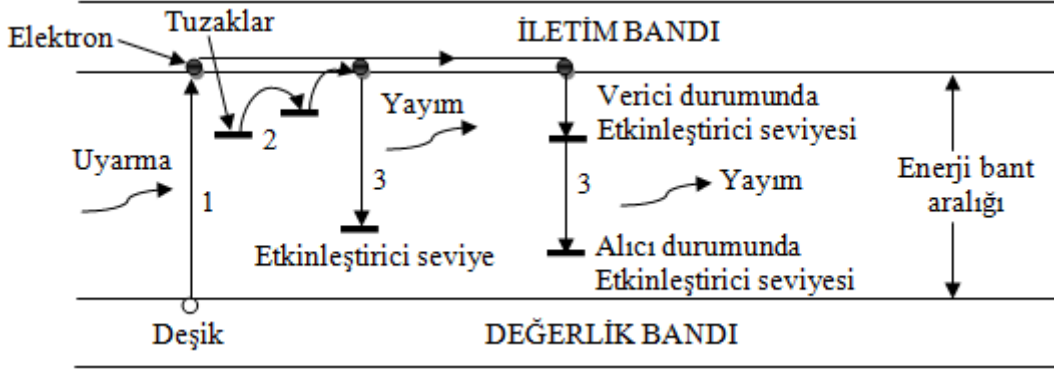
*Morötesi-görünür bölge (UV-VIS) spektroskopisi*, elektronik geçişlerin verdiği spektrumları konu alır. Işığın örnekten geçtikten sonraki absorpsiyonu (soğurganlığı) veya geçirgenliği incelenir. Bu çalışmada kaplanan malzemelerin mor ötesi ve görünür bölgedeki (200-1100nm) geçirgenlik ve yansıtma eğrileri Perkin Elmer Lambda 2S spektrometresi (Resim 3.7) kullanılarak incelendi. Spektrometrede; halojen lamba, döteryum lamba, iki farklı numune tutucu ve silikon diyot dedektör bulunmaktadır.



Resim 3.7. Perkin Elmer Lambda 2S UV-VIS spektrometresi

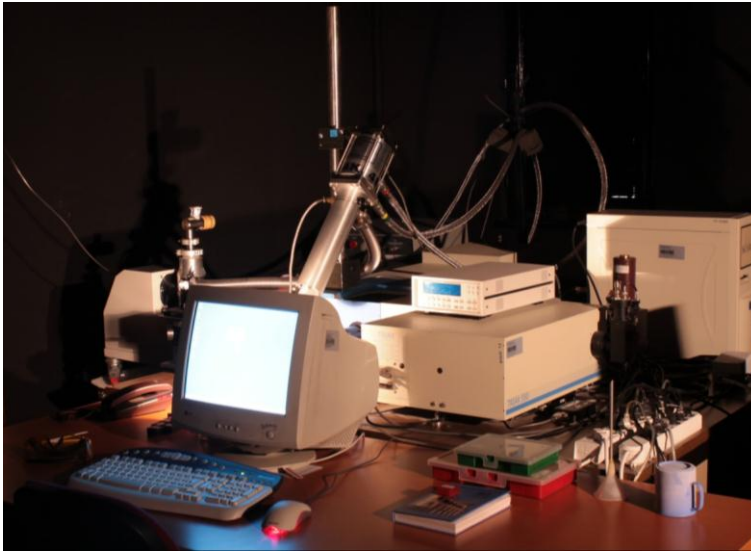
*Fotoluminesans (PL)*, bir maddenin enerji soğurması ve sonra kendiliğinden, görünür veya görünüre yakın ışınım yayımlaması (emisyonu) sürecidir. Katı maddelerde elektromanyetik dalgaların emilmesi ve yayılması sonucu oluşan optik özellikler, malzemelerin elektron band yapıları ve buna bağlı olarak elektron enerji geçişleri ile

açıklanabilir. Parlama sırasındaki enerji değişimi Şekil 3.5’de verildi. Parlama süreçleri elektronik uyarma kaynaklarına göre sınıflanmaktadır.



Şekil 3.5. Parlama sırasındaki enerji değişimi

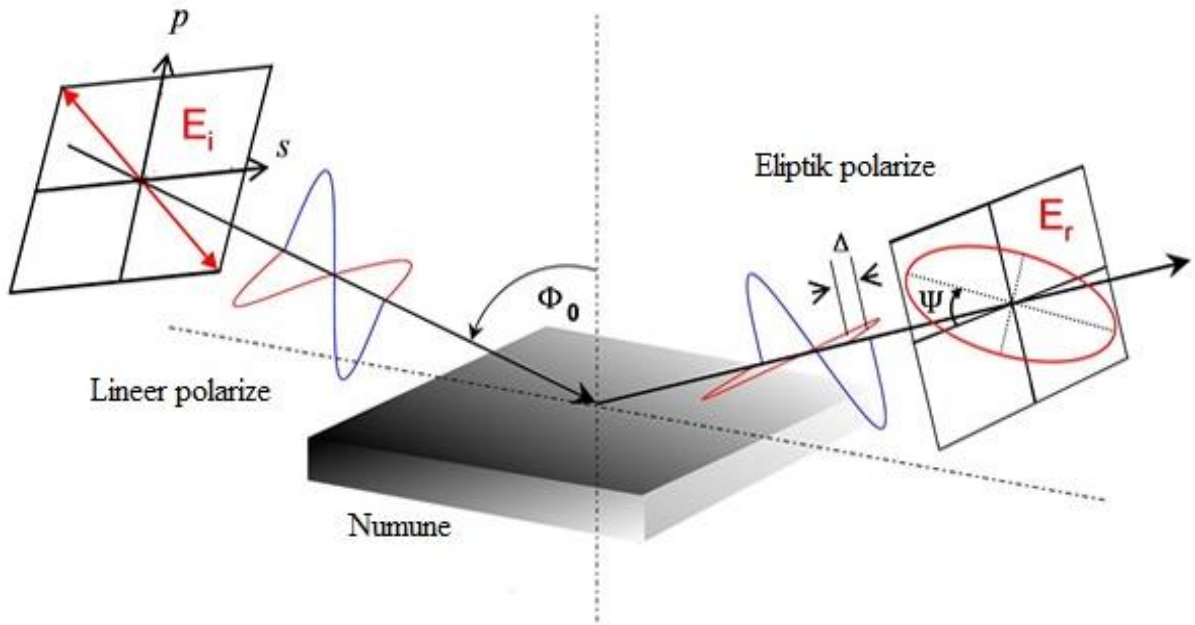
Bu tez çalışmasında uyarma kaynağı olarak He-Cd lazer kullanıldı. Resim 3.8’de verilen fotolüminesans ölçüm sisteminde morötesi görünür ve yakın kızılötesini dedekte edebilecek iki farklı dedektör (CCD kamera ve sıvı azot soğutmalı InGaAs dedektör), düşük sıcaklık ölçümlerini yapabileceğimiz kreostat, sıcaklık kontrol ünitesi ve mekanik pompa ekipmanı ve optik dalga boyu seçici mevcuttur.



Resim 3.8. Fotolüminesans sistemi

*Spektroskopik Elipsometre (SE)*, numune yüzeyine lineer polarize olarak gönderilen ışığın, yüzeyden yansdıktan sonra polarizasyonundaki değişimini ölçme ve analiz etme yöntemi olarak tarif edilebilir. Yansıyan ışık, eliptik polarize olduğundan tekniğin adı elipsometre

olarak isimlendirilmiştir. Bir elipsometre sisteminde yüzeye gelen ışığın polarizasyonu, yüzeye gelme açısı ve yansıyan ışığın polarizasyonu ile elipsometrik parametreler olarak bilinen  $\Psi$  ve  $\Delta$  nicelikleri Şekil 3.6'da verildi. Burada,  $\Psi$  p ve s-polarize olmuş ışık dalgalarının genlik oranı,  $\Delta$  ise faz farkıdır. Spektroskopik elipsometrede, ( $\Psi$ ,  $\Delta$ ) spektrumları ışığın dalga boyunun değişimine bağlı olarak ölçülmektedir. Diğer bir ifadeyle, p ve s-polarizasyonları yardımıyla yansıyan ışığın değişimi, polarizasyon durumundaki değişim olarak ölçülür [47].



Şekil 3.6. Elipsometrenin ölçüm prensibi

Genelde, spektroskopik elipsometre ölçümleri morötesi/görünür bölgede uygulanır, ama ölçümler kızılötesi bölgede de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada numunelerin Spektroskopik Elipsometre ölçümleri, 75 W gücünde Xenon ışık kaynağı, otomatik goniometre üzerine monte edilmiş bir polarizör ve bir modülatör başlığı, bir monokromatör, bir motorize numune platformu ve bir kontrol biriminden oluşan Jobin Yvon-Horiba Spektroskopik Elipsometre sistemi kullanılarak yapıldı (Resim 3.9).



Resim 3.9. Spektroskopik elipsometre cihazı

### 3.4. Yüzey Analiz Sistemleri

*Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM)* yüzey topografisini, uç-yüzey arasındaki atomlar arası etkileşmeyi esas alarak ölçen bir yüzey görüntüleme tekniğidir. Dirsekli bir kolun (cantilever) ucuna yerleştirilmiş birkaç mikron uzunluğunda atomik sivrilikte bir uç ile örnek yüzeyi taranır. Tarama esnasında uç-yüzey arasındaki atomlar arası kuvvetler kolun sapmasına sebep olur. Bu sapma bir sensörle ölçülerek numune yüzeyinde taranan alanın yüzey topografisi elde edilir. AFM ölçümleri uç-örnek mesafesine göre; kontak, non-kontak ve yarıkontak olmak üzere üç farklı moda gerçekleştirilir. Bu yöntemle örneğin yüzey pürüzlülüğü, yüzeyindeki kusur tipleri ve kusur yoğunlukları hakkında fikir sahibi olunur.

Pürüzlülük, yüzey veya ara yüzeydeki tüm atomları kapsayan bir çeşit kusurdur. Pürüzlülüğün belirlenmesinde kullanılan çok sayıda parametre vardır. Bunlardan bazıları Çizelge 3.1’de matematiksel ifadeleriyle birlikte verildi. Bu parametrelerden en yaygın biçimde kullanılan kare ortalama karekök (RMS) değeridir ve yüzey yüksekliklerinin standart sapmasını temsil eder [48].



Çizelge 3.1. Yüzey pürüzlülük parametreleri ve matematiksel ifadeleri

Yüzey pürüzlülük parametresi	Parametre matematiksel ifadesi
Ortalama ( $R_a$ )	$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i $
RMS ( $R_q$ )	$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}$
Skewness ( $R_{sk}$ )	$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \left( \sum_{i=1}^N Y_i^3 \right)$
Kurtosis ( $R_{ku}$ )	$R_{ku} = \frac{1}{NR_q^4} \left( \sum_{i=1}^N Y_i^4 \right)$

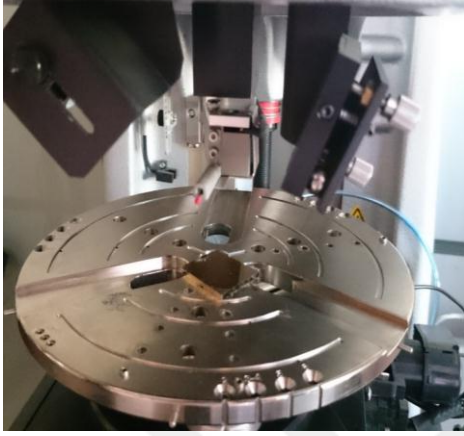
Bu çalışmada Nano Magnetics marka hpAFM (Resim 3.10) ile vakumsuz ortamda yüzey görüntüleme işlemleri gerçekleştirildi.



Resim 3.10. Nano Magnetics hpAFM atomik kuvvet mikroskobu

Ayrıca ince film kaplamaların film kalınlıklarını belirlemek için Dektak-150 yüzey profilometresi kullanıldı (Resim 3.11). Bir basamak yüksekliği ölçüm aracı olan Dektak 150 yüzey profilometresi, elmas uçlu stylusun altındaki örneğin hareketi ile ölçüm alır.

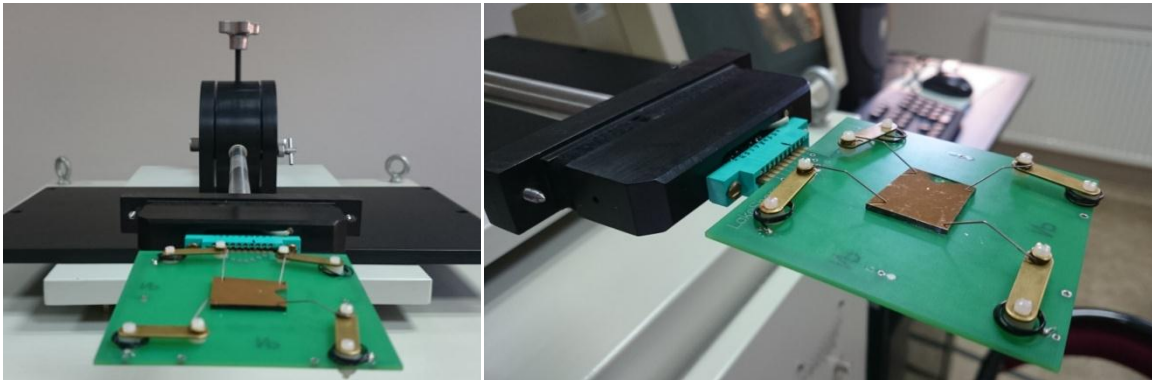
Örnek hareket ettikçe, stylus yüzeyi belirlenen uzunlukta dikey olarak tarar bu ölçümden sonra yüzeyin biçimi, düzlükler, pürüzlülük ve dalgalanmalar incelenebilir ve de basamak yüksekliği belirlenebilir.



Resim 3.11. Dektak-150 yüzey profilometresi

### 3.5. Elektriksel Analiz Sistemleri

Özdirenç (resistivity) birim uzunluk ve kesit alana sahip bir iletkenin elektrik akımına karşı ne kadar direnç gösterdiğinin bir ölçüsüdür. Bu çalışmada filmlerin tabaka direncini belirlemek için hall ölçüm sisteminin bir parçası olan Resim 3.12’de gösterilen aparat kullanıldı.



Resim 3.12. Özdirenç ölçüm tablası

Van der Pauw yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında yapılan özdirenç ölçümlerinde, yan yana olan kontak çiftlerine akım uygulanıp karşı kontaklardan gerilim ölçüldü. Farklı

bölgelerden alınan birkaç ölçüm sonucunda filmin direnci ( $\rho$ ),  $R_{sh}$  tabaka direnci ve t film kalınlığı olmak üzere ortalama olarak

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} t \frac{V}{I} ; R_{sh} = \frac{\rho}{t} = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I} \quad (3.3)$$

eşitliği kullanılarak belirlendi [49].





## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde çalışma boyunca yapılan tüm üretim ve karakterizasyonlardan elde edilen araştırma bulguları, yansımaya engelleyici ve yüksek yansıtıcı kaplamaları içeren iki ana başlık altında verildi.

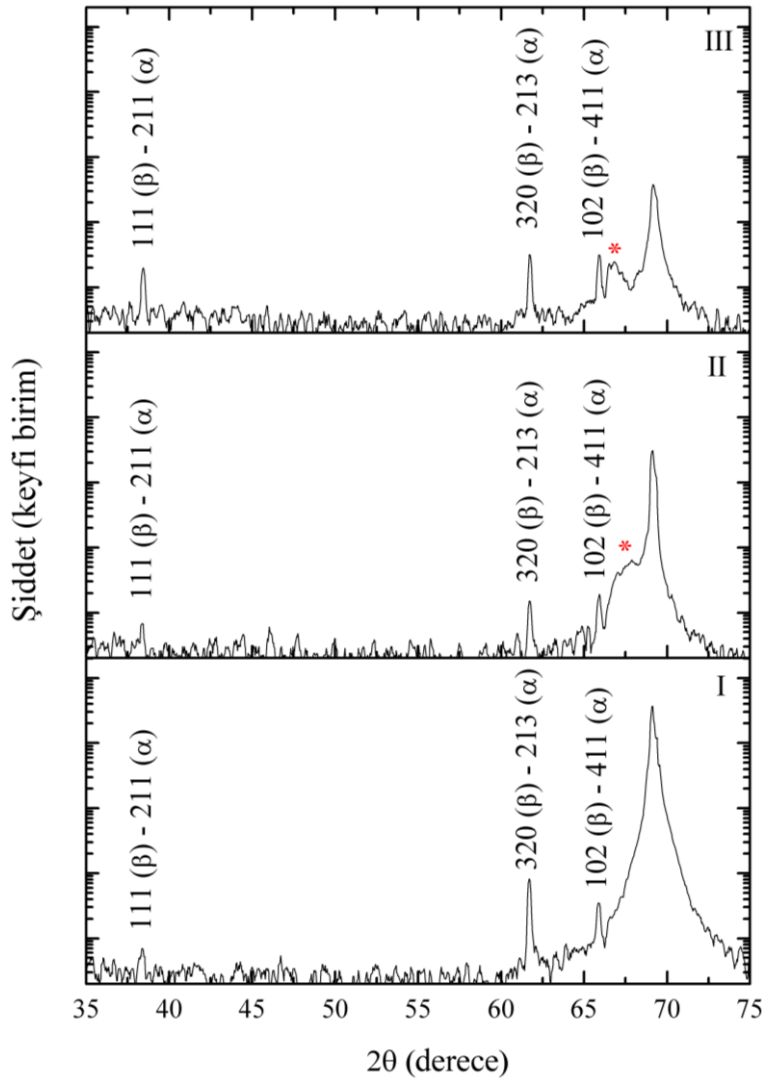
### 4.1. Yansımaya Engelleyici Kaplamaların Üretim ve Karakterizasyonları

Yansımaya engelleyici kaplamalar Çizelge 4.1’de verilen deney şartları kullanılarak püskürtme sisteminde kaplandı. Kaplamalardan silikon alttaşı üzerine yapılan N99, N101 ve N102 kodlu örnekler kolaylık olması açısından sırasıyla I, II ve III olarak isimlendirilerek karakterizasyon sürecinde kullanıldı.

Çizelge 4.1. Yansımaya engelleyici kaplamaların büyütme parametreleri

Örnek kodu	Si/GaAs/cam alttaşı Sıcaklığı (°C)	Film Kalınlığı (Å)	RF Gücü (W)	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> Büyüme Oranı (Å/s)	Püskürtme Basıncı (mbar)
N99_I	200	750	100	2,0	4,1x10 <sup>-3</sup>
N101_II	200	1500	100	2,0	5,7x10 <sup>-3</sup>
N102_III	200	2000	100	2,1	5,7x10 <sup>-3</sup>

Silikon üzerinde oluşturulan Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kaplamaların, yapısal özelliklerinin analizi için X-ışınları kırınım (XRD) yöntemi kullanıldı. Şekil 4.1’de verilen XRD desenlerinin farklı şiddet ve genişliklere sahip olan pikler içerdiği görülmektedir. Farklı piklerin varlığı tüm filmlerin polikristal yapıda oluştuğunun bir göstergesidir.



Şekil 4.1. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri

JCPDS kart numarası 00-033-1160 [50] ve 00-041-0360 [51] olan XRD çalışmalarından piklerin yönelimleri belirlendi. Yapısal özellikler hakkında daha detaylı bilgilere ulaşmak amacıyla, tüm filmlerin tercihli yönelimleri için Eş. 4.1 ile verilen Scherrer formülü [52] kullanılarak tane boyutu ( $D$ ) hesaplandı. Daha sonra tane boyutuna bağlı olarak Eş. 4.2’de verilen ifade ile dislokasyon yoğunlukları ( $\delta$ ) hesaplandı.

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos\theta} \quad (4.1)$$

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (4.2)$$

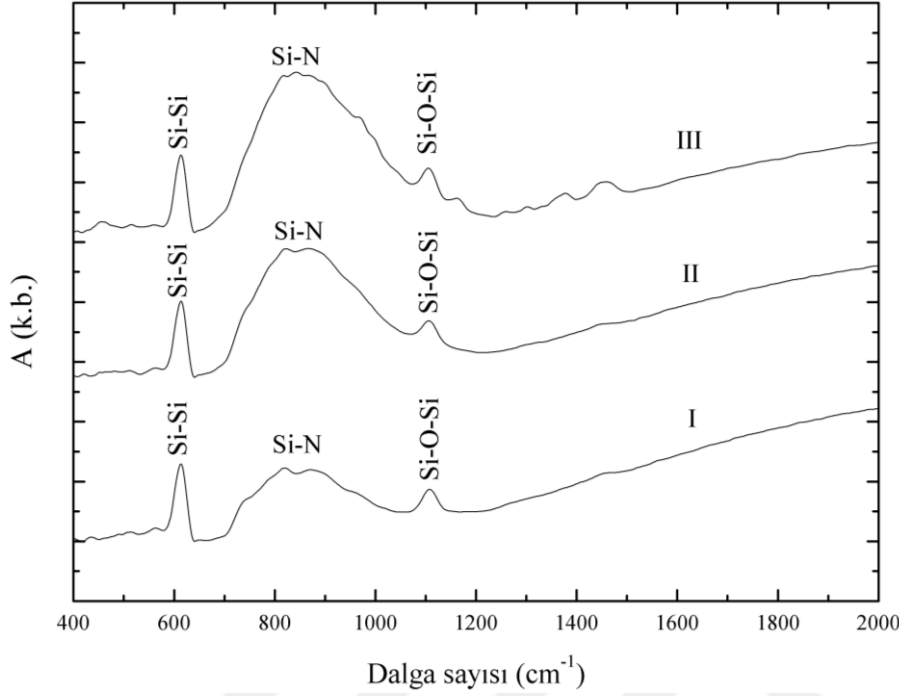
Burada  $B$  ilgili pikin radyan olarak yarı pik genişliğini (FWHM),  $D$  tane boyutunu,  $\theta$  Bragg açısını,  $\lambda$  (1,540598 Å) kullanılan ışığın dalga boyunu göstermektedir. Dislokasyon yoğunluğu ( $\delta$ ) kristalin birim hacmi başına dislokasyon çizgilerinin uzunluğu olarak tanımlanır ve yüksek  $\delta$  değerleri filmlerin daha düşük kristalleşme seviyelerine sahip olduğunu gösterir. Yani  $\delta$  değerleri yapıdaki çizgisel kusurların miktarını gösterir. Bahsedilen hesaplamaların sonuçları da Çizelge 4.2.'de verildi.

Çizelge 4.2. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular

Örnek kodu	2 $\theta$ (°)	Yönelim (hkl)	d (Å)	FWHM (°)	D (nm)	$\delta$ (nm <sup>-2</sup> )
I	65,88	102 ( $\beta$ ) – 411 ( $\alpha$ )	1,42	0,07	143,4	0,007
	61,70	320 ( $\beta$ ) – 213 ( $\alpha$ )	1,50	0,09	100,6	0,01
	38,44	111 ( $\beta$ ) – 211 ( $\alpha$ )	2,34	0,04	210,3	0,005
II	65,92	102 ( $\beta$ ) – 411 ( $\alpha$ )	1,45	0,17	56,0	0,018
	61,71	320 ( $\beta$ ) – 213 ( $\alpha$ )	1,50	0,07	128,5	0,008
	38,36	111 ( $\beta$ ) – 211 ( $\alpha$ )	2,34	0,05	171,7	0,006
III	65,91	102 ( $\beta$ ) – 411 ( $\alpha$ )	1,42	0,11	86,9	0,012
	61,74	320 ( $\beta$ ) – 213 ( $\alpha$ )	1,50	0,07	136,1	0,007
	38,42	111 ( $\beta$ ) – 211 ( $\alpha$ )	2,34	0,14	59,2	0,017

XRD sonuçlarından yola çıkarak Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>'ün püskürtme koşullarına bağlı faz durumları da tartışıldı. Alfa Silisyum Nitrür ( $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) ,Silisyum nitrür`ün düşük sıcaklıklardan 1400°C'ye kadar kararlı olan polimorfudur. Beta Silisyum Nitrür ( $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), tüm sıcaklıklarda kararlı olan fazıdır [53]. Tüm örneklerde, 2 $\theta$  taramasının yaklaşık 69°'deki piki spektrumdaki en şiddetli ve keskin olan piktir ve silikon alttaşa aittir. Alttaş piki etrafında üretim şartlarına bağlı olarak düzlemler arası yansıma geçişlerinde sola doğru kayma olduğu gözlemlendi. III örneğinde 66.76°'de bu kayma artık gözlemlenebilir bir pik haline geldi. Buda sadece alfa fazında bulunan 004 yönelimine ait piktir. Her iki fazda hegzagonal yapıdadır ve bütün örnekler iki fazın bir karma formudur fakat büyütme şartları birim hücredeki atom sayısı ve hacimde değişime sebep oldu ve bu da hegzagonal yapının farklı formlarının oluşmasına yol açtı. Frank L. Riley'in çalışmasına göre örgü parametreleri ve oksijen katkısı arasında net bir ilişki vardır; birim hücre hacmi arttıkça yapıya oksijen katılımı azalmaktadır [54]. Tüm bu bulgular II ve III nolu örneklerde alfa

fazın baskın oluşunun bir göstergesidir [55]. XRD sonuçları literatürdeki benzer çalışmalarla uyum içerisindedir [56].



Şekil 4.2. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin kızılötesi (FTIR) soğurma spektrumları

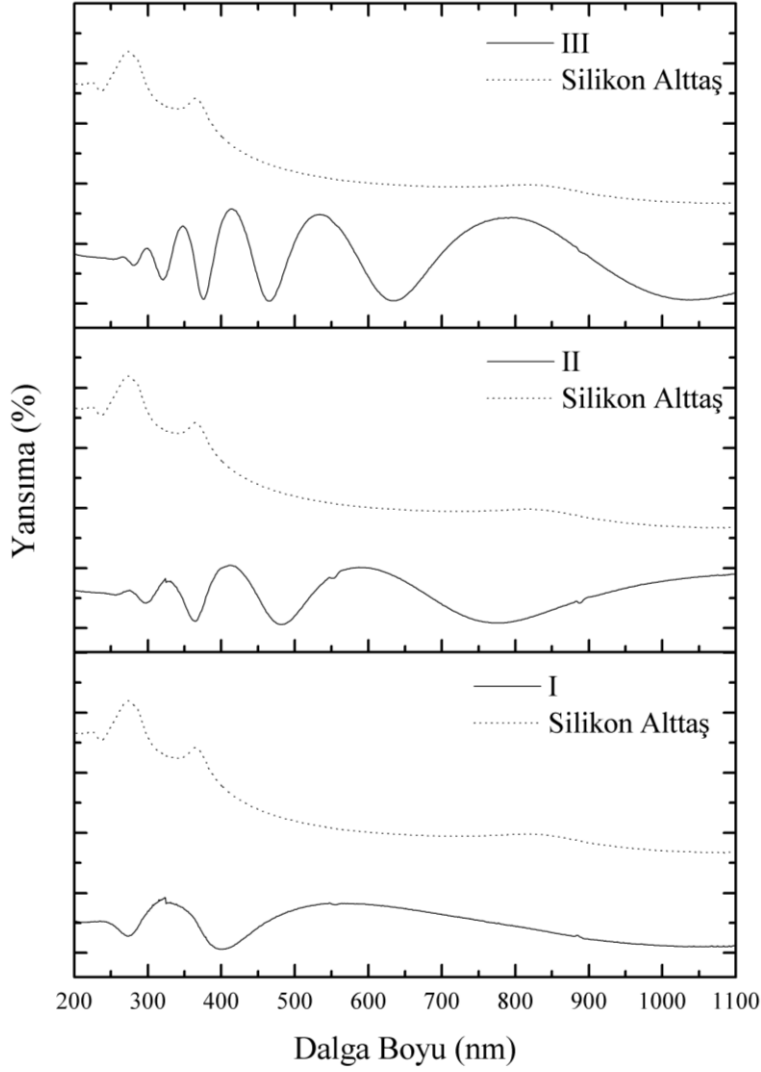
Şekil 4.2’de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin FT-IR absorpsiyon spektrumları verildi. Spektrumun orta kızılötesi bölgesinde detaylı inceleme yapıldığında, Si-N arasındaki bağların gerilme titreşiminin sonucu oluşan pikler yaklaşık 700-1000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında geniş ve yayvan olarak gözlemlendi. 833 cm<sup>-1</sup> merkezli soğurma bandı, enine optik modun asimetrik Si-N gerilme titreşimi olarak belirlendi [57]. Si-N gerilme titreşiminin pozisyonu, toplam hidrojen katkısı ve de bu katkının Si-H ve N-H üzerindeki dağılımına göre hassasiyet gösterir [58]. Ölçüm sonuçlarımızda da pikler kalınlığa bağlı olarak değişim sergiledi. Si-N bağlarının gerilmesinden dolayı oluşan pikin şiddetinde film kalınlığı arttıkça artış görüldü. Ayrıca I numaralı örneğin pik tepesindeki yarılanmanın (820 ve 868 cm<sup>-1</sup>) alfa faz baskınlığı arttıkça kaybolmaya başladığı gözlemlendi (843 cm<sup>-1</sup>). Bu gözlem faz durumlarının sıcaklığa bağlı olması ile ilişkilendirilebilir. Elde ettiğimiz sonuç literatürdeki çalışmalarda işaretlenen Si-N bağlarının gerilme titreşimiyle uyumludur [59-61]. Yaklaşık 613 cm<sup>-1</sup> ve 1105 cm<sup>-1</sup>’de gözlemlenen iki keskin pik altaşa çeşitli kimyasal bağlanmalardan kaynaklanan piklerdir [62]. Kristal silisyumun 610 cm<sup>-1</sup>’de boyuna optik ve enine akustik fonon titreşimlerinin kombinasyonundan kaynaklanan kızılötesi aktif titreşim modu vardır



[63]. Si-O-Si gerilme modu silikon nanokristallerin oksidasyonuna ya da film içerisinde kalan malzemeye atfedilebilir [64].

Ayrıca kızılötesi spektrometresinin ATR ünitesiyle ölçüm yapıldı. Bu ölçüm tarzı absorpsiyon bantlarının dalga boyunda azalma meydana getirerek örneklerin kalınlığından bağımsız olarak spektrum analizlerine olanak sağlar. ATR tekniğinin temelinde ışının numune tarafında yansıtılması (geçirgenlik metodu) yerine ışının örnekten saçılımı ölçülür. Ölçüm cihazının konfigürasyonu ve numunenin pozisyonu gereği film kaplı yüzeyden saçılmalar baz alındığı için ölçümde silikon altaşa ait pikler gözlenmedi. Bu ölçüm yöntemi ile Si-N piki yaklaşık  $1150 \text{ cm}^{-1} - 890 \text{ cm}^{-1}$  ( $1064;1048;1045 \text{ cm}^{-1}$ ) frekans aralığında geniş bir şekilde gözlemlendi. Farklı ölçüm tarzının, Si-N bağının sebep olduğu absorpsiyon bandının dalga boyunu azalttığı gözlemlendi.

Şekil 4.3'de  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ince filmlerin mor ötesi-görünür bölgedeki yansıtma eğrileri verildi.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ince filmlerin, 200-1100 nm aralığındaki görünür ve morötesi bölgede ölçülen yansıtma spektrumları incelendiğinde yansıtma yüzdesinde düşüş gözlemlendi. Görünür bölgede ortalama % 42 yansıtıcılığa sahip silikon altaş bu kaplama sayesinde ortalama % 18 civarında yansıtıcılık gösterdi. Yansıtma spektrumunda gözlenen farklılık doğrudan kalınlığa bağlıdır. Yansıtma önleyici yüzey kaplamasında görünür bölgedeki istenilen yansıtma ve geçirme oranları; uygun malzeme (kırılma indisi) ve katman kalınlığı ayarlanarak elde edilebilir.

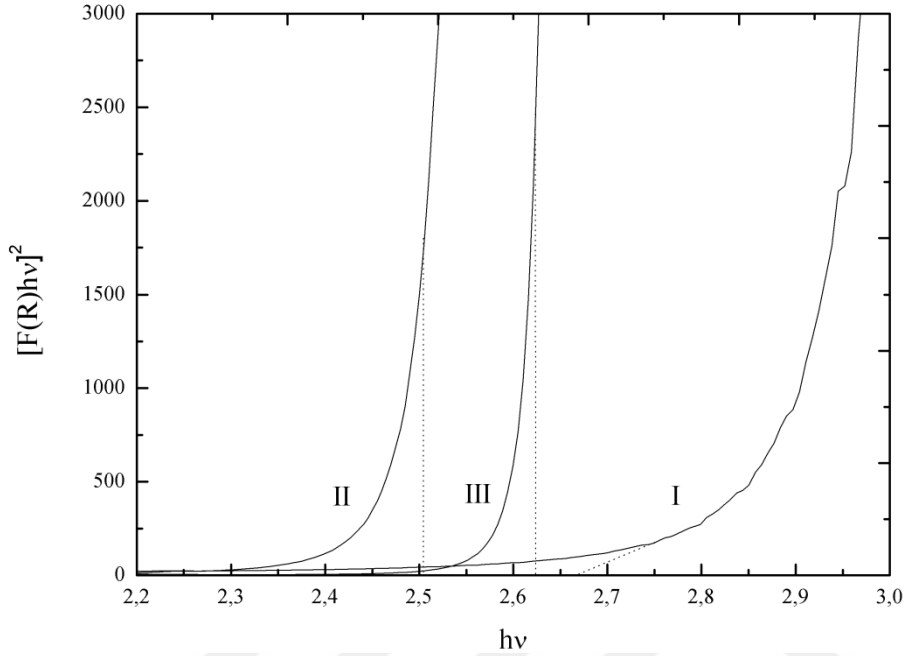


Şekil 4.3. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin morötesi-görünür (UVVIS) bölge yansıtma spektrumları

Absorpsiyon ve saçınımın kombinasyonu Kubelka-Munk analizi ile ifade edilir. Beyaz ışık ile aydınlatılmış renkli mat cisimlerin çoğu, ışık absorpsiyonu ve saçınımı süreçlerinin kombinasyonu ile difüze olarak yansıtılmış renkli radyasyon üretirler. Sonsuz kalınlıkta veya en az arka plandaki tabaka yansıtmasının önemsiz olduğu kalınlıktaki izotropik absorplama ve saçınım olduğu durumlarda geniş çapta kullanılan Kubelka-Munk ifadesine ulaşılır. Bu ifade matematiksel olarak R yansıtma ve F(R) soğurma olmak üzere;

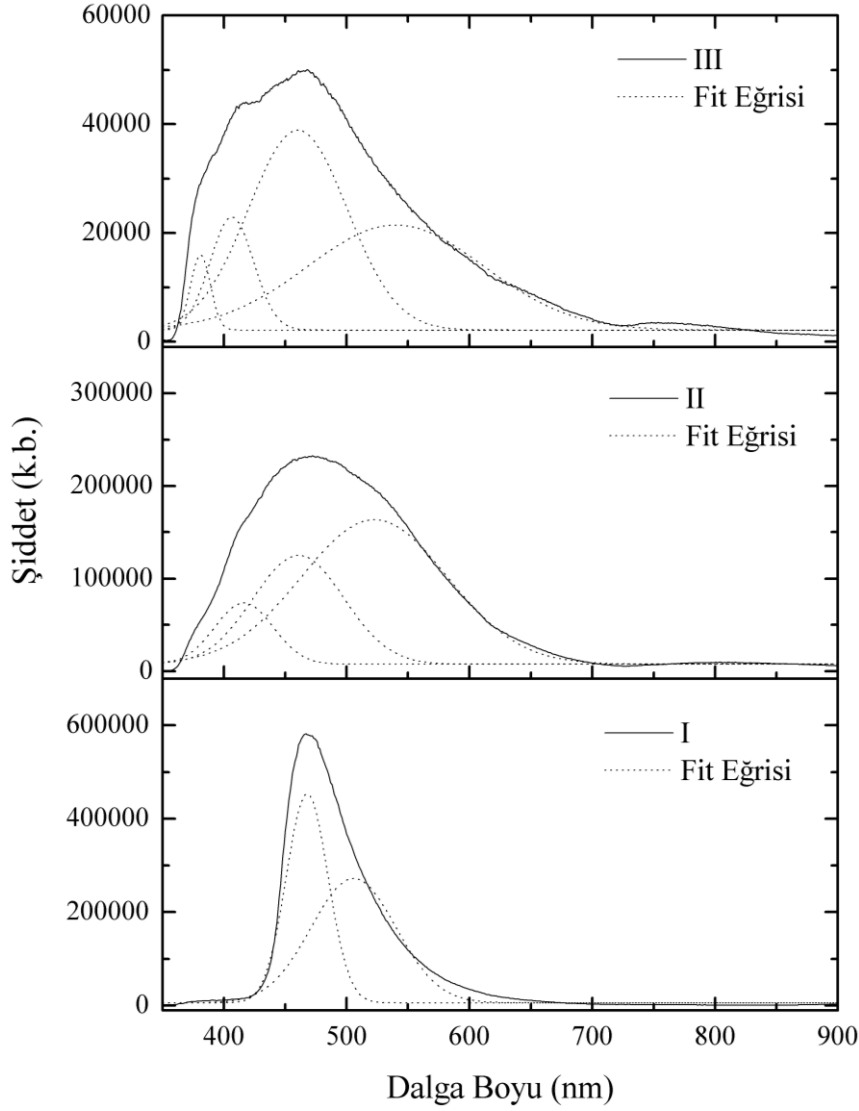
$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4.3)$$

şeklinde [65]. Kubelka-Munk dönüşümünün kullanıldığı DRS metot [66] ile  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ince filmlerin bant boşlukları hesaplandı. Şekil 4.4’de verilen  $h\nu-[F(R)h\nu]^2$  grafiği kullanılarak örneklerin yasak bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri sırasıyla 2,68eV; 2,50eV ve 2,63eV bulundu.



Şekil 4.4. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin  $h\nu-[F(R)h\nu]^2$  grafiği

Şekil 4.5’de örneklerin oda sıcaklığında alınmış fotoluminesans spektrumları ve spektrum sonuçlarına uydurulmuş Gauss eğrileri verildi. Bu eğriler kullanılarak örneklerin yasak bant aralığı ( $E_g$ ) değerleri sırasıyla 468 nm ( $h\nu = 2,65$  eV), 461nm (2,69 eV) ve 460 nm (2,69 eV) bulundu. Ayrıca ilgili piklerin yüksekliklerinin yarı genişliği sırasıyla 34,01; 73,97 ve 80,51nm’dir. Si-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerde kusur seviyeleri olduğu PL spektrumundan gözlenmektedir. Yeşil bölgede emisyon (yayıma) sebep olan diğer eğriler Si- ve N- boş bağların sebep olduğu kusur seviyeleridir [67-68]. Kalınlık arttıkça artan ve de mor ötesi bölge sonu ve görünür bölge başlangıcında gözlenen eğriler girişim teorisine uygun simetrik salınımların yansımasıdır. Kalınlığın artması bu piklerin sayısında artışa sebep olmuştur buda emisyon piklerinin FWHM değerlerini arttırmıştır.



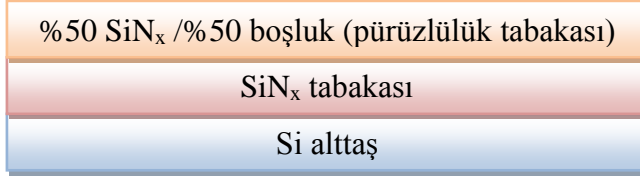
Şekil 4.5. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin fotolüminesans (PL) spektrumları

Elipsometrik parametreler olan  $\Delta$  ve  $\Psi$  cinsinden tanımlanan  $I_s$  ve  $I_c$  ölçüm parametreleri;

$$I_s = \sin(2\Psi) \cdot \sin(\Delta) \quad (4.4)$$

$$I_c = \sin(2\Psi) \cdot \cos(\Delta) \quad (4.5)$$

şeklinde tanımlanır. Şekil 4.7'de örneklerin spektroskopik elipsometre ile yapılan ölçüm sonuçları ve Etkin Ortam yaklaşımı (Effective-Medium Approximation, EMA) kullanılarak yapılan modelleme sonuçları birlikte verildi. Delta-Psi yazılımı kullanılarak yapılan modellemede ikili-tabaka (Şekil 4.6) kullanıldı.



Şekil 4.6. Modellemenin şematik gösterimi

Örnekler için SiN<sub>x</sub> katmanı Tauc Lorentz dispersiyon bağıntısı ile modellendi. Bu dispersiyon bağıntısı aşağıdaki şekilde tanımlanır [69];

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$\varepsilon_2 = \begin{cases} \frac{1}{E} \cdot \frac{A \cdot E_0 \cdot C \cdot (E - E_g)^2}{(E^2 - E_0^2)^2 + C^2 \cdot E^2} & E > E_g \\ 0 & E \leq E_g \end{cases}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_\infty + \frac{2}{\pi} \cdot P \int_{E_g}^{\infty} \frac{\xi \cdot \varepsilon_2(\xi)}{\xi^2 - E^2} d\xi$$

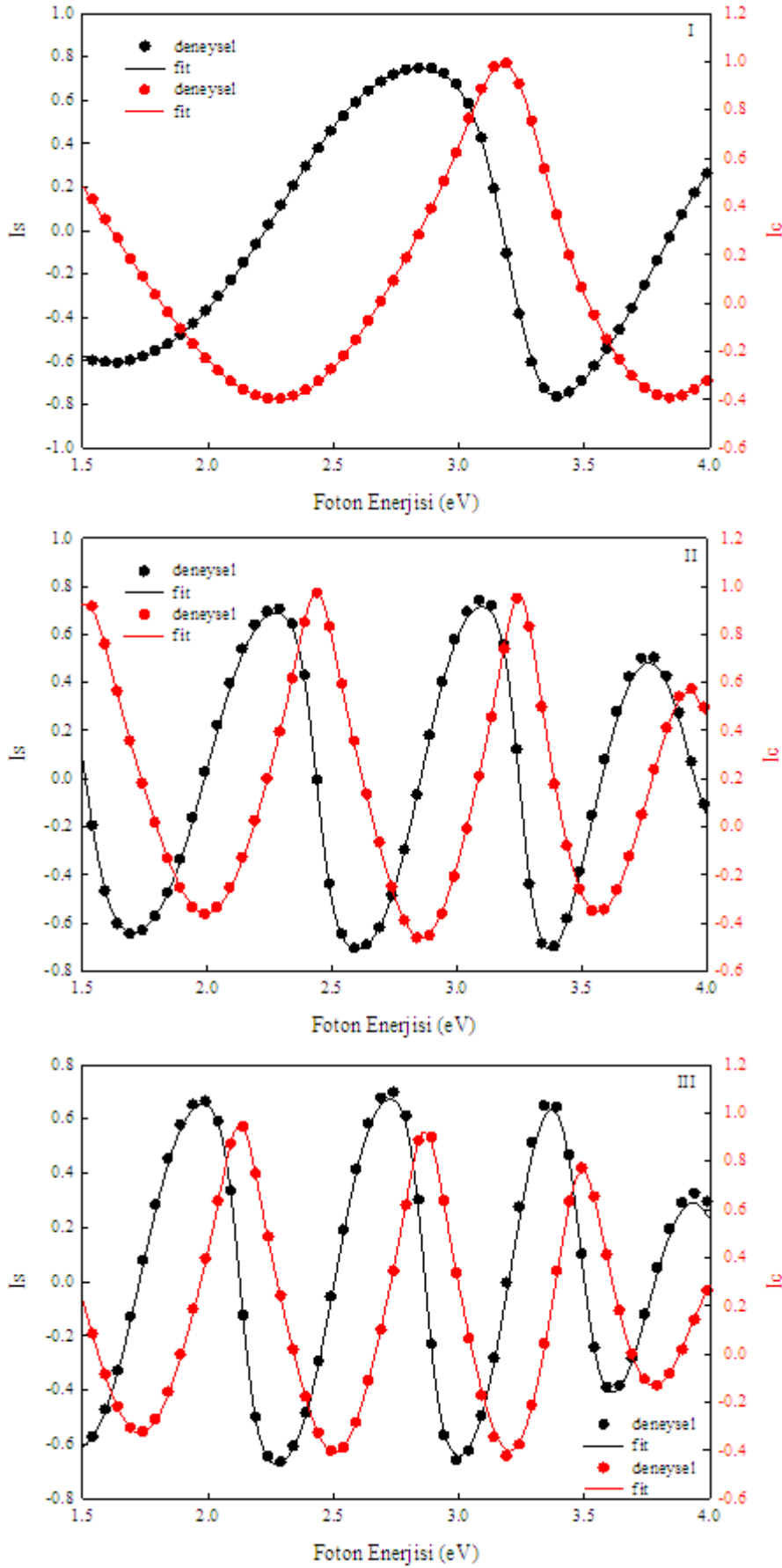
$$\text{integralin çözümü} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = \varepsilon_\infty + \frac{A \cdot C \cdot a_{ln}}{2 \cdot \pi \cdot \xi^4 \cdot \alpha \cdot E_0} \cdot \ln \left[ \frac{E_0^2 + E_g^2 + \alpha \cdot E_g}{E_0^2 + E_g^2 - \alpha \cdot E_g} \right] \\ - \frac{A \cdot a_{atan}}{\pi \cdot \xi^4 \cdot E_0} \cdot \left[ \pi - \arctan \left( \frac{2 \cdot E_g + \alpha}{C} \right) + \arctan \left( \frac{\alpha - 2 \cdot E_g}{C} \right) \right] \\ + \frac{4 \cdot A \cdot E_0 \cdot E_g \cdot (E^2 - \gamma^2)}{\pi \cdot \xi^4 \cdot \alpha} \left[ \arctan \left( \frac{\alpha + 2 \cdot E_g}{C} \right) + \arctan \left( \frac{\alpha - 2 \cdot E_g}{C} \right) \right] \\ - \frac{A \cdot E_0 \cdot C \cdot (E^2 + E_g)}{\pi \cdot \xi^4 \cdot E} \ln \left( \frac{|E - E_g|}{E + E_g} \right) \end{array} \right. \quad (4.6)$$

$$\text{burada: } \xi^4 = (E^2 - \gamma^2)^2 + \frac{\alpha^2 \cdot C^2}{4} \quad \alpha = \sqrt{4 \cdot E_0^2 - C^2} \quad \gamma = \sqrt{E_0^2 - \frac{C^2}{2}}$$

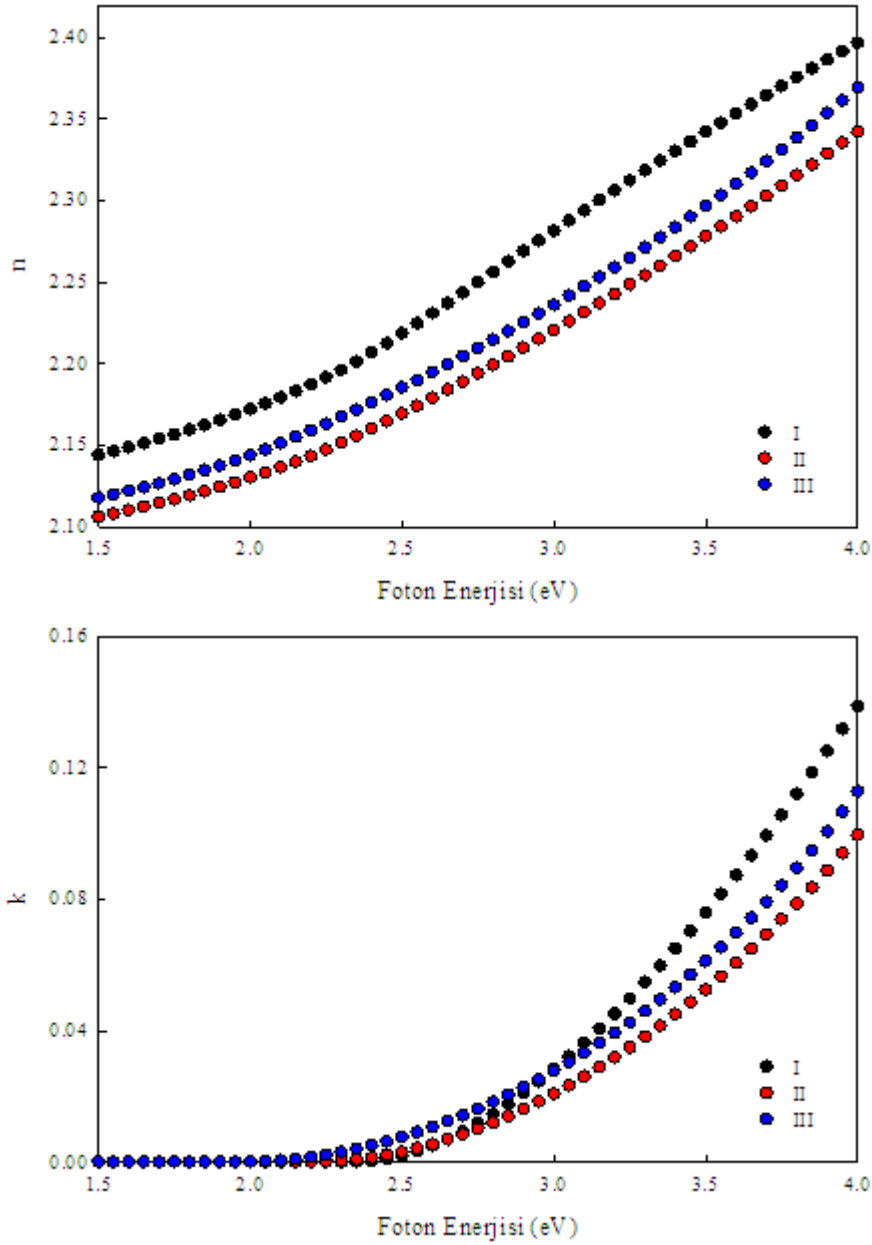
Bu modellemeler sonucunda elde edilen kırılma indisi ve sönüm sabiti eğrileri Şekil 4.8'de verildi. Ayrıca, modelleme sonucu elde edilen film ve pürüzlülük (roughness) kalınlıkları ile fit parametreleri Çizelge 4.3'de sunuldu. Yine aynı çizelgede kuramsal model ve analiz sonrası gerçek veriler arasındaki uygunluk derecesi ( $\chi^2$ ) verildi.

Çizelge 4.3. Tabaka kalınlıkları ve fit parametreleri

Örnek kodu	I	II	III
SiN tabakası kalınlığı (nm)	129,75	326,04	376,09
Pürüzlülük tabakası kalınlığı (nm)	10,59	0,96	1,63
E <sub>g</sub> (optik bant aralığı) (eV)	2,35	2,22	1,99
ε <sub>∞</sub> (Yüksek frekanslı dielektrik sabiti)	0,85	2,14	2,52
A (Tauc katsayısı)	90,27	41,66	30,24
E <sub>0</sub> (Pik merkezi foton enerjisi) (eV)	9,96	7,47	6,67
C (Pik genişlik terimi)	8,81	3,31	2,37
χ <sup>2</sup> (Uygunluk derecesi)	0,22	2,48	3,31



Şekil 4.7. Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ince filmlerin spektroskopik elipsometre ölçüm ve modelleme sonuçları

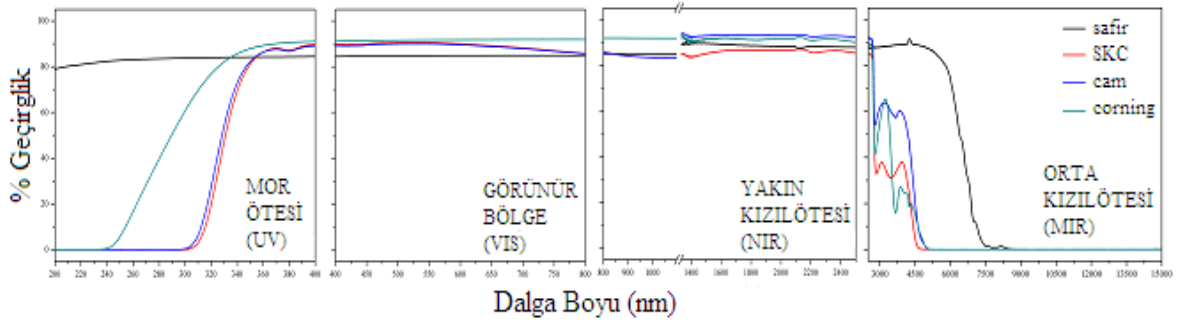


Şekil 4.8. Kırılma indisinin ( $n$ ) ve sönüm sabitinin ( $k$ ) foton enerjisine göre değişimleri

Elipsometre ölçümlerinin sonuçları Tauc Lorentz dispersiyon bağıntısı ile yaklaşıklık değeri 0,22-3,31 aralığında gözlenen şekilde modellendi. Modelleme ile filmlerin kalınlık değerleri 100- 400 nm aralığında, kırılma indisleri ( $n$ ) ise 2,1-2,4 aralığında bulundu. Optik çalışmalar açısından sonuçlar değerlendirildiğinde denediğimiz şartlardaki her kalınlık ve sıcaklıkta istenilen kimyasal bağlar oluşturuldu ve yansımaya önleyici yüzey elde edildi. Yapısal açıdan çalışmalara bakıldığında faz değişimleri ve kaplama yüzeyinin alt malzemeye etkisi detaylı bir kalınlık ve sıcaklık tayin edilmesi ile sağlandı.

## 4.2. Yüksek Yansıtıcı Kaplamaların Üretim ve Karakterizasyonları

Yansıtıcı kaplamalar için alt malzeme olarak safir ( $Al_2O_3$ ), soda kireç camı (SKC), corning cam ve mikroskop camı; kaplanacak ince film malzeme olarak altın (Au) ve alimünyum (Al); yapışmayı sağlayacak ara tabaka olarak da krom (Cr) kullanıldı. Yapışma dayanımı için krom ara tabaka uygulaması çok sık kullanılan yöntemlerden biridir [70]. Kullanılan alttaşların geçirgenlik spektrumları Şekil 4.9'da verildi. Alınan ölçümlerde farklı iki cihaz kullanıldı (Perkin Elmer Lambda 2S UV-VIS spektrometresi ve VERTEX 80 FTIR spektrometresi) ve sonuçlar birleştirilmiş şekilde sunuldu.



Şekil 4.9. Yansıtıcı kaplamalarda kullanılan alttaşların geçirgenlik spektrumları

Alttaşlar, püslürtme ve eş odaklı püskürtme sistemlerine yüklenmeden önce; yüzeylerinden oksit kaldırma amacıyla  $H_2O_2$ (Hidrojen peroksit) +  $H_2SO_4$ (Sülfürik asit) + 80DI- $H_2O_2$  (deiyonize su) çözeltisi içerisinde 1 dakika süreyle ultrasonik banyoda bekletildi. Daha sonra bu çözeltiden çıkarılan alttaşlar kimyasal temizlik için sırayla; DI- $H_2O_2$  (deiyonize su),  $C_3H_6O$  (aseton) ve  $C_2H_6O$  (etanol) içerisinde durularak, azot ile kurutuldu.

Kaplama öncesi işlemler tamamlandıktan sonra püskürtme ve eş odaklı püskürtme sistemlerinde sırasıyla Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'de verilen büyütme parametreleri kullanılarak yansıtıcı ince film kaplamalar oluşturuldu.

Güç, alttaş sıcaklığı ve kaynak malzeme büyüme oranları değiştirilerek kaplamaların kalibrasyonu sağlandı. Püskürtme sisteminde kalibrasyon için hedeflenen ilk deney serisi cam altlık üzerine farklı kalınlıklarda kaplandı. Böylece kalınlık değişimindeki etkin parametre değerleri tespit edildi. İkinci deney serisi farklı kalınlığa ek olarak farklı alttaş sıcaklığının etkisini anlayabilmek üzere safir üzerine kaplandı. Son seri ise; elde edilen



sonuçlar değerlendirilerek safir altlık üzerine çizelge 4.4’de verilen parametreler uygulanarak kaplandı. Eş odaklı püskürtme sisteminde ilk seri kalınlık değişimli alüminyum kaplama denemesi oldu. Alüminyum (Al) optik olarak çalışmaya uygun bir malzeme olmadı. İkinci seride farklı altlıklar üzerine uygulanan altın kaplama ile kalınlık değişiminin etkisi değerlendirildi. Diğer serilerde de krom, altın ve krom üzerindeki altın kalınlığı kalibre edildi. Tüm bu seriler değerlendirildikten sonra çizelge 4.5’de verilen parametre değerleri kullanılarak kaplamalar tamamlandı.

Çalışmanın karakterizasyon kısmına, adezyon (yapışma dayanımı) testi ve kalınlık profilinde uygun sonuçları veren ideal örneklerle devam edildi. Adezyon testi bir parça yapışkan bandın film yüzeyine sıkıca yapıştırılıp çekilmesi ile gerçekleştirildi. Filmin yüzeye yapışma dayanımı hakkında olumlu fikir sahibi olmak için, yapışkan bandın film yüzeyinde herhangi bir kalkmaya neden olmaması gerekir. Film kalınlıkları da profilometre cihazı ile tayin edildi.

Çizelge 4.4. Püskürtme sisteminde kaplanan yüksek yansıtıcı filmlerin büyütme parametreleri

Örnek kodu	Alttaş	Kalınlık (Å)	T <sub>s</sub> (°C)	P <sub>taban</sub> (mbar)	P <sub>Ar</sub> (mbar)	Güç (W)	Au Büyüme oranı (Å/s)	Kaynak alttaş mesafesi (mm)
N328	Aşındırılmış safir	124	400	2,4x10 <sup>-7</sup>	4x10 <sup>-3</sup>	50	2	90
N328	Safir	124	400	2,4x10 <sup>-7</sup>	4x10 <sup>-3</sup>	50	2	90

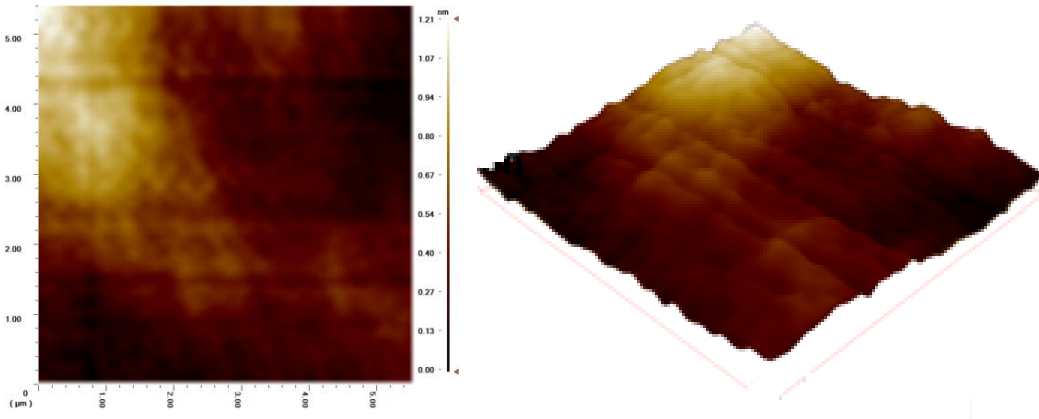
Çizelge 4.5. Eş odaklı püskürtme sisteminde kaplanan yüksek yansıtıcı filmlerin büyütme parametreleri

Örnek kodu	Alttaş	Kalınlık (Å)	Alttaş sıcaklığı (°C)	Taban basıncı (Torr)	Kap Basıncı (mtorr)	RF Güç (W) DC Voltaj (V)	RF(Cr) Büyüme oranı (Å/s)	DC(Au) Büyüme oranı (Å/s)
CTS87	SKC	Cr 1400 Au 5100	O.S.	2,4x10 <sup>-7</sup>	30	5-65W 230-310V	1,5	2,84
CTS88	SKC	Cr 1750 Au 2567	O.S.	2,6x10 <sup>-6</sup>	30	5-65W 230-310V	1,21	2, 4
CTS135	Cam corning safir	Cr 200 Au 800	300	9,1x10 <sup>-6</sup>	30	5-65W 230-310V	1,2	2,46
CTS136	Cam corning	Cr 200 Au 800	100	1,05x10 <sup>-6</sup>	30	5-65W 230-310V	1,01	2,7

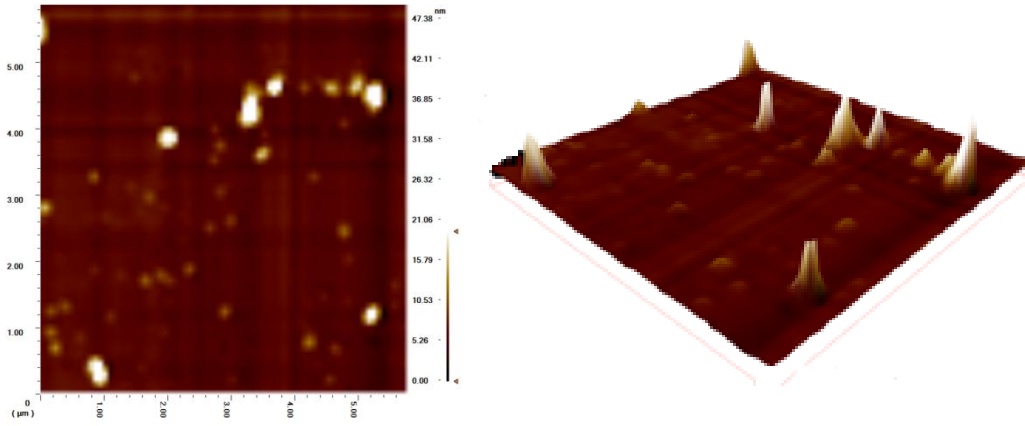
#### 4.2.1. Safir üzerindeki yansıtıcı kaplamaların karakterizasyonları

Safir üzerine altın (N328) örneklerin profilometre ile ölçülen film kalınlık değerleri 20-27 nm aralığında, safir krom altın (CTS135) örneğin ise 80-84 nm aralığında gözlemlendi. Safir üzerindeki yansıtıcı kaplamalarda üç farklı yöntem ile yapışma dayanımı (adezyon) sağlandı. Aşındırma, tavlama ve yapıştırıcı ara tabaka olarak krom kullanımı ile her üç örnekte adezyon testinde olumlu sonuç verdi.

Oksit kaldırma ve kimyasal temizlik işlemlerine ek olarak bir parça safir alttaş, yüzey aşındırma amacıyla HF(Hidrojen florür) + 10DI-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(deiyonize su) çözeltisi içinde 1 dakika ultrasonik banyoda bekletildi. Adezyonu sağlamak amacıyla yapılan yüzey aşındırma işlemi atomik kuvvet mikroskobuyla alınan yüzey görüntüleriyle takip edildi. Aşındırma öncesi ve aşındırma sonrasında safir alttaşların AKM ile alınan yüzey görüntüleri Resim 4.1 ve Resim 4.2’de verildi. Bu görüntülerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda safir ve aşındırılmış safir alttaşların yüzey pürüzlülüğü (RMS) değerleri sırasıyla 1,24 nm ve 2,64 nm elde edildi.

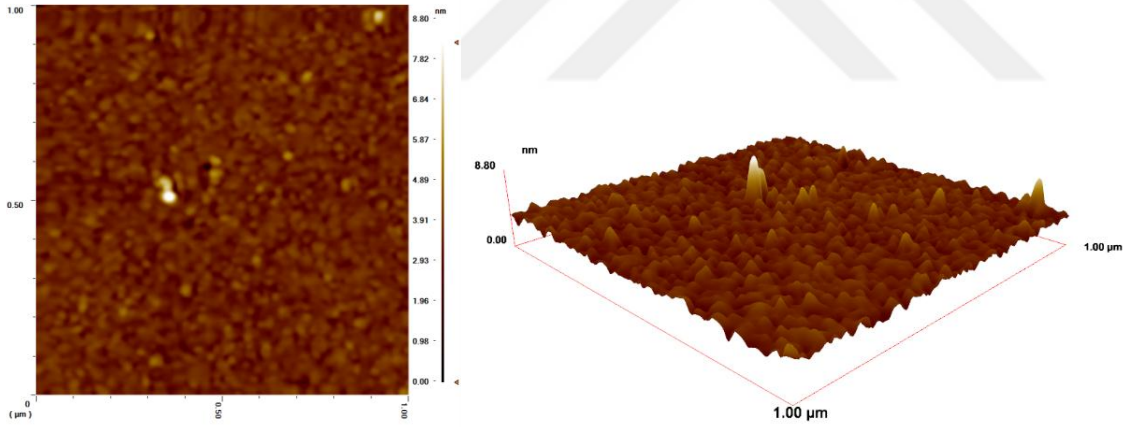


Resim 4.1. Safir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) alttaşın 2D ve 3D AKM görüntüsü (5µm×5µm)



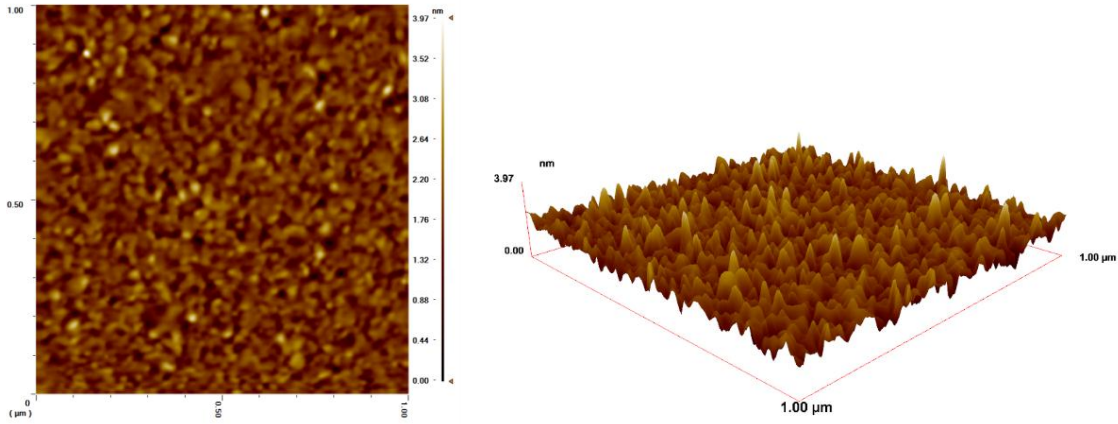
Resim.4.2. Aşındırılmış safir (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) alttaşın 2D ve 3D AKM görüntüsü (5µm×5µm)

Yüzey aşındırma işlemi sonrasında aşındırılmış alttaşa kaplanan altın filmin yüzey görüntüsü Resim 4.3'te verildi. Bu görüntülerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda yüzey pürüzlülüğü (RMS) 0,41 nm elde edildi.

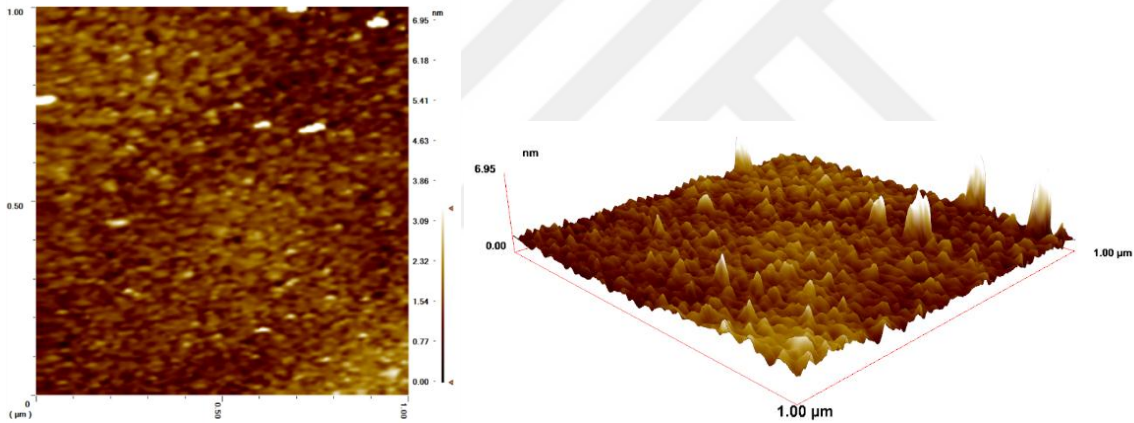


Resim 4.3. N328 (Au/aşındırılmış Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü (1µm×1µm)

Adezyonu sağlamak amacıyla yapılan diğer bir işlemde tavlama oldu. Safir üzerine doğrudan altın film kaplaması adezyon testinden olumlu sonuç vermedi; ancak tavlama sonrasında adezyon dayanımı elde edildi. N328 (Au/safir) örneği DI-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile 3dk ultrasonik banyoda bekletilip azotla kurutularak CTA ile 500°C'de 1 saat tavlandı. Tavlama öncesi ve tavlama sonrasında AKM ile alınan yüzey görüntüleri Resim 4.4. ve Resim 4.5.'de verildi.



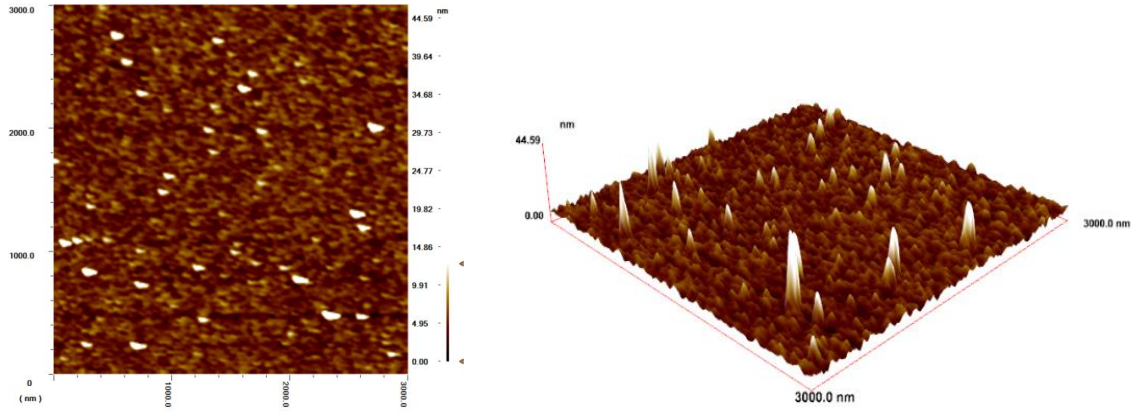
Resim 4.4. N328 (Au/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) örneğinin tavlama öncesi 2D ve 3D AKM görüntüsü (1µm×1µm)



Resim 4.5. N328 (Au/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) örneğinin tavlama sonrası 2D ve 3D AKM görüntüsü (1µm×1µm)

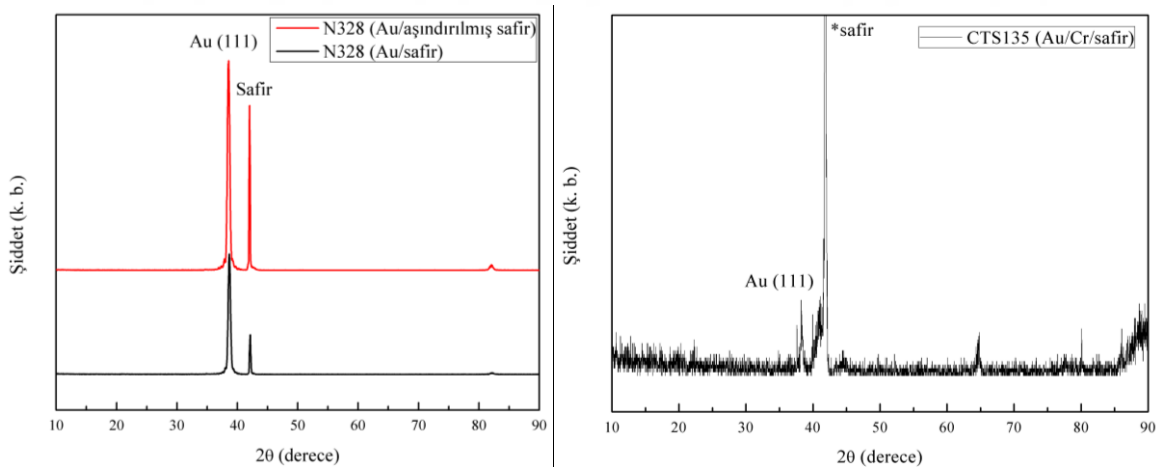
Tavlama işlemi öncesinde ve sonrasında alınan bu AKM görüntülerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla 0,38 nm ve 0,42 nm elde edildi.

Adezyonu sağlamak için yapılan son işlemde yapıştırıcı ara tabaka olarak krom kullanımı oldu. Bu amaçla kaplamanın eş odaklı püskürtme sisteminde üretimi sırasında öncelikle safir üzerine krom kaplandı daha sonra altın filmde krom tabaka üzerine kaplandı. Bu şekilde üretilen örneğin (CTS135) AKM ile alınan yüzey görüntüleri Resim 4.6'da verildi. Yüzey pürüzlülüğü değeri de 1,90 nm elde edildi.



Resim 4.6. CTS135 (Au/Cr/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü (3µm×3µm)

Şekil 4.10'da safir üzerine kaplanan altın ve krom altın örneklerin XRD desenleri verildi. Safir alttaşa ve altına ait olan pikler CAS: 1344-28-1 [71] ve CAS: 7440-57-5 [72] olan XRD çalışmalarından faydalanarak işaretlendi. Belirlenen altın pikinin 2θ değeri, radyal yarı pik genişliği (FWHM), indisleri ve bu değerlerden Scherrer formülü [52] ile hesaplanmış olan parçacık büyüklükleri Çizelge 4.6'da verildi.



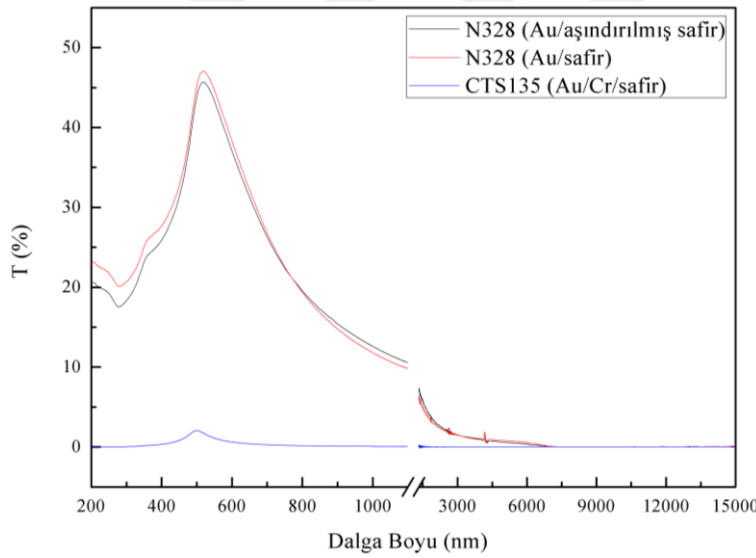
Şekil 4.10. Safir üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri

Safir üzerine doğrudan altın kaplamak daha düzgün bir kristal yapının oluşmasına sebep olurken ara tabaka olarak krom kullanmak kristal yapıda kusurlara sebep oldu. Aynı zamanda ara tabaka olarak krom kullanmak altın parçacık büyüklüğünün azalmasına sebep oldu.

Çizelge 4.6. Au/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Au/Cr/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yansıtıcı kaplamaların x-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular

Örnek kodu	hkl	2Theta (°)	FWHM (°)	Parçacık büyüklüğü (nm)
N328 (Au/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	111	38,66	0,45	18,63
N328 (Au/aşındırılmış Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	111	38,54	0,45	18,54
CTS135 (Au/Cr/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	111	38,24	0,76	11,00

Şekil 4.11’de safir üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin mor ötesi – görünür - yakın kızılötesi - orta kızılötesi (UV-VIS-NIR-MIR) bölgedeki geçirgenlik spektrumları verildi. İki farklı cihaz da alınan ölçümler (Perkin Elmer Lambda 2S UV-VIS spektrometresi ve VERTEX 80 FTIR spektrometresi) dalga boyuna bağlı olarak tek bir grafik üzerinde gösterildi. Safir alttaşın dalga boyuna bağlı olarak morötesi ve görünür bölgedeki ortalama geçirgenliği %84 ve ortalama yansıtması %15’dir; kızılötesi bölgedeki ortalama geçirgenliği %74 ve ortalama yansıtması % 22’dir. Kapladığımız yansıtıcı filmler sayesinde safirin geçirgenlik yüzdesi azalarak yansıtıcılık yüzdesi arttı. Bu sayede örneklerin solar soğurum ve kızılötesi yayılım özellikleri uzay kalifiye optik kaplama uygulamaları için, optik açıdan ideal hale geldi.



Şekil 4.11. Safir üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları

Mor ötesi – görünür - yakın kızılötesi - orta kızılötesi bölgedeki ortalama geçirgenlik kalınlık arttıkça azaldı. N328 kodlu örneklerde mor ötesi – görünür bölgede %25, yakın kızılötesi - orta kızılötesi bölgede %3 altına düşen geçirgenlik eğrileri elde edildi. CTS 135 kodlu örnekte mor ötesi – görünür - yakın kızılötesi - orta kızılötesi bölgede % 1 altına

düşen geçirgenlik eğrisi elde edildi. Görünür bölgede altının yüzey plazmonik rezonans (SPR) piki yaklaşık 510 nm'de görüldü ve bu pik geçirgenlik spektrumunda ortalama geçirgenliği yükseltti, yansıtma spektrumunda azalttı.

Geçirgenlik spektrumundaki maksimum değer altın tabakanın görünür bölgedeki yüzey plazmonik rezonans etkisine bağlıdır [73]. Spektrumun görünür bölgesindeki bu soğurum bandı metalik nanopartiküllerin doğasından kaynaklıdır. Altın nanoparçacıklar 500 nm civarında yüzey plazmonik rezonans davranışını sergiler [74-75]. Yüzey plazmonik rezonans pikinin özellikleri altın nanoparçacıkların boyutuna ve dağılımına bağlıdır [76-78].

Yansıtıcı filmlerin tabaka direncini belirlemek için Van der Pauw yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında yapılan öz direnç ölçümlerinde, yan yana olan kontak çiftlerine akım uygulanıp karşı kontaklardan gerilim ölçüldü. Ölçüm sonuçlarından elde edilen değerler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Alttası aşındırma işleminin, örneklerin öz direnç değerinde bir artışa neden olduğu gözlemlendi. Ayrıca altın film kalınlığının artışı öz direncin azalmasına neden oldu.

Çizelge 4.7. Au/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamaların öz direnç (rezistivite) ölçüm sonuçları

Örnek kodu	Sıcaklık (K)	Özdirenç (ohm cm)	Kalınlık (nm)
N328 (Au/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	301,38	4,77E-06	25
N328 (Au/aşındırılmış Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	302,52	6,95E-06	23
CTS135 (Au/Cr/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	301,08	3,95E-06	82

#### 4.2.2. Soda kireç camı üzerindeki yansıtıcı kaplamaların karakterizasyonları

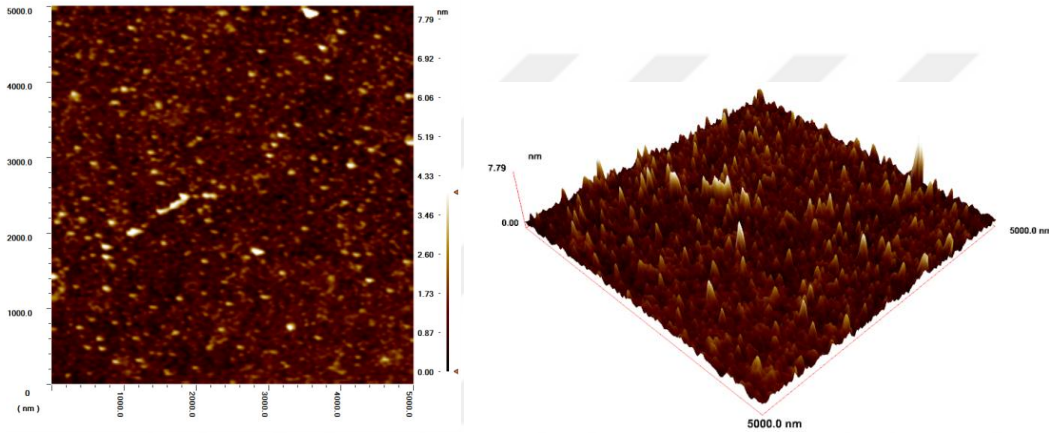
Soda kireç camı üzerindeki yansıtıcı kaplamalardan CTS87 kodlu örneğin profilometre ile ölçülen film kalınlık değerleri 96-108 nm aralığında, CTS88 kodlu örneğinde 77-82 nm aralığında gözlemlendi. Her iki örnekte de krom tabaka sayesinde yapışma dayanımı (adezyon) sağlandı.

Soda kireç camının AKM ile alınan yüzey görüntüsü Resim 4.7'de verildi. Yüzey pürüzlülüğü (RMS) 0.5 nm olan soda kireç cam üzerinde uygulanan kaplamaların her ikisi de yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep oldu. CTS87 örneğinin AKM ile alınmış 2D ve

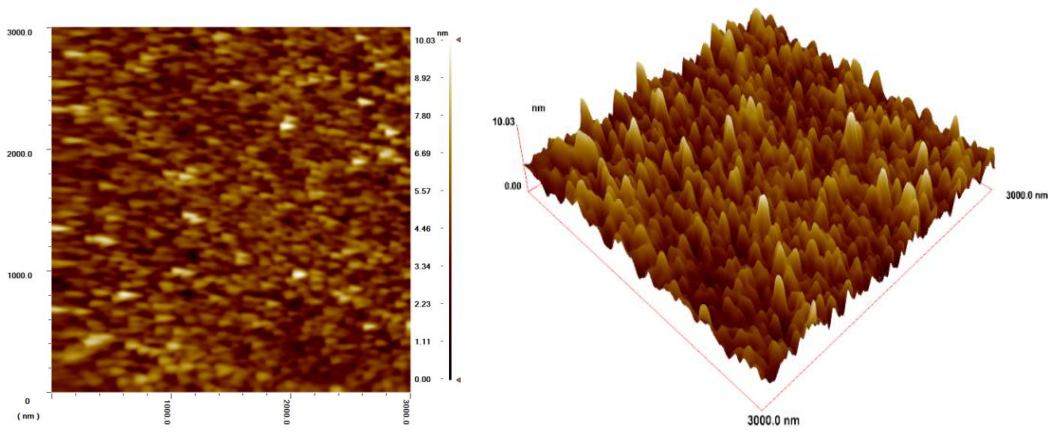


3D yüzey görüntüleri Resim 4.8'de verildi. Yüzey pürüzlülüğü (RMS) değeri 1.21 nm gözlemlendi. CTS88 örneğinin AKM ile alınmış 2D ve 3D yüzey görüntüleri Resim 4.9'da verildi. Yüzey pürüzlülüğü (RMS) değeri 1.48 nm gözlemlendi.

Kaplama parametrelili göz önüne alındığında altın tabakanın kalınlığını krom tabakanın kalınlığından yaklaşık 1.5 kat daha fazla tutmak 3.5 kat daha fazla tutmaya oranla pürüzlülük değerinde artışa neden oldu. Dolayısıyla altın tabakayı krom tabakaya oranla daha kalın tutmak daha homojen bir yapı elde etmemizi sağladı.

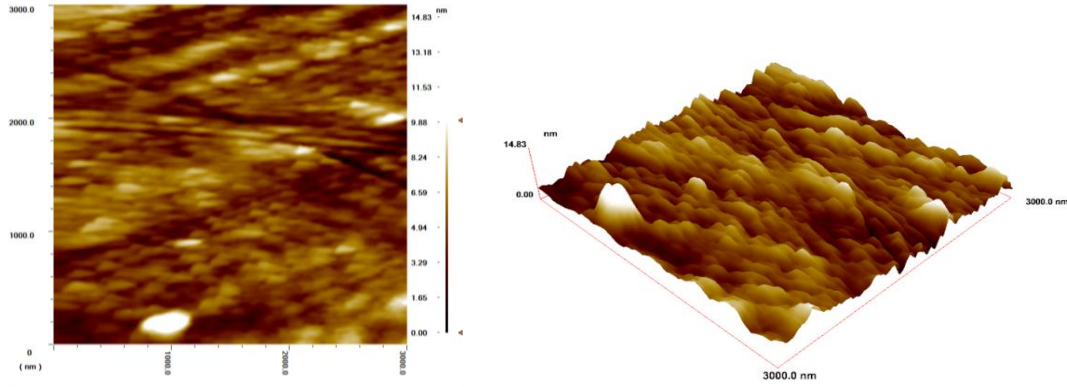


Resim 4.7. Soda kireç camının 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $5\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}$ )



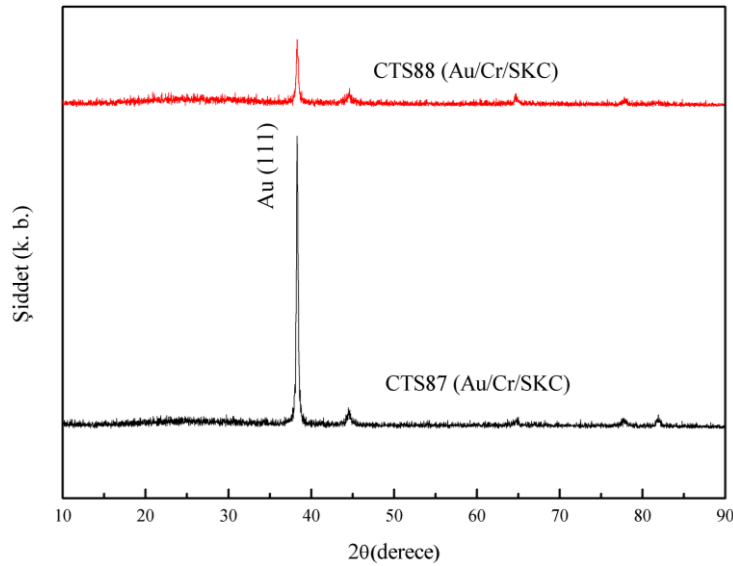
Resim 4.8. CTS87 (Au/Cr/SKC) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ )





Resim 4.9. CTS88 (Au/Cr/SKC) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü (3µm×3µm)

Şekil 4.12’de soda kireç camı üzerindeki yansıtıcı kaplamaların XRD desenleri verildi. JCPDS kart numarası CAS: 7440-57-5 [72] ve CAS: 7440-47-3 [79] olan XRD çalışmalarından piklerin işaretlemeleri yapıldı. Yapısal özellikler hakkında daha detaylı bilgilere ulaşmak amacıyla, altına ait olan pik belirlenerek bu pikin  $2\theta$  değeri, radyal yarı pik genişliği (FWHM), indisleri ve bu değerlerden Scherrer formülü [52] ile hesaplanmış olan parçacık büyüklükleri Çizelge 4.8’de verildi.

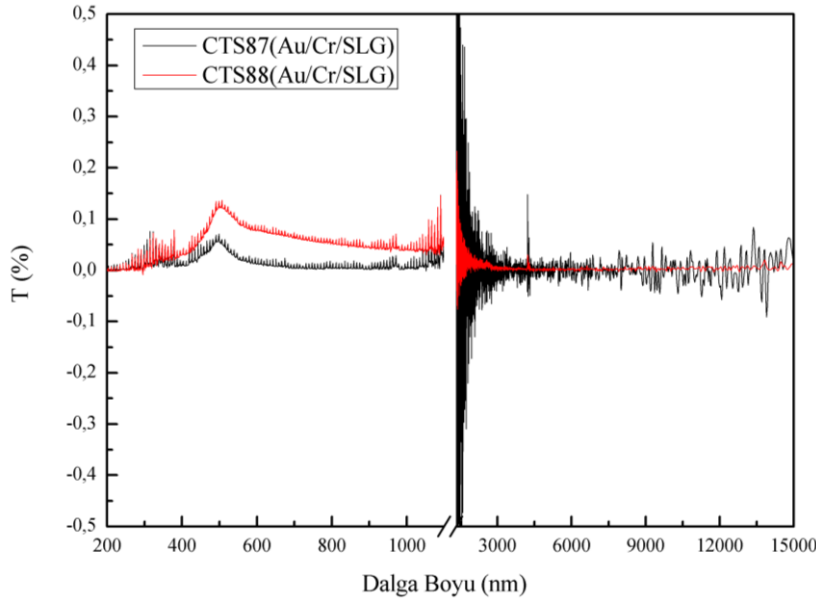


Şekil 4.12. SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri

Çizelge 4.8. Au/Cr/SKC yansıtıcı kaplamaların x-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular

Örnek kodu	hkl	2Theta (°)	FWHM (°)	Parçacık büyüklüğü (nm)
CTS87	111	38,28	0,24	34,80
CTS88	111	38,28	0,29	28,65

Soda kireç camı dalga boyuna bağlı olarak ilgili elektromanyetik tayf boyunca değerlendirildiğinde; 300-5000 nm aralığındaki bölgede geçirgenlik özelliği baskın bir malzemedir. Diğer bölgelerde yansıtma ve soğurma özelliği baskındır. Kalibrasyon amacıyla üretilen tüm metal filtreler için iki farklı cihazda alınan ölçümler değerlendirildiğinde; ortalama geçirgenliğin kalınlık arttıkça azaldığı gözlemlendi. Görünür bölgede altının yüzey plazmonik rezonans (SPR) piki yaklaşık 500 nm’de gözlemlendi. Sadece krom kullanarak yüzeydeki altından kaynaklanan plazmonik etki yok edilmesine rağmen kızılötesi bölgedeki istenen yüksek yansıtıcılık yakalanamadı (CTS79). Sadece altın kullanıldığında ise plazmonik etki görünür bölgedeki ortalama geçirgenliği çok arttırdı ve ayrıca yüzeye tutunma da sağlamadı (CTS86). CTS80 örneğinde de altın tabaka kalınlığı, istenilen düşük geçirgenlik değeri için yeterli olmadı. Optik olarak sonuçlar değerlendirildiğinde istenilen metalik filtre özelliğini CTS87 ve CTS88 örnekleri sağladı. Bu iki örnek için optik geçirgenlik spektrumu şekil 4.13’de verildi. Şekilden de görüldüğü üzere örneklerin geçirgenlikleri % -0.5 ile % 0.5 aralığında gürültülü bir spektrum verdi. Bu durum, ilgili spektral bölgelerde ölçüm için kullanılan ışık kaynağı ve dedektör özelliklerine bağlıdır, bu sinyal gürültü oranı reel sonuçları yaklaşık değer olarak belirlememizi engellemez.



Şekil 4.13. SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları

Ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre soda kireç camının geçirgen olduğu 300-5000 nm’lik bölgede; % 0.1’in altında geçirgenlik elde edildi. Yüzey plazmonik rezonans bölgesinde

% 0.1'in üzerinde geçirgenlik değerleri, sadece CTS88 örneğinde gözlemlendi; CTS87'nin SPR piki de % 0.1'in altında elde edildi.

Au/Cr/SKC filmlerin tabaka direncini belirlemek için Van der Pauw yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında yapılan öz direnç ölçümlerinde, yan yana olan kontak çiftlerine akım uygulanıp karşı kontaklardan gerilim ölçüldü. Ölçüm sonuçlarından elde edilen değerler Çizelge 4.9'da verildi. Sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi altın tabaka kalınlığını krom tabaka kalınlığına oranla daha fazla tutmak öz direncin daha az olmasını sağladı.

Çizelge 4.9. Au/Cr/SKC kaplamaların öz direnç (rezistivite) ölçüm sonuçları

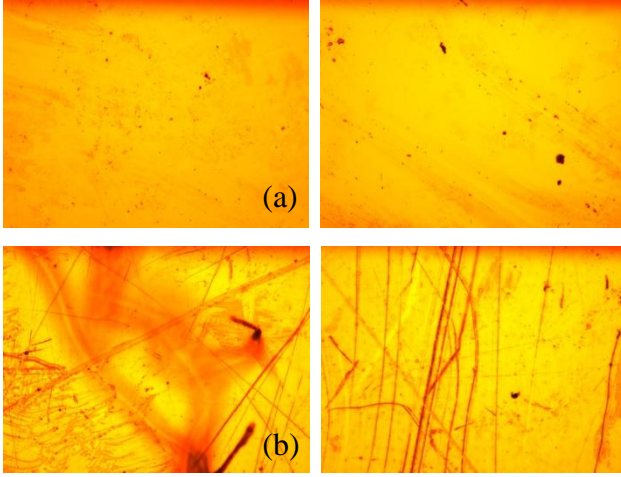
Örnek kodu	Sıcaklık (K)	Özdirenç (ohm cm)	Kalınlık (nm)
CTS87	300,87	2,34E-06	100
CTS88	300,26	2,86E-06	80

#### Soda kireç cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların termal döngü testi

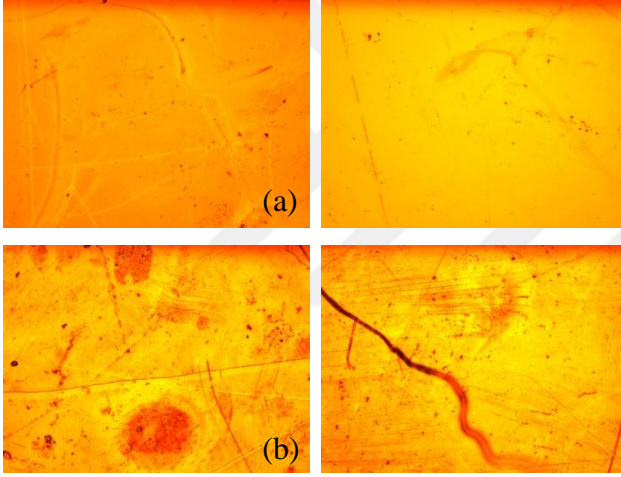
Au/Cr/SKC ince filmler vakum altında ve sabit sıcaklık değerlerinde 6 saat boyunca bekletildi. 30°C'den 150°C'ye kadar 10°C'lik artımlarla uygulanan sabit yüksek sıcaklık aşaması difüzyon fırınında gerçekleştirildi. Sabit düşük sıcaklık (-20°C ve -10°C) aşaması içinde 7K'e inebilen mekanik pompa ile sabit bir basınç altında tutulan, sıcaklık kontrol takibinin sağlanabildiği, kriyostatlı (sabit düşük sıcaklık kabı) soğutma sistemi kullanılarak termal döngü testi tamamlandı.

Her bir sıcaklık sonrası optik geçirgenlik ve yansıtma takibi yapıldı. Tüm termal döngü testi sonrasında da yapısal ve morfolojik karakterizasyonlar tekrar edildi. Ayrıca yüzey deformasyonlarına dair bilgi vermesi adına, Au/Cr/SKC ince filmlerin tüm bu uygulamalar öncesi ve sonrasındaki optik mikroskop görüntüleri Resim 4.10 ve Resim 4.11'de verildi.

Örneklerin görsellerinden ve mikroskop görüntülerinden yüzeyde çeşitli deformasyonlar olduğu belirlendi. Termal döngü testleri sonucunda yüzeydeki deformasyonlar dışında; kırılmalar, çatlamlar önemli ölçüde bozulmalar, adezyon dayanımından kayıplar ve geçirgenlik eğrilerinde büyük değişimler gözlenmedi.

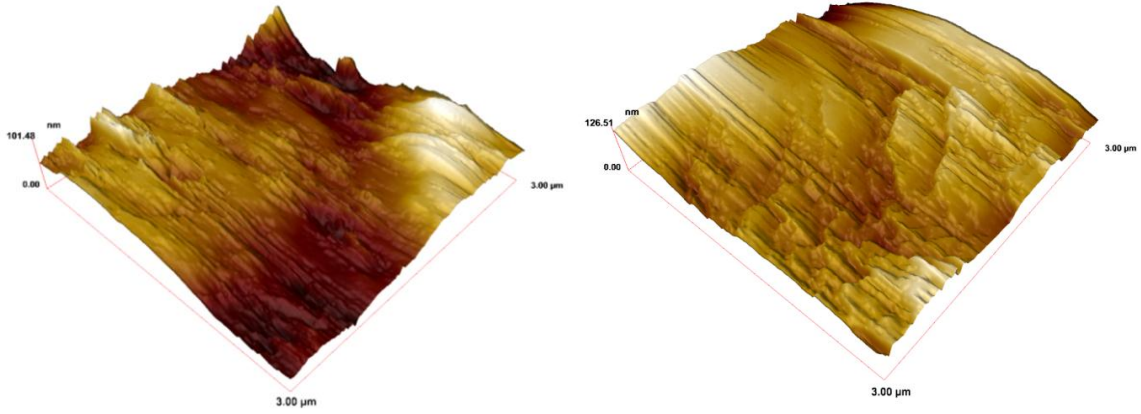


Resim 4.10. CTS87'nin termal test (a) öncesi ve (b) sonrası optik mikroskop görüntüleri



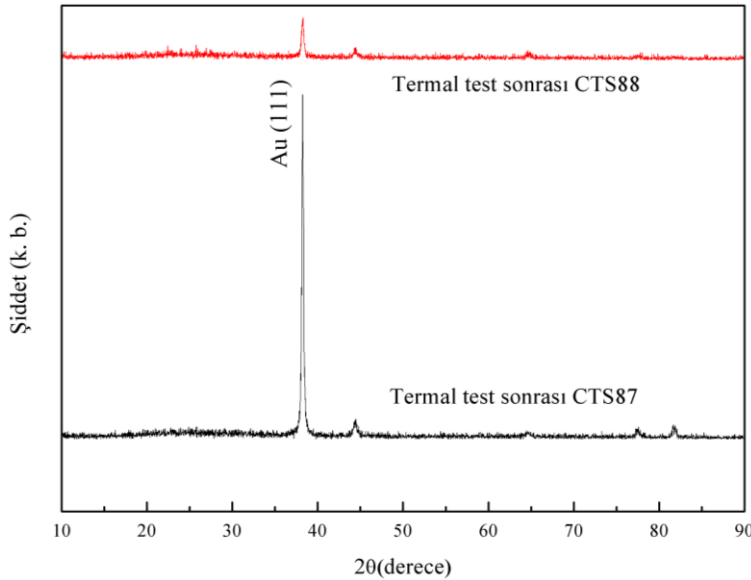
Resim 4.11. CTS88'in termal test (a) öncesi ve (b) sonrası optik mikroskop görüntüleri

Bu deformasyonların optik, morfolojik ve elektriksel etkileri detaylı olarak incelendi. Au/Cr/SKC ince filmlerin termal döngü testi sonrasında Atomik Kuvvet Mikroskobu ile alınmış 3D yüzey görüntüleri Resim 4.12'de verildi.



Resim 4.12. CTS87 ve CTS88 örneklerinin termal döngü testi sonrası 3D AKM görüntüleri (3μm×3μm)

Termal döngü testi sonrasında atomik kuvvet mikroskopuyla alınan görüntülerin RMS değerlerinde aşırı bir artış görüldü ve yüzeyler atomik kuvvet mikroskopuyla hassas görüntüler alınamayacak bir morfolojiye sahip oldu. Termal döngü testi sonrasında CTS87 örneğinin yüzey pürüzlülüğü 1,21 nm'den 18,07nm'ye çıktı. CTS88 örneğinin yüzey pürüzlülüğü 1,48 nm'den 14,42 nm'ye çıktı.



Şekil 4.14 SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin termal döngü testi sonrası X-ışını kırınım (XRD) desenleri

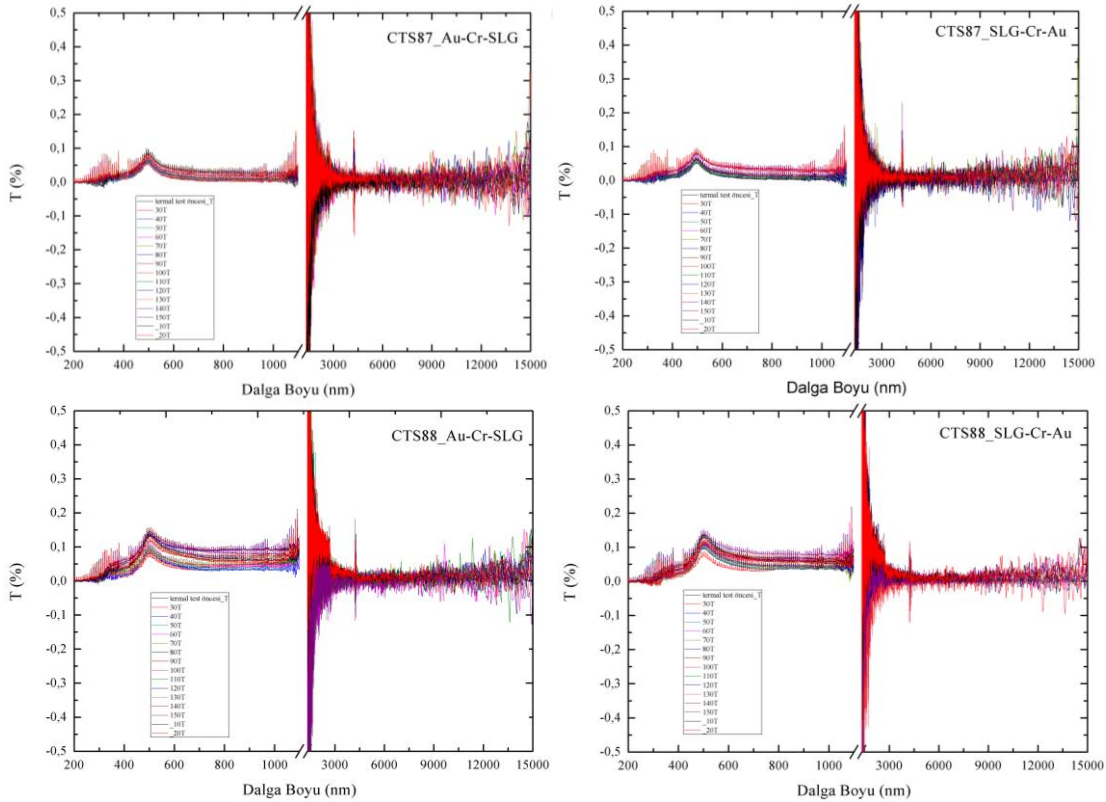
Termal döngü testinin sonrasında kaplamaların XRD desenleri Şekil 4.14'de verildi. Soda kireç camı üzerindeki yansıtıcı kaplamaların yapısal olarak termal döngü testinden olumsuz etkilendiği söylenemez.

Çizelge 4.10. Au/SKC yansıtıcı kaplamaların termal döngü testi sonrasında x-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular

Örnek kodu	hkl	2Theta (°)	FWHM (°)	Parçacık büyüklüğü (nm)
CTS87	111	38,24	0,24	35,65
CTS88	111	38,3	0,36	23,55

Çizelge 4.10’da yansıtıcı kaplamaların termal döngü testi sonrasında çekilen x-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular mevcut. Bu bulgular Çizelge 4.8’de verilen bulgularla karşılaştırıldığında CTS88 örneğinin bu döngüden azda olsa CTS87’ye göre daha olumsuz etkilendiği görüldü. CTS87’de hiçbir farklılık gözlenmedi.

Termal döngü testinin her bir aşamasında geçirgenlik ve yansıma ölçümleri örneklerin hem soda kireç camı yüzeyinden hem de altın yüzeyinden alındı. Yansıtma spektrumlarında geçirgenlik spektrumlarınıniki kadar hassas ve homojen değişimler elde edilemediği için değerlendirmeler geçirgenlik spektrumları üzerinden yapıldı. CTS87 ve CTS88 örneklerinin termal döngü sonrası her iki yüzeyden alınan geçirgenlik spektrumlarının sonuçları Şekil 4.15’de verildi.



Şekil 4.15 SKC üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin termal döngü testi sonrası UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları

Optik olarak sonuçlar değerlendirildiğinde geniş bir spektrum boyunca (UV-VIS-NIR-MIR) altının yüzey plazmonik rezonans bölgesi de dahil olmak üzere geçirgenlik % 0.1'in altında elde edildi. Termal döngü testi örneklerde optik olarak olumsuz bir etkiye sebep olmadı. Yani geçirgenlik spektrumları üzerinde bir değişiklik görülmedi.

Çizelge 4.11'de Au/Cr/SKC örneklerinin termal döngü testi sonrası özdirenç ölçüm sonuçları verildi. Termal döngü testi sonrasındaki elektriksel sonuçlara göre örneklerin özdirenç değerlerinde artış görüldü. Diğer karakterizasyon sonuçlarında olduğu gibi elektriksel olarak da kalınlığın fazla olması, termal döngü testinden sonraki özdirenç değişimini daha az etkiledi.

Çizelge 4.11. Au/Cr/SKC örneklerinin termal döngü testi sonrası özdirenç ölçüm sonuçları

Örnek kodu	Sıcaklık (K)	Özdirenç (ohm cm)	Kalınlık (nm)
CTS87	297,79	3,84E-06	100
CTS88	298,12	6,06E-06	80

#### 4.2.3. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların karakterizasyonları

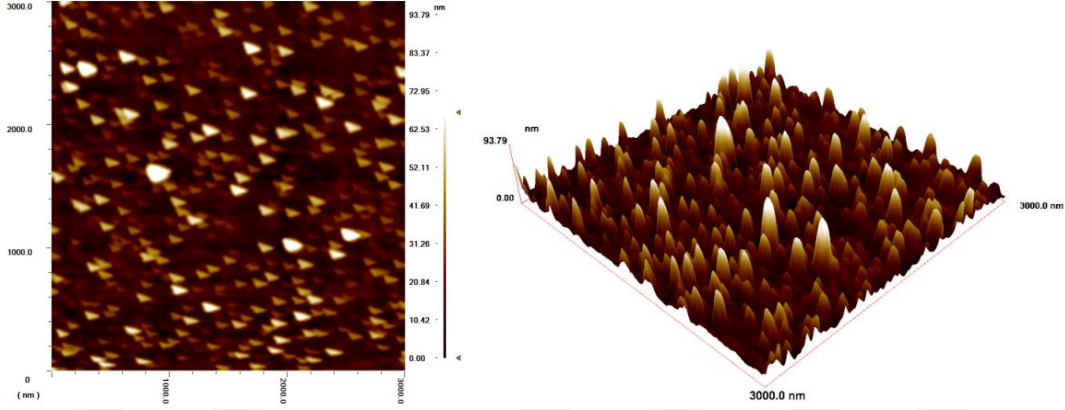
Cam ve corning cam altlıkların her biri yüksek optik geçirgenliğe sahiptir, sadece geçirgenlik bölgelerinin genişliği farklılık göstermektedir. Dalga boyuna bağlı olarak ilgili elektromanyetik tayf boyunca altlık malzemeler değerlendirildiğinde; cam 300-5000nm, Corning cam 250-5000nm aralığındaki bölgede geçirgenlik özelliği baskın malzemelerdir. Diğer bölgelerde yansıtma ve soğurma özellikleri baskındır.

Silikon altlıklar profilometre ile yapılan kalınlık ölçümlerinin kalibrasyonunda karşılaştırma amaçlı kullanıldı. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamalardan CTS135 kodlu örneklerin profilometre ile ölçülen film kalınlık değerleri 80-84 nm aralığında, CTS136 kodlu örneklerin 120-128 nm aralığında gözlemlendi. Tutunma testleri de tüm örnekler için olumlu sonuçlandı yani her iki seride de krom tabaka sayesinde yapışma dayanımı (adezyon) sağlandı.

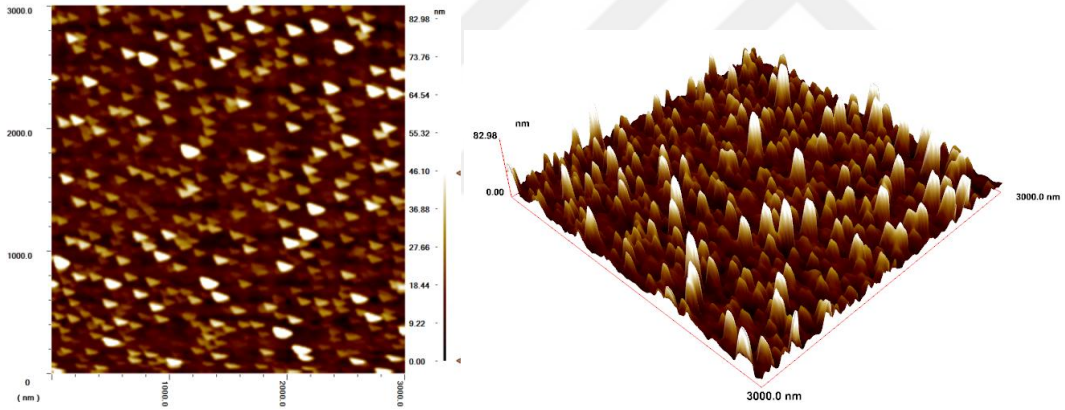
Farklı camlar üzerindeki yansıtıcı kaplamaların AKM ile alınan yüzey görüntüleri Resim 4.13- Resim 4.16'de verildi. Film kalınlığı arttıkça yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. CTS135 kodlu örneklerde yüzey pürüzlülük (RMS) değeri cam altlık üzerindeki kaplamada 12,12 nm, corning cam altlık üzerindeki kaplamada 10,27 nm gözlemlendi. CTS136 kodlu



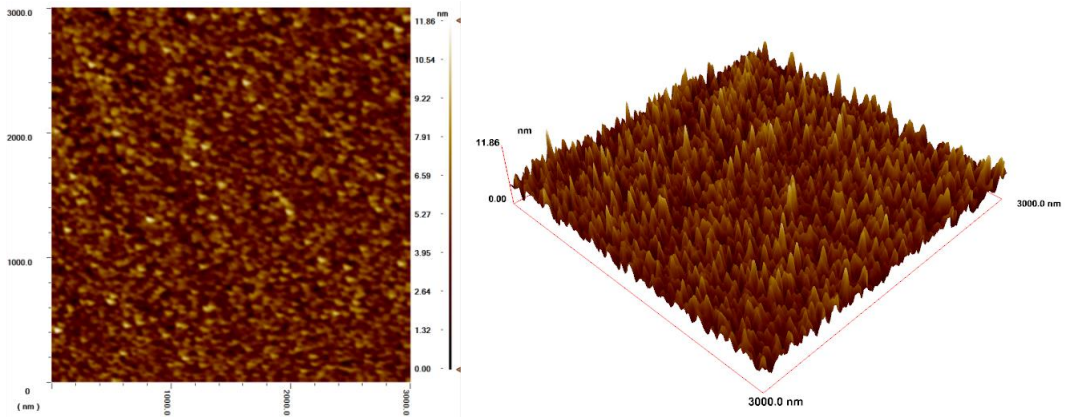
örneklerde ise yüzey pürüzlülük (RMS) değeri cam altlık üzerindeki kaplamada 1,35 nm, corning cam altlık üzerindeki kaplamada 1,72 nm gözlemlendi.



Resim 4.13. CTS135 (Au/Cr/cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ )

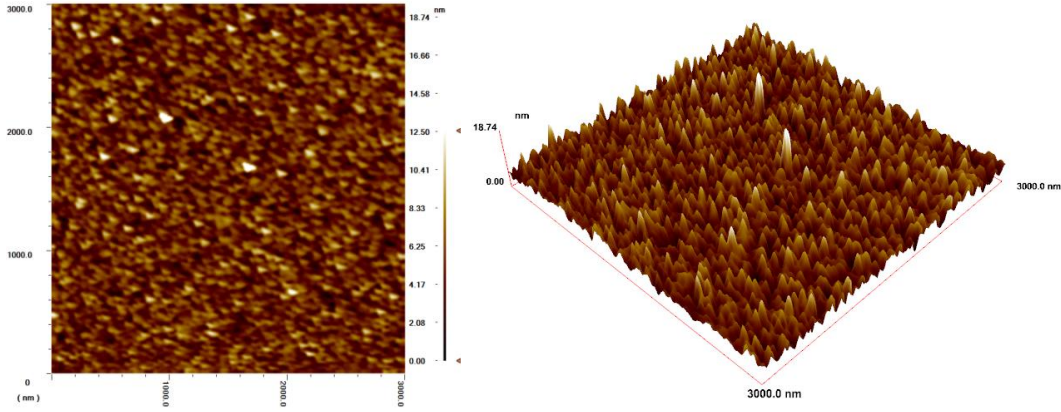


Resim 4.14. CTS135 (Au/Cr/corning cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ )



Resim 4.15. CTS136 (Au/Cr/cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü ( $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ )

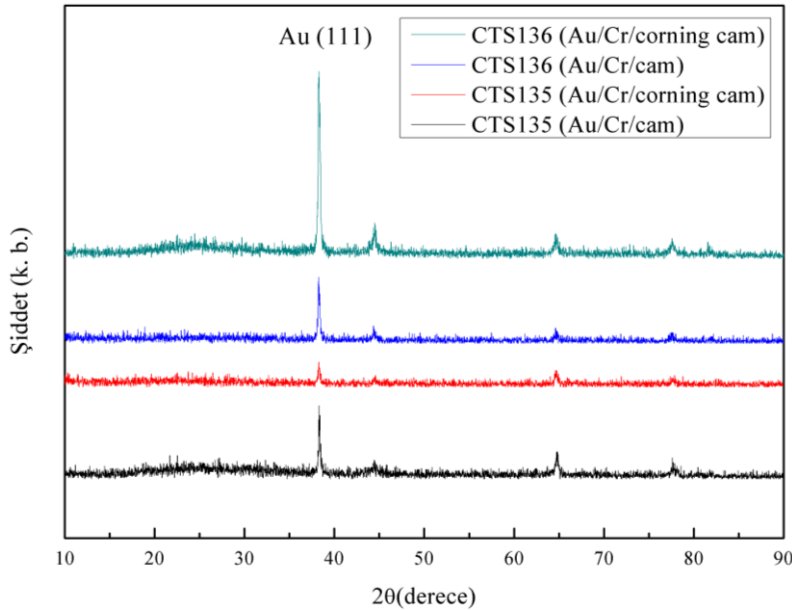




Resim 4.16. CTS136 (Au/Cr/corning cam) örneğinin 2D ve 3D AKM görüntüsü (3µm×3µm)

Cam ve corning cam ile belli bir kalınlıkta homojenlik sağlandığı için yüzey pürüzlülük değerlerinin alt malzemeden, altın oranının daha fazla olduğu kritik bir kaplama kalınlığından sonra pek etkilenmediği açıkça görüldü.

CTS135 ve CTS136 kodlu örneklerin  $2\theta$  XRD tarama sonuçları Şekil 4.16'da verildi. Belirlenen altın pikinin  $2\theta$  ve pik yüksekliğinin yarı genişlik (FWHM) değerleri ve bu değerlerden Scherrer formülü ile hesaplanmış olan parçacık büyüklükleri Çizelge 4.12'de verildi.



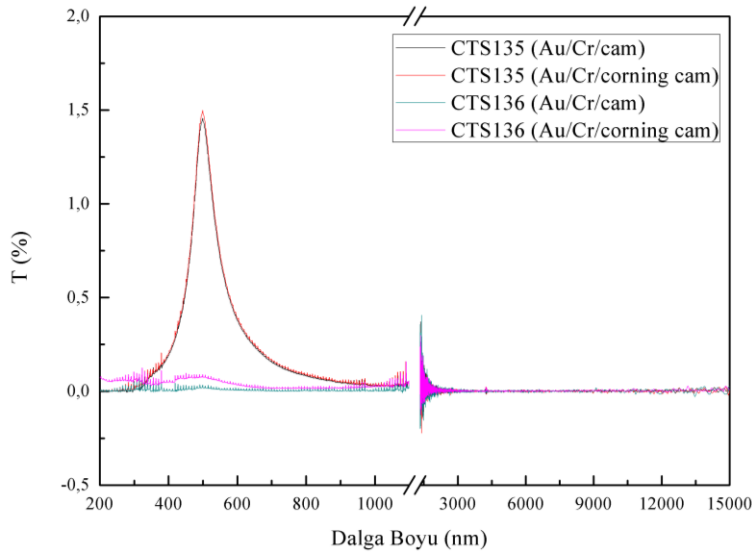
Şekil 4.16. Cam ve corning cam üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin X-ışını kırınım (XRD) desenleri

XRD analizlerinden de, kalın olan örneklerde (CTS136) yapının daha homojen olduğu açıkça görüldü. Önceki çalışmalardan ve kalibrasyon numunelerinden yola çıkarak altın filmin yaklaşık 100nm'nin altında kalmasının yüzeysel ve yapısal olarak bir homojensizliğe sebep olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.12. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların X-ışını kırınım desenlerinden elde edilen bulgular

Örnek kodu	hkl	2Theta (°)	FWHM (°)	Parçacık büyüklüğü (nm)
CTS135 (Au/Cr/ cam)	111	38,32	0,18	46,10
CTS135 (Au/Cr/corning cam)	111	38,26	12,68	0,66
CTS136 (Au/Cr/ cam)	111	38,26	0,24	34,86
CTS136 (Au/Cr/corning cam)	111	38,32	0,25	33,18

Cam ve corning cam üzerine kaplanan örneklerin optik geçirgenlik spektrumu Şekil 4.17'de verildi. Görünür bölgede altının yüzey plazmonik rezonans (SPR) piki yaklaşık 500 nm'de gözlemlendi. Kaplama yapıldıktan sonra, incelenen tüm spektrum boyunca; ortalama geçirgenliğin kalınlık arttıkça azaldığı gözlemlendi.



Şekil 4.17. Cam ve corning cam üzerine kaplanan yansıtıcı ince filmlerin UV-VIS-NIR-MIR bölgedeki geçirgenlik spektrumları

Ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre camın ve corning camın geçirgen olduğu 300-5000 nm'lik bölgede geçirgenlik; yüzey plazmonik rezonans bölgesinde dahil olmak üzere CTS135 serisinde %1,5'un altında, CTS136 serisinde % 0,1'in altında elde edildi.

Örneklerin tabaka direncini belirlemek için Van der Pauw yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında yapılan öz direnç ölçümlerinde, yan yana olan kontak çiftlerine akım uygulanıp karşı kontaklardan gerilim ölçüldü. Ölçüm sonuçlarından elde edilen değerler Çizelge 4.13’de verildi.

Çizelge 4.13. Cam ve corning cam üzerindeki yansıtıcı kaplamaların öz direnç ölçüm sonuçları

Örnek kodu	Sıcaklık (K)	Özdirenç (ohm cm)	Kalınlık (nm)
CTS135 (Au/Cr/ cam)	298,79	3,14E-06	82
CTS135 (Au/Cr/corning cam)	298,63	3,10E-06	82
CTS136 (Au/Cr/ cam)	298,95	4,49E-06	126
CTS136 (Au/Cr/corning cam)	298,89	4,56E-06	126

Örneklerde film kalınlığı arttıkça elektrik öz direnç değeri düşüyor. Au/Cr çift tabakalı yapılarda öz direnç; altın tabakadaki safsızlıklara nokta kusurlara ve tane sınırlarına, krom atomlarının altın tabakaya difüzyonuna ve hacimli altının öz direnç değerine bağlıdır [80-81].



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yansıtıcı metal ve yansımaya engelleyici dielektrik optik ince filmler fiziksel buhar biriktirme yöntemleri kullanılarak üretildi. Farklı üretim süreçleri ve bu süreçlerin malzeme üzerindeki etkileri, çeşitli analiz ve yöntemler kullanılarak detaylı bir şekilde yorumlandı.

Yansımaya önleyici yüzey kaplamasında görünür bölgedeki alternatif yansımaya ve geçirme oranları;  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ince film malzeme kullanılarak ve farklı katman kalınlıkları ayarlanarak elde edildi.

Tez çalışmasının yansımaya engelleyici yüzey kaplamasıyla ilgili bölümünde elde edilen optik ölçüm sonuçlarına göre; görünür bölgede ortalama % 42 yansıtıcılığa sahip silikon (Si) altta, uygulanan  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ince film kaplamalar sayesinde ortalama % 18 civarında yansıtıcılık gösterdi.

Yapı analizi için uygulanan XRD çalışması ile polikristal yapıya sahip olan ve faz baskınlıkları sergileyen filmlerin oluşturulduğu tespit edildi. Alfa Silisyum Nitrür ( $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ ) ve Beta Silisyum Nitrür ( $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ ) fazlarının ince film uygulaması üzerindeki etkisi yorumlandı. Sayısal analizler ve literatür karşılaştırmaları ile yapı çalışması detaylandırıldı ve sonuçta kalınlık değişimine bağlı olarak 50-200 nm aralığında değişen parçacık boyutuna sahip yapılar gözlemlendi.

FT-IR absorpsiyon spektrumları üzerinde detaylı inceleme yapılarak örneklerin kimyasal bağ yapıları aydınlatıldı. Si-N ( $\sim 830\text{ cm}^{-1}$ ) arasındaki bağların gerilme titreşimi, Si-Si ( $\sim 610\text{ cm}^{-1}$ ) ve Si-O-Si ( $\sim 1105\text{ cm}^{-1}$ ) bağ yapılarından kaynaklı piklerin dalga sayılarına bağlı işaretlemeleri yapıldı. Kızılötesi bölgedeki analizler sonucunda yapı çalışmalarını destekleyen bulgular elde edildi.

Fotoluminesans analizleri ile örneklerin elektronik bant yapıları incelendi ve yasak enerji aralığı değerleri yaklaşık  $\sim 2,6\text{ eV}$  bulundu. Ayrıca yansımaya ölçümlerinden Kubelka-munk analizi kullanılarak yapılan yasak enerji aralığı hesaplamaları ile uyumlu sonuçlar elde edildi.

Elipsometre ölçümlerinin sonuçları yaklaşık değeri makul bulunan Tauc Lorentz dispersiyon bağıntısı ile modellendi. Modelleme ile filmlerin kalınlık değerleri 100- 400 nm aralığında, kırılma indisleri (n) ise 2.1-2.4 aralığında bulundu. Tüm değerlendirmeler ve sonuçlar hem birbiri ile hem de literatür ile uyum içerisindedir.

Yansıtıcı yüzey kaplamalarında alttaş yüzeyine altının tutunmasını sağlayacak alternatif yöntemler kullanıldı. Ara tabaka olarak krom kullanımı, alttaş aşındırması ve tavlama yöntemlerinin hepsinde olumlu sonuçlar alındı. Farklı alttaşlar kullanılarak, farklı kalınlıklarda filmler; güç, alttaş sıcaklığı ve kaynak malzeme büyüme oranları değiştirilerek elde edildi. Tüm bu uygulamalar sonrasında morfolojik, optik ve elektriksel değerlendirmeler yapıldı.

Altın ve krom-altın filmlerin kalınlıkları profilometre ölçüm sonuçlarından 20 nm ile 130 nm aralığında; parçacık büyüklükleri XRD ölçüm ve analizleriyle 10 nm ile 50 nm aralığında gözlemlendi.

Altın ve krom-altın filmlerin yüzey pürüzlülükleri AKM ölçümleri sonucunda 0,30 nm ile 13 nm aralığında bulundu. Hacim öz dirençleri ise Van der Pauw yöntemi kullanılarak oda sıcaklığında yapılan yüzey öz direnç ölçümlerinin kalınlık ile çarpılması sonucunda  $2,3 \times 10^{-6}$  ohm cm ile  $6,9 \times 10^{-6}$  ohm cm aralığında hesaplandı.

Malzemeler üzerinde yapılan optik ölçüm sonuçlarında, yüksek yansımaya ve düşük geçirgenlik gözlemlendi. Geçirgenlik spektrumundaki maksimum değer altın tabakanın görünür bölgedeki yüzey plazmonik rezonans etkisine birde altın nanoparçacıkların boyutlarına ve dağılımlarına bağlı olarak değişen davranışlar sergiledi.

Uzay araçlarında güneş algılayıcısı olarak kullanılan elektro-optik sistemlerin çevresel şartlardan etkilendiği bilinmektedir. Bu tez çalışmasında, elektro-optik sistemlerin performansını artırabilmek amacıyla farklı yüzeyler üzerine yansımaya önleyici ve yansımaya artırıcı ince filmler geliştirilerek, kullanım amacına göre karakterize edildi.

Üretilen malzemelerden bazılarının alternatif uygulamalar için termal dayanıklılığı incelendi. Bu amaçla  $-20^{\circ}\text{C}$ 'den  $150^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar  $10^{\circ}\text{C}$ 'lik tekrarlarla 6 saat termal etkiye

maruz bırakılan malzemelerin optik kararlılığını koruduğu gözlemlendi. Bu durum üretilen malzemelerin; uzay uygulamalarında kullanılan algılayıcıların ilgili yörüngede yüksek ışınım ve radyasyondan korunması amacıyla kullanımı için idealdir. Ayrıca geliştirilen Au/Cr filmlerinin uzay araçları için ısı kalkan olarak kullanılacakları önerilmektedir.







## KAYNAKLAR

1. Lipinski, M. (2010). Silikon nitride for photovoltaic application. *Archives of Materials Science and Engineering*, 46(2), 69-87.
2. Zhao, J., Green, M. A. (1991). Optimized antireflection coatings for high-efficiency Si solar cells. *IEEE. Transactions on Electron Devices*, 38(8), 1925-1934.
3. Ishikawa, H., Shinkai, N., Sakata, H. (1980). Strength of glass with vacuum-deposited metal films: Cr, Al, Au and Ag. *Journal of Materials Science*, 15(2), 483-490.
4. Nashchekin, A. V., Pogumirskii, M. V., Rostokin, P. V., Sidorov, A. I., Shakhverdov, T. A. (2015). Specific Features of Thermal Dissolution of Silver and Gold Thin Films in Silicate Glass. *Physics of the Solid State*, 57(8), 1659–1665.
5. Dykman, L. A., Staroverov, S. A., Bogatyrev, V. A., Shchyogolev, S. Y. (2010). Adjuvant Properties of Gold Nanoparticles. *Nanotechnologies in Russia*, 5(11), 748–761.
6. Sömezoğlu, S., Koç, M., Akın, S. (2012). İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5), 389-401.
7. Çolakoğlu, K., (Editörler). (2002). *Fen ve Mühendislik İçin Fizik*, Ankara:Palme Yayıncılık, 1200-1202.
8. Kutz, M. (2005). *Handbook of Environmental Degradation of Materials*. Norwich, New York, U.S.A.: William Andrew Publishing, 465-466.
9. Wernham, D. (2011). Optical coatings in space. *SPIE Proceedings Advances in Optical Thin Films IV*, 8168.
10. Jaworske, D. A. (2015). Low Earth Orbit Environmental Durability of Recently Developed Thermal Control Coatings. *NASA/TM-2015-218712*.
11. De Parolis, M. N., Pinter-Krainer, W. (1996). Current and Future Techniques for Spacecraft Thermal Control 1. Design drivers and current technologies. *ESA Bulletin-European Space Agency*, 87, 73-83.
12. Langley, R. C. (1971). Gold Coatings for Temperature Control in Space Exploration. *Gold bulletin*, 4(4),62-66.
13. Ashley Taylor, J. J. (1991). The mechanical properties and microstructure of plasma enhanced chemical vapor deposited silicon nitride thin films. *Journal of Vacuum Science Technology A*, 9(4), 2464-2468.

14. Tijanić, Z., Ristić, D., Ivanda, M., Bogdanović-Radović, I., Marciuš, M., Ristić, M., Gamulin, O., Musić, S., Furić, K., Chiasera, A., Ferrari, M., Righini, G. C. (2012). Low Temperature Deposition of SiN<sub>x</sub> Thin Films by the LPCVD Method. *Croatica Chemica Acta*, 85(1), 97-100.
15. Liu, L., Liu, W., Cao, N., Cai, C. (2013). Study on The Performance of PECVD Silicon Nitride Thin Films. *Defence Technology*, 9(2013), 121-126.
16. Deshpande, S. V., Gulari, E., Brown, S. W., Rand, S. C. (1995). Optical properties of silicon nitride films deposited by hot filament chemical vapor deposition. *Journal of Applied Physics*, 77(12), 6534-6541.
17. Katzer, D. S., Meyer, D. J., Storm, D. F., Mittereder, J. A., Bermudez, V. M., Cheng, S. F., Jernigan, G. G., Binari, S. C. (2012). Ultra-high vacuum deposition and characterization of silicon nitride thin films. *Journal of Vacuum Science & Technology B*, 30(2), 02B129/1-02B129/9.
18. Molinar, M., Rinnert, H., Vergnat, M. (2000). Visible photoluminescence in amorphous SiN<sub>x</sub> thin films prepared by reactive evaporation. *Applied Physics Letters*, 77(22), 3499-3501.
19. Xu, G., Jin, P., Tazawa, M., Yoshimura, K. (2003). Optical investigation of silicon nitride thin films deposited by r.f. magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 425(2003), 196-202.
20. Ku, S.-L., Lee, C.-C. (2010). Optical and structural properties of silicon nitride thin films prepared by ion-assisted deposition. *Optical Materials*, 32, 956-960.
21. George, M. A., Glaunsinger, W. S., Thundat, T., Lindsay, S. M. (1990). Electrical, spectroscopic and morphological investigation of chromium diffusion through gold films. *Thin Solid Films*, 189(1990), 59-72.
22. Perumal, P. (2010). Surface plasmon resonance characteristics of Au/Cr Thin films grown on glass substrate. *Proceedings of 10th IEEE International Conference on Nanotechnology Joint Symposium with Nano Korea*.
23. Pierson, J. F., Wiederkehr, D., Billard, A. (2005). Reactive magnetron sputtering of copper, silver, and gold. *Thin Solid Films*, 478(2005), 196-205.
24. Axelevitch, A., Gorenstein, B., Golan, G. (2012). Investigation of Optical Transmission in Thin Metal Films. *Physics Procedia*, 32, 1-13.
25. Moazzez, B., O'Brien, S. M., Merschrod, S. E. F. (2013). Improved Adhesion of Gold Thin Films Evaporated on Polymer Resin: Applications for Sensing Surfaces and MEMS. *Sensors*, 13, 7021-7032.
26. Ranjgar, A., Norouzi, R., Zolanvari, A., Sadeg, H. (2014). Characterization and Optical Absorption Properties of Plasmonic Nanostructured Thin Films. *Armenian Journal of*

*Physics*, 6(4), 198-203.

27. Moody, N. R., Adams, D. P., Medlin, D., Headley, T., Yang, N., Volinsky, A. (2003). Effects of diffusion on interfacial fracture of gold-chromium hybrid microcircuit films. *International Journal of Fracture*, 119(120), 407-419.
28. Mouedden, Y. E., Alghamedi, R., Alam, M. N. E., Vasiliev, M., Alameh, K. (2012). Thin Film Coatings for Solar and Thermal Radiation Control Prepared by Physical Vapour Deposition. *High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET), 2012 9th International Conference on*, 083-086.
29. Al-Shukri, A. M. (2007). Thin film coated energy-efficient glass windows for warm climates. *Desalination*, 209(1-3), 290-297.
30. Furman, S. A., Tikhonravov, A. V. (1992). *Basics of Optics of Multilayer Systems*. Paris: Frontières, 20-22.
31. Hecht, E. (1998). *Optics (3rd Ed.)*. New York: Addison Wesley Longman, 418-423.
32. Macleod, H. A. (1986). *Thin-Film Optical Filters*. New York: McGraw-Hill, 12-23.
33. Tilley, R. (2000). *Colour and The Optical Properties of Materials*. John Wiley & Sons, 78-96.
34. Pedrotti, F. L., Pedrotti, L. S., Pedrotti L. M. (2007). *Introduction to Optics (third edition)*. USA: Pearson Education, Inc, Addison-Wesley, 210-215.
35. Hinczewski, D. S. (2008). *Optik Filtre Uygulamaları İçin Katmanlı ve Katkılı Metal Oksit Filmlerin Oluşturulması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-4.
36. Duyar, Ö. (2006). *Tam Yansıtıcı ve Hiç Yansıtmayan Çok Katmanlı Dielektrik Filmler*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 28-29.
37. Mack, I. (2008). *Development of Innovative Coatings for Sun Protection Glasses Based on the Theory of the Optimal Spectral Transmittance*, Doktora Tezi, Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel, Basel, 3.
38. Kılıç G. (2011). 18 Katmanlı İnterferans Filtrelerinin Geçirgenlik Özellikleri. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences*, 11(2011), 1-7.
39. Hammod H. Y., Khalid F. G., Fayadh R. S., Hussain N. L. (2013). Design of High Reflectivity Multilayers Laser Mirrors. *International Journal of Scientific Research*, 2(9), 403-404.
40. Silva, M. F., Ferreira, D. S., Ribeiro, J. F., Goncalves, L. M., Carmo, J. P., Silva, C. A., Minas, G., Correia, J. H. (2011). Design, simulation and fabrication of optical filters

for narrow band imaging in endoscopic capsules. In *MME2011 Conference*, 19-22.

41. Bauer, T., Lappschies, M., Schallenberg, U., Jakobs, S. (2011). Manufacturing and characterizing of all-dielectric band-pass filters for the short-wave infrared region. *SPIE Proceedings Advances in Optical Thin Films IV*, 8168.
42. AIRCO Coating Technology (1990). *Enhanced Front-Surface Aluminum Mirrors*.
43. Yanarcan Doğan, N. (2010). *Yer gözlem uydularında yansıtıcı ve yansıma engelleyici optik kaplamalar*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19-21.
44. Ohring, M. (1992). *The Materials Science of Thin Films*. London: Academic Press, 442-446.
45. Bass, M., Van Stryland, E. W., Williams D. R., Wolfe W. L. (Editörler). (1995). *HANDBOOK OF OPTICS Volume I Fundamentals, Techniques and Design*, New York:McGRAW-HILL, INC., 42.101-42.107.
46. Skoog, D. A., Holler, J. F., Niemi, T. A. (1992). *Principles of Instrumental Analysis (Fifth edition)*. Saunders College Publishing, 1-5.
47. Fujiwara, H. (2007). *Spectroscopic Ellipsometry Principles and Applications*. Tokyo, Japan: John Wiley&Sons, 1-5.
48. 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(2002), 133-145.
49. Schroder, D. K. (2006). *Semiconductor Material and Device Characterization (third edition)*. New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc. Publication, 8-10.
50. Morris, M. C., McMurdie, H. F., Evans, E. H., Paretzkin, B., Parker, H. S., Panagiotopoulos, N. C. (1981). *National Bureau of Standards (U.S.) Monograph*, 25(18), 59.
51. Norris, D., Rodriguez, M., Fukuda, S., Synder, R.(1990). *Powder Diffraction*, 5, 225.
52. Klug, H. P., Alexander, L. E. (1974). *X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*. New York: Wiley, 177-187.
53. Zhu, X., Sakka Y. (2008). Textured silicon nitride: processing and anisotropic properties. *Science and Technology of Advanced Materials*, 9(2008), 1-47.
54. Riley, F. L. (2000). Silicon nitride and related materials. *Journal of the American Ceramic Society*, 83(2), 245-265.

55. Lael-Cruz, A. L., Pech-Canul, M. I. (2009). Thermal and microstructural characterization of Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> decomposition- Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> formation by HYSYCVD in the Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> system. *The AZo Journal of Materials (AZojomo)*, 5.
56. Kshirsagara, A., Nyaupane, P., Bodas, D., Dutttagupta, S. P., Gangal, S. A. (2011). Deposition and characterization of low temperature silicon nitride films deposited by inductively coupled plasma CVD. *Applied Surface Science*, 257(11), 5052-5058.
57. Debieu, O., Nalini, R. P., Cardin, J., Portier, X., Perriere, J., Gourbilleau, F. (2013). Structural and optical characterization of pure Si-rich nitride films. *Nanoscale Research Letters*, 8(31),1-13.
58. Parsons, G. N., Souk, J. H., Batey, J. (1991). Low hydrogen content stoichiometric silicon nitride films deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition. *Journal of Applied Physics*, 70(3), 1553-1560.
59. Scardera, G., Puzzer, T., Conibeer, G., Green, M. A. (2008). Fourier transform infrared spectroscopy of annealed silicon-rich silicon nitride thin films. *Journal of Applied Physics*, 104, 104310/1-104310/7.
60. Yoo, J., Dhungel, S. K., Yi, J. (2007). Annealing optimization of silicon nitride film for solar cell application. *Proceedings of Symposium I on Thin Films for Large Area Electronics EMRS 2007 Conference-EMRS 2006-Symposium I*, 515(19), 7611-7614.
61. Nalini, R. P., Dufour, C., Cardin, J., Gourbilleau, F. (2011). New Si-based multilayers for solar cell applications. *Nanoscale Research Letters*, 6(156), 1-5.
62. Tijanić, Z., Ristić, D., Ivanda, M., Bogdanović-Radović, I., Marciuš M., Ristić, M., Gamulin, O., Musić, S., Furić, K., Chiasera, A., Ferrari, M., Righini, G. C. (2012). Low Temperature Deposition of SiN<sub>x</sub> Thin Films by the LPCVD Method. *Croatica Chemica Acta*, 85(1), 97–100.
63. Pankove, J. I. (1971). *Optical Processes in Semiconductors*. New York: Dover Publications Inc., 76-78.
64. Jurbergs, D., Rogojina, E., Mangolini, L., Kortshagen, U. (2006). Silicon nanocrystals with ensemble quantum yields exceeding 60%. *Applied Physics Letters*, 88, 233116/1-233116/3.
65. Kubelka, P., Munk, F. (1931). Ein Beitrag Zur Optik der Farbanstriche. *Zeitschrift fur technische Physik*, 12, 593-601.
66. Morales, A. E., Mora, E. S., Pal, U. (2007). Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanostructures. *Revista Mexicana De Fisica*, 53(5), 18-22.
67. Mohammed, S., Nimmo, M. T., Malko, A. V., Hinkle, C. L. (2014). Chemical bonding and defect states of LPCVD grown silicon-rich Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for quantum dot applications.

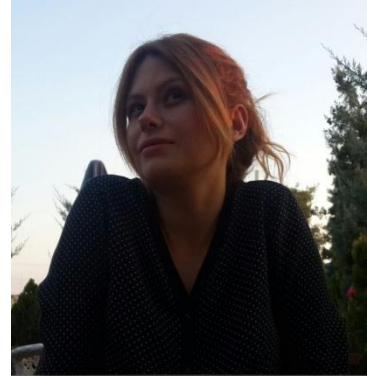
*Journal of Vacuum Science & Technology A*, 32, 021507.

68. Liu, Y., Zhou, Y., Shi, W., Zhao, L., Sun, B., Ye, T. (2004). Study of photoluminescence spectra of Si-rich SiNx films. *Materials Letters*, 58(19), 2397-2400.
69. Jellison, G. E., Modine, F. A. (1996). Parameterization of the optical functions of amorphous materials in the interband region. *Applied Physics. Letters*, 69(3), 371-373.
70. Rossnagel, S. M., Nichols, C., Hamaguchi, S., Ruzi, D. (1996). Thin, high atomic weight refractory film deposition for diffusion barrier, adhesion layer, and seed layer applications. *Journal of Vacuum. Science & Technology B*, 14, 1819-1827.
71. Huang, T., Parrish, W., Masciocchi, N. and Wang, P. (1990). *Advances in X-Ray Analysis*, 33, 295.
72. Swanson, H. E. (1953). *National Bureau of Standards (U.S.)*, 539, 33.
73. Klimov, V. (2013). *Nanoplasmonics*. Moscow: Pan Stanford Publishing, 85-91.
74. Hong, Y., Huh, Y.-M., Yoon, D. S., Yang, J. (2012). Nanobiosensors Based on Localized Surface Plasmon Resonance for Biomarker Detection. *Journal of Nanomaterials*, 2012(2012), 1-13.
75. Oates, T. W. H., Wormeester, H., Arwin, H. (2011). Characterization of plasmonic effects in thin films and metamaterials using spectroscopic ellipsometry. *Progress in Surface Science*, 86(11-12), 328-376.
76. Hutter, E., Fendler, J. H. (2004). Exploitation of Localized Surface Plasmon Resonance. *Advanced Materials*, 16(19), 1685-1706.
77. Ghosh, S. K., Pal, T. (2007). Interparticle Coupling Effect on the Surface Plasmon Resonance of Gold Nanoparticles: From Theory to Applications. *Chemical Reviews*, 107(11), 4797-4862.
78. Ringe, E., Langille, M. R., Sohn, K., Zhang, J., Huang, J., Mirkin, C. A., Van Duyne, R. P., Marks, L. D. (2012). Plasmon Length: A Universal Parameter to Describe Size Effects in Gold Nanoparticles. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 3(11), 1479-1483.
79. Swanson, H. E. (1955). *National Bureau of Standards (U.S.)*, 539, 20.
80. Huang, Y., Qiu, H., Wang, F., Pan, L., Tian, Y., Wu, P. (2003). Effect of annealing on the characteristics of Au/Cr bilayer films grown on glass. *Vacuum*, 71(4), 523-528.
81. Weinman, L. S., Orent, T. W., Liu, T. S. (1980). Auger study of Cr/Au thin films deposited on alumina and sapphire. *Thin Solid Films*, 72(1), 143-150.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAŞKÖSE, Ümran Ceren  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 22.05.1984, Ankara  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (312) 202 12 32  
 e-mail : cerenbaskose@gazi.edu.tr



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	2007
Lise	Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi / Almanca	2002

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2011	Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü Laboratuvarları	Öğrenci Asistan
2012-2016	Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi	Araştırmacı

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

### Yayınlar

Science Citation Index Tarafından Taranan Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Başköse, U. C., Bayarı, S. H., Sağlam, S., Özışık, H. (2012). Theoretical investigation of the Anti-Parkinson drug rasagiline and its salts: conformations and infrared spectra. *Central European Journal of Chemistry*, 10(2), 395-406.

2. Bas, Y., Demirel, P., Akın, N., Başköse, C., Özen, Y., Kınacı, B., Öztürk, M. K., Özçelik, S., Özbay, E. (2014). Microstructural defect properties of InGaN/GaN blue light emitting diode structures. *J Mater Sci: Mater Electron*, 25, 3924-3932.
3. Pashaei, P., Akin, N., Baskose U. C., Ozturk, M. K., Cakmak M., Ozcelik, S. (2015). Influence of substrate temperature on structural and optical properties of RF sputtered ZnMnO thin films. *Semiconductors*, 49(6), 799-803.
4. Akin, N., Baskose, U. C., Kinaci, B., Cakmak, M., Ozcelik S. (2015). AZO thin film-based UV sensors: effects of RF power on the films. *Applied Physics A*, 119, 965–970.
5. Asar, T., Başköse, Ü. C., Kızılkaya, K., Efkere, H. İ., Özçelik, S. (2015). Efficiency Improvement of Quantum Well Solar Cell With The AuGeNi Metallization and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ARC Design. *Philosophical Magazine*, 95(34), 3809-3822.

#### Ulusal ve Uluslar Arası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Doğan, Ş., Akın, N., Başköse, C., Asar, T., Memmedli T., Özçelik, S. (2013). Porous Silicon: Volume-Specific Surface Area Determination from AFM Measurement Data. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 3(8), 518-523.
2. Doğan, Ş., Şirinov, M., Başköse, C., Akın, N., Asar, T., Pişkin, E., Memmedli, T., Özçelik, S. (2013). Stable Blue Luminescence of Porous Silicon. *Journal of Materials Science and Engineering A*, 3(9), 609-614.
3. Akın, N., Baskose, U.C., Efkere, H.I., Sağlam, S., Cetin, S.S., Ozcelik, S. (2014). Structural and Optical Properties of Reactive Sputtered ZnO Thin Films on Flexible-Transparent Substrates. *Gazi University Journal of Science*, 27(4), 1111-1114.

#### Ulusal ve Uluslar Arası Kongre ve Sempozyum Tebliğleri

1. Başköse, Ü. C., Çetin, S. Ş., Efkere, H. İ., Özen, Y., Sağlam, S., Memmedli, T., Özçelik, S. (2012, 05 Eylül). *Structural and Optical Properties of the SiNx Thin Film on*



- p-type Si substrates*. Uluslararası Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Kongresi, Muğla, Türkiye.
2. Efkeri, H. İ., Özen, Y., Başköse, Ü. C., Çetin, S. Ş., Sağlam, S., Memmedli T., Özçelik, S. (2012, 05 Eylül). *Structural and Optical Properties of the SiNx Thin Film on Glass substrates*. Uluslararası Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Kongresi, Muğla, Türkiye.
  3. Başköse, Ü. C., Kurtuluş, G., Çetin, S. Ş., Sağlam, S., Özçelik, S. (2013, 17 Eylül). *Structural and Optical Properties of Si3N4 Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering*. Uluslararası TURCMOS2013, İstanbul, Türkiye.
  4. Bayarı, S. H., Sağlam, S., Başköse, Ü. C. (2013, 19 Eylül). *FTIR and DFT Quantum Chemical Studies on aurin*. Uluslararası TURCMOS2013, İstanbul, Türkiye.
  5. Başköse, Ü. C., Sağlam, S., Özçelik, S. (2013, 20 Aralık). *Yansıma Engelleyici Silisyum Nitrid (Si3N4) İnce Film Tabakanın Galyum Arsenik (GaAs) Alttaşı Üzerine Kaplanması ve Karakterizasyonu*. 19. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı, Ankara.
  6. Doğan, Ş., Akın, N., Başköse, Ü. C., Memmedli, T., Özçelik, S. (2013, 20 Aralık). *Gözenekli Silikon Üretimi ve Karakterizasyonu*. 19. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı, Ankara.
  7. Baş, Y., Akın, N., Başköse, Ü. C., Öztürk, M. K., Özçelik, S., Özbay, E. (2014, 17-21 Haziran). *Structural, optical and morphological properties of InGaN/GaN blue light emitting diode structure*. NANOTR10, İstanbul.
  8. Başköse, Ü.C., Akın, N., Boyalı, E., Sağlam, S., Özçelik, S. (2015, 24-27 Ağustos). *Characterization and Adhesion Studies of Sputtered Thin Gold Films on Sapphire: Effects of Substrate Surface Pretreatments*. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union – BPU9, İstanbul, Türkiye.

9. Boyalı, E., Başköse, Ü.C., Asar, T., Kasap, M., Özçelik, S. (2015, 24-27 Ağustos). “Electrical, Optical and Structural Properties of SnO<sub>2</sub> Thin Films. 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union – BPU9, İstanbul, Türkiye.
10. Başköse, Ü. C., Özçelik S. (2015, 14-15 Aralık). *Uzay Kalifiye Optik Kaplama Geliştirilmesi*. Uzay Kalifiye Malzeme Teknolojileri Sempozyumu, Askeri Müze ve Kültür Sitesi Komutanlığı, İstanbul.

### **Hobiler**

Tarım ve Seyahat





*GAZİ GELECEKTİR..*