

Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Organik Gözlük
Camlarının Çeşitli Kaplamalarının Yapılması ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin
İncelenmesi

Murat Özmumcu

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Ağustos 2011

Deposition of Organic Lenses with a Special Thermionic Vacuum Arc (TVA)
Technique and
Investigation of Physical Properties

Murat Özmumcu

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

August 2011

Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Organik Gözlük Camlarının
Çeşitli Kaplamalarının Yapılması ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Murat ÖZMUMCU

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

Danışman: Prof. Dr. Naci EKEM

Ağustos 2011

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Murat ÖZMUMCU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Organik Gözlük Camlarının Çeşitli Kaplamalarının Yapılması ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Naci EKEM

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Naci EKEM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat PAT

Üye : Yrd .Doç. Dr. M. Zafer BALBAĞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şadan KORKMAZ

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Gelişen optik sektörüyle beraber kullanıcıların ihtiyaçlarına göre organik gözlük camları yüzeylerine farklı amaçlarla birçok kaplama yapılmaktadır. Bu kaplamalar arasında Anti-Refle (AR) kaplamalar önemli bir yer tutmaktadır. AR kaplamalar gözlük camlarında oluşan yansımaları azaltıp ışık geçirgenliğini artırarak gözlük kullanıcılarına daha net bir görüş imkânı sağlayan özel kaplamalardır.

Gözlük camları üzerine AR kaplama yapma amacıyla endüstride Termal Buharlaştırma Tekniği ve Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği başta olmak üzere birçok teknik kullanılmaktadır. Tez çalışmamızda bu tekniklerden farklı olan ve çeşitli malzemelerin; ince filmlerinin üretilmesi, değişik alttaşlar üzerine kaplamalarının yapılması amacıyla geliştirilen Termiyonik Vakum Ark (TVA) Sistemi kullanılmıştır.

TVA Sistemi ile organik gözlük camları üzerine çeşitli tek katmanlı AR kaplamalar yapılmış, üretilen AR kaplamaların bazı fiziksel özellikleri analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Deney öncesi ise “TFCalc 3.5.6 Thin Film Design Demo” isimli optik modelleme programı ile yapılacak AR kaplamaların optik dizaynı yapılmıştır. AR kaplaması yapılmış organik gözlük camlarının kalınlık, kırılma indisi, yansıma ve geçirgenlik değerleri ayrıca atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anti-Refle (AR) Kaplamalar, Termiyonik Vakum Ark (TVA)

SUMMARY

Many coatings on organic lenses have been used for different aims according to personal requirement in developing optic industry. Anti-Refle (AR) coatings are important among these coatings. AR coatings are special coatings for clear vision at high transmittance due to decreased reflection of organic lenses.

For the AR coatings, especially Thermal Evaporation Technique, Electron Beam Evaporation Technique and many techniques have been used in ophthalmic industries. Thermionic Vacuum Arc (TVA) System which has developed for producing various materials thin films, coatings on different substrates and different from these techniques, was used in our thesis study.

Various AR coatings as mono layer on organic lenses were produced by TVA System and analyzed some physical properties then results were investigated. Before the coatings, TFCalc 3.5.6 Thin Film Design Demo software was used for optical designs of AR coatings. Thickness, refractive index, reflections and transmittances of the AR coated organic lenses were determined and atomic force microscopy (AFM) and scanning electron microscopy (SEM) images were also taken.

Keywords: Anti-Refle (AR) Coatings, Thermionic Vacuum Arc (TVA)

TEŞEKKÜR

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

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

Çalışmalarım esnasında her zaman bana yardımcı olan ve destekleyen, iyi ve kötü günleri birlikte paylaştığımız çok değerli mesai arkadaşlarım, Sayın Sinan TEMEL, Sayın Saliha ELMAS, Sayın Murat NEBİ' ye ayrıca bana her konuda moral veren, yanımda olan çok değer verdiğim Sayın Barlas ÇINAR' a ve Sayın Mehmet BALKIR' a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, zor günlerimde beni destekleyen, canım kardeşim, ev arkadaşım Sayın N.Emre ÇETİN' e teşekkür ederim. Bana destek olan, beni büyütüp yetiştiren ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, çok değer verdiğim, sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Bu tez TÜBİTAK 108M608 nolu “Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Gözlük Camlarına Çeşitli Kaplamaların Yapılması ve Bazı Fiziksel ve Optik Özelliklerin İncelenmesi” isimli proje ile desteklenmiştir.

Murat ÖZMUMCU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1.BÖLÜM: GİRİŞ	1
2.BÖLÜM: GÖZLÜK CAMLARI VE GÖZLÜK CAMLARI ÜZERİNE UYGULANAN YÜZEY İŞLEMLERİ	4
2.1 Gözlük Camı	4
2.2 Gözlük Camlarının Sınıflandırılması	4
2.2.1 Yapıldıkları Ham Maddelere Göre Gözlük Camları.....	4
2.2.1.1 Mineral Gözlük Camları	4
2.2.1.2 Organik Gözlük Camları.....	6
2.2.1.3 Polikarbonat Gözlük Camları.....	8
2.2.2 Odak Noktalarına Göre Gözlük Camları.....	9
2.2.2.1 Tek odaklı (monofokal) gözlük camları.....	9
2.2.2.2 İki odaklı (bifokal) gözlük camları.....	9
2.2.2.3 Üç odaklı (trifokal) gözlük camları	8
2.2.2.4 Çok (çoklu) odaklı (multifokal) gözlük camları.....	8
2.3 Gözlük Camları Üzerine Uygulanan Yüzey İşlemleri	11
2.3.1 Sert Kaplamalar	11
2.3.1.1 Daldırma Yöntemi ile Yapılan Sert Kaplama	12
2.3.1.2 Rotasyon (spin-coating) Yöntemi ile Yapılan Sert Kaplama	12

İÇİNDEKİLER (devam)

2.3.2 Yansıma Önleyici, Anti-Refle (AR) Kaplamalar	13
2.3.3 Koruyucu Kaplamalar	13
2.3.4 Gözlük Camlarında Renklendirme	15
3.BÖLÜM: ANTI-REFLE (AR) KAPLAMALAR	16
3.1 Anti-Refle (AR) Kaplamalar ve Özellikleri	16
3.2 AR Kaplama Uygulamaları ve AR Kaplamanın Optiksel Kullanımı	19
3.3 AR Kaplamalı Yüzeylerin AR Kaplamasız Yüzeyle Göre Avantajları	21
3.4 Yansıma	22
3.4.1 Gözlük Camlarında Yansıma	24
3.4.1.1 Arka Yansımalar	25
3.4.1.2 Korneadaki Yansımalar	25
3.4.1.3 İç Yansımalar	26
3.4.1.3 Ön Taraftaki Yansımalar	26
3.5 AR Kaplama Çeşitleri	27
3.5.1 Tek Katmanlı AR Kaplamalar.....	28
3.5.2 İki ve Çok Katmanlı AR Kaplamalar.....	29
3.5.3 Emici AR Kaplamalar.....	30
4.BÖLÜM: AR KAPLAMALAR TEKNİKLERİ.....	31
4.1 Termal Buharlaştırma Tekniği	31
4.2 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği	33

İÇİNDEKİLER (devam)

5.BÖLÜM: TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ.....	38
5.1 Giriş.....	38
5.2 TVA Sistemi	40
5.3 TVA' nın Elektrotlar Sistemi.....	47
5.4 TVA Deşarj.....	49
5.4 TVA ile Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri.....	54
6.BÖLÜM: TVA TEKNİĞİ İLE ORGANİK GÖZLÜK CAMLARINA ÇEŞİTLİ KAPLAMALARIN YAPILMASI	59
6.1 TVA Tekniği ile Organik Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı MgF ₂ Kaplanması	60
6.2 TVA Tekniği ile Organik Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı SiO ₂ Kaplanması	68
6.3 TVA Tekniği ile Organik Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı SiO ₂ Kaplanması	74
7.BÖLÜM: SONUÇ VE TARTIŞMA.....	81
8.BÖLÜM: KAYNAKLAR DİZİNİ	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Organik camın mercek olarak elde edilmesinin aşamaları.....	6
2.2 İki odaklı bir gözlük camından görüş.....	9
2.3 Daldırma Yöntemi.....	12
2.4 Spin Coating Yöntemi.....	13
2.5 Koruyucu kaplaması olan ve olmayan yüzeylerde kir ve toz taneciklerinin yüzey tutunmaları.....	14
2.6 Koruyucu kaplaması olan ve olmayan yüzeyler üzerinde bir su damlasının yüzey tutunmaları.....	15
2.7 Hidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camlar.....	15
3.1 AR kaplamalı ve kaplamasız gözlük camları arasındaki fark.....	17
3.2 AR kaplaması olmayan bir gözlük kullanıcısının otomobil kullanırken dışarıyı görüşü.....	19
3.3 AR kaplamalı bir gözlük kullanıcısının otomobil kullanırken dışarıyı görüşü.....	19
3.4 45° ve 0° lik açılarla AR kaplamalı bir camın görünüşleri ve renk etkisi...	20
3.5 AR kaplamalı güneş panelleri.....	21
3.6 AR kaplamalı ve kaplamasız gözlük kullanıcısının otomobil kullanırken dışarıyı görüşü.....	22
3.7 a- Düzgün yansıma b-Dağınık yansıma.....	23
3.8 Kaplamalı ve kaplamasız bir cam yüzeyine gelen I şiddetindeki bir ışının hava/cam ara yüzeyinden, hava/kaplama ve kaplama/cam ara yüzeyinden yansıma ve geçirgenlik davranışları.....	24
3.9 Gözlük camının arka yüzeyindeki yansımalar.....	26
3.10 Korneadan gözlük camına yansıyan ışınlar.....	27
3.11 Gözlük camı içerisinde meydana gelen yansımalar.....	27
3.12 Gözlük camının ön tarafından gelen ışınların ön ve arka yüzeyde yansımaları.....	28
3.13 Geçirgen taban üzerine kaplanmış tek katmanlı AR kaplamanın şematik gösterimi.....	29
3.14 AR kaplamalı objektifler.....	30
4.1 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi.....	32
4.2 Termal buharlaştırma sistemin genel şematik gösterimi.....	33
4.3 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi.....	35
4.4 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin vakum odasının şematik gösterimi.....	36
4.5 AR kaplama amacıyla endüstride kullanılan vakumda buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.....	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1	TVA Sisteminin fotoğrafı..... 40
5.2	Termiyonik Vakum Ark (TVA) Sisteminin şematik gösterimi..... 42
5.3	Doğrudan ısıtmalı katodun şematik gösterimi..... 43
5.4	Doğrudan ısıtmalı katodun (elektron tabancası) fotoğrafı..... 43
5.5	Ampermetre ve voltmetreler sitemi..... 46
5.6	Kapayıcı ile birlikte elektron tabancası ve potanın düzenlenişi..... 47
5.7	TVA Sisteminde kullanılan gözlük camı tutucusu ve sistemdeki düzenlenişi..... 48
5.8	Doğrudan ısıtmalı katot ile TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi..... 48
5.9	TVA Sisteminde pota ve elektron tabancasının konumlandırılmasının fotoğrafı..... 49
5.10	TVA'da deşarj öncesinde tungsten potadaki katı haldeki materyal..... 51
5.11	TVA'da katı haldeki materyalin elektron bombardımanı yardımıyla sıvı hale geçmesi..... 51
5.12	TVA'da oluşan sıvı materyalin elektron bombardımanı ile gaz haline geçmesi..... 52
5.13	TVA'da gaz haline geçen materyalin elektron bombardımanın devam etmesiyle plazma haline geçmesi..... 52
5.14	TVA Sisteminde AlF_3 ün plazması..... 53
5.15	TVA Sisteminde MgF_2 ün plazması..... 53
5.16	TVA ile üretilen ince filmlerin tane boyutu grafiği..... 57
5.17	TVA ile üretilen karbon ince filmin AFM görüntüsü..... 57
5.18	TVA ile üretilen $Ag-Al_2O_3$ nano katmanlı kompozitin SEM görüntüsü..... 58
5.19	TVA'da üretilen tungsten ince filmin AFM görüntüsü..... 59
6.1	TFC programı ile modellenmiş 4 katmanlı TiO_2-MgF_2 kaplamasının yansıma grafiği..... 60
6.2	TFC programı ile modellenmiş 4 katmanlı TiO_2-MgF_2 kaplamasının geçirgenlik grafiği..... 61
6.3	TVA Sisteminde kullanılan 1mm ve 0,5mm lik tungsten filamentler..... 62
6.4	TVA Sisteminde kullanılan yüksek erime sıcaklığına dayanıklı tungsten pota..... 63
6.5	TVA'da oluşan deşarjın şematik gösterimi..... 63
6.6	Tek katmanlı MgF_2 kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş geçirgenlik spektrumları..... 64
6.7	Tek katmanlı MgF_2 kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş yansıma değerleri..... 65

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
6.8	Tek katmanlı MgF ₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi değerleri.....	66
6.9	Tek katmanlı MgF ₂ kaplı OGC lerin iki boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm).....	67
6.10	Tek katmanlı MgF ₂ kaplı OGC lerin üç boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm).....	67
6.11	Tek katmanlı MgF ₂ kaplı OGC lerin yüzey pürüzlülüğü analizi (4000 nm x 4000 nm).....	68
6.12	Tek katmanlı MgF ₂ kaplı OGC lerin 250 büyütmede SEM görüntüsü.....	69
6.13	Tek katmanlı SiO ₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş geçirgenlik spektrumları.....	71
6.14	Tek katmanlı SiO ₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş yansıma değerleri.....	72
6.15	Tek katmanlı SiO ₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi değerleri.....	72
6.16	Tek katmanlı SiO ₂ kaplı OGC lerin iki boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm).....	73
6.17	Tek katmanlı SiO ₂ kaplı OGC lerin üç boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm).....	73
6.18	Tek katmanlı SiO ₂ kaplı OGC lerin yüzey pürüzlülüğü analizi (4000 nm x 4000 nm).....	74
6.19	Tek katmanlı SiO ₂ kaplı OGC lerin 2000 büyütmede SEM görüntüsü.....	74
6.20	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş geçirgenlik spektrumları.....	77
6.21	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş yansıma değerleri.....	78
6.22	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi değerleri.....	78
6.23	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplı OGC lerin iki boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm).....	79
6.24	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplı OGC lerin üç boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm).....	79
6.25	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplı OGC lerin yüzey pürüzlülüğü analizi (4000 nm x 4000 nm).....	80
6.26	Tek katmanlı ZrO ₂ kaplı OGC lerin 5000 büyütmede SEM görüntüsü.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Çeşitli elementler ve gerekli pota materyali	43
5.2 TVA ile üretilen karbon ince filmlerin XRD sonuçları	57
6.1 MgF ₂ için TVA Sisteminin çalışma parametreleri.....	62
6.2 MgF ₂ ün kırılma indisi, termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime noktası değerleri	63
6.3 SiO ₂ için TVA Sisteminin çalışma parametreleri.....	69
6.4 SiO ₂ in kırılma indisi, termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime noktası değerleri	69
6.5 ZrO ₂ için TVA Sisteminin çalışma parametreleri.....	75
6.6 ZrO ₂ in kırılma indisi, termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime noktası değerleri.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Amper
° C	Santigrad derece
° K	Kelvin derece
ϕ	Fi açısı
cm ³	Santimetreküp
g	Gram
I	Işık şiddeti
I _F	Filament Akımı
I _B	Bombardıman Akımı
mb	Milibar
mm	Milimetre
mT	Militesla
n ₀	Havanın kırılma indisi
n _S	Camın kırılma indisi
n ₁	AR kaplamasının kırılma indisi
n	Kırılma indisi
nm	Nanometre
P	Basınç
R	Yansımaya değeri
T	Geçirgenlik değeri
t	Zaman
V	Volt
W	Watt

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AB	Avrupa Birliği
AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AR	Anti-Refle
CD	Kompakt Disk
DLC	Elmas benzeri karbon
DC	Doğru akım
ESOGÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
et al.	Ve diğerleri
INFLPR	Natioanal Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics
IR	Kızılötesi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TFC	TFCalc. 3.5.6 Thin Film Design
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TV	Televizyon
TVA	Termiyonik Vakum Ark
OGC	Organik gözlük camı
UV	Ultraviyole
vb.	Ve benzeri
vs.	Vesaire
XRD	X-ışınları Difraksiyonu

1. GİRİŞ

Gözlük ve gözlük camlarının gelişimi yıllar öncesine dayanmaktadır. Küçük bir nesneyi daha büyük göstermek için küresel bir ögenin kullanılması gerektiği bilincine varılarak göz önüne ilk defa mercekler tutularak net görüntü sağlanmıştır. 13.yy'dan sonra gözlük camları traşlanarak ilk defa çerçeveye yerleştirilmiş ve birleştirilerek kullanılmıştır. 16. yy'dan sonra gözlükler çerçeveye monte edilip yüze takılmaya başlanmıştır (Aksak ve Küçüker, 2005).

Gözlüğün insan sağlığı açısından faydalarının anlaşılması ile birlikte renkli camlar üreilmeye başlanmış ve 15.yy sonlarına doğru güneşin parlak ışınlarından korunmak amacıyla güneş gözlükleri kullanılır hale gelmiştir. Aşama aşama ilerleyen ve gittikçe daha da gelişen gözlük camları ve çerçeveleri günümüzde modern şeklini almıştır (Aksak ve Küçüker, 2005).

Gözlüğün asli kullanım amacı, görme bozukluğunu gidermek ya da gözleri dış etkenlerden korumaktır. Miyop, hipermetrop ya da astigmat gibi göz bozukluklarında, duruma göre yakını ya da uzağı görmeyi sağlayan gözlük, aynı zamanda güneş ışığı parlaklığı, UV gibi Elektromanyetik ışınımlardan koruma amaçlı olarak kullanılmaktadır (<http://tr.wikipedia.org/wiki/gözlük>).

Gözlük kullanma oranı gelişmiş ülkelerde % 55 civarında olurken, Türkiye'de bu oran ne yazık ki % 18'ler civarındadır. Türkiye'de gözlük kullanımının yetersiz olmasının en önemli nedeni, halkın göz sağlığı ve gözlük kullanımı konusunda yeterli bilgi sahibi olmayışıdır. Bunun yanı sıra gerek Kamu kuruluşları, gerekse özel kuruluşlar tarafından göz taramaları yapılmamaktadır. Nüfusa göre sayıları az olan göz doktorları özellikle gelişmiş olan yerlerde çalışmaktadırlar.

Gözlük camlarının yüzeylerine, gözü zorlayan parlak ışığın şiddetinin azaltılması, gözlük camlarının çizilmesinin önlenmesi, göze gelen ışığın kontrastını arttırıp keskin görüş sağlanması, gözlerin güneşin zararlı ışınlarından korunması, gözlük camına gelen ışığın yansımalarının azaltılması gibi birçok nedenden dolayı farklı kaplamalar yapılır. Yansımanın azaltılması amacıyla yapılan kaplamalar Anti-Refle (AR) kaplamalardır.

Gözlük camlarına gelen ışınların bir kısmı kırılır, bir kısmı emilir, bir kısmı da yansıma olarak geri döner. Bu yansımalar, gözlük camının hem iç yüzeyinde, hem de dış yüzeyinde meydana gelir. Camın yüzeylerinde oluşan bu yansımalar nedeniyle camdan geçerek göze gelen ışık miktarı ve dolayısıyla net görüş oldukça azalır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için gözlük camlarına yansıma önleyici AR kaplamalar yapılır. Yaklaşık olarak kaplaması olmayan bir gözlük camında %4-%6 oranlarında ışık yansıması meydana gelirken AR kaplama ile bu oran % 1 in altına düşürülebilir.

AR kaplamalar optik sanayinde vakumda buharlaştırma, elektron demetli (e-beam) buharlaştırma vb. birçok teknikle yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında sanayideki tekniklerden farklı olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği, organik gözlük camlarına AR kaplama yapmak için ilk defa uygulanmıştır.

TVA tekniği temel olarak anot materyalinin buharlaştırılmasına dayalı bir tekniktir. Bu teknikle şimdiye kadar birçok materyalin (bakır, gümüş, alüminyum, kalay, altın, nikel, alümina, zirkonyum oksit, bor, karbon, renyum, molibden, tantalyum, tungsten, berilyum gibi) plazması üretilmiş ve bu materyallerin ince filmleri ya da kalın kaplamaları yapılabilmektedir. Ayrıca TVA tekniği ile alaşım, yarı iletken ya da süper iletkenlerin ince filmlerinin üretilmesi de mümkün olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında organik gözlük camlarına TVA Tekniği ile çeşitli tek katmanlı AR kaplamaları yapılmış ve bazı optiksel-fiziksel özellikleri incelenmiştir. Kaplama öncesi TFCalc 3.5.6 Thin Film Design Demo (TFC) optik modelleme programı ile organik gözlük camlarına yapılacak AR kaplamaların optik modellemeleri ve kalınlıkları hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında üç malzemenin (MgF_2 , SiO_2 ve ZrO_2) TVA Tekniği ile organik gözlük camlarına tek katmanlı kaplamaları

yapılmıştır. Organik camlar üzerine TVA Tekniği ile üretilen tek katmanlı AR kaplamalarının geçirgenlik, yansıma, kırılma indisi, kalınlık, AFM görüntüleri ve SEM analizleri alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.GÖZLÜK CAMLARI VE GÖZLÜK CAMLARI ÜZERİNE UYGULANAN YÜZEY İŞLEMLERİ

2.1 Gözlük Camı

Türk Dil Kurumu, gözlüğü: "Görme bozukluğu olan gözlerin daha iyi görmesine veya gözleri korumaya yarayan, bir çerçeveye yerleştirilmiş çift camdan oluşan araç" şeklinde tanımlar (Türk Dil Kurumu Sözlüğü,2010).

Gözlük camı, ışığı istenilen şekilde odaklamaya yarayan, iki yüzeyi de işlenmiş, saydam, optik kalitesi olan bir materyaldir. Gözlükçülükte, gözlük camı terimi yerine lens terimi kullanılmaktadır. Fizikte ise, gözlük camı yerine mercek terimi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çok geniş bir spektrumda kullanılan mercek terimi ve optisyenlikte kullanılan lens terimi yerine sadece gözlük camı terimi kullanılmıştır.

2.2 Gözlük Camlarının Sınıflandırılması

Gözlük camları yapıldıkları ham maddelere göre; Mineral, Organik ve Polikarbonat Gözlük Camları olmak üzere üç çeşittir. Odak noktalarına göre ise gözlük camları dört çeşittir: Tek Odaklı (Monofokal) Gözlük Camları, İki Odaklı (Bifokal) Gözlük Camları, Üç Odaklı (Trifokal) Gözlük Camları ve Çok Odaklı (Mülfokal) Gözlük Camları.

2.2.1 Yapıldıkları Ham Maddelere Göre Gözlük Camları

2.2.1.1 Mineral gözlük camları

Mineral kelime anlamı olarak; doğal şekilde oluşan, homojen, belirli kimyasal bileşime sahip ve belirli bir kristal öz yapıları olan inorganik, kristalleşmiş katı cisimlere verilen addır (http://www.ebilge.com/79836/Mineral_nedir.html). Mineral gözlük camları doğal silis kumunun fabrikalarda eritilip dökülmesiyle oluşturulan

camdır. Mineral gözlük camları, ışık geçirgenliği yüksek, renksiz, kokusuz, sıcağa ve atmosferik etkilere karşı dayanıklı, kolay matlaşmayan, kolay çizilmeyen bir gözlük camı çeşididir (Temel S., 2010).

En çok kullanılan gözlük camı olan mineral gözlük camının içeriği şöyledir: %70 Silisyum Oksit (SiO_2), %10 Kalsiyum Oksit (CaO), %3 Baryum Oksit (BaO), %9 Sodyum Oksit (Na_2O) ve %8 Potasyum Oksittir (K_2O). Camın hammaddesine çeşitli mineraller eklenerek kırılma indisi farklı camlar elde edilebilir. Gözlük camları üzerine gelen ışınları yollarından saptırma miktarını lensin “diyoptrik gücü” olarak tanımlanmaktadır (Aksak ve Küçüker, 2005). Gözlük camının kırılma indisi yükseldikçe Abbe sayısı küçülmekte, dispersiyon (renk ayrışması) ve yansımalar artmaktadır. Cam üretiminde hedeflenen her zaman az yoğunluk, yüksek kırıcılık ve yüksek Abbe değeridir.

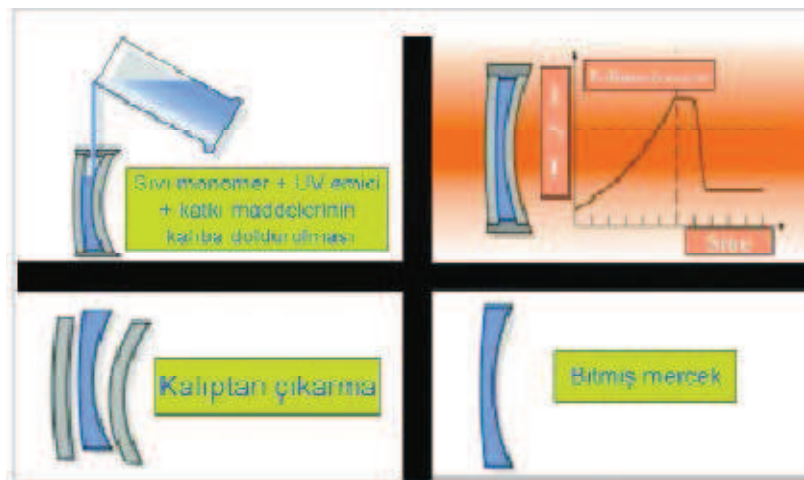
Mineral gözlük camlarının organik gözlük camlarına göre bazı özellikleri şöyledir ;

- Ağırdır
- Kolay çizilmez
- Kırılmalıdır
- Şeffaflığı iyidir
- Yansıtıcılığı fazladır
- Kolay buğulanır
- Kolay toz tutmaz
- Temizlemesi kolaydır
- Birçok kimyasal maddeden etkilenmez
- Güneşin zararlı ışınlarını UV geçirir
- Zamanla şeffaflığı değişmez
- Genellikle kahverengi tonlarında renklendirilebilir
- Kırılma indisi yüksektir 1.523

2.2.1.2 Organik gözlük camları

İlk organik ya da plastik camlar CR 39 adlı maddeden üretilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında (1940) ABD’de hava kuvvetleri için askeri amaçlı araştırmalar sırasında Pittsburgh Plate Glass firmasının polimerizasyon denemelerinde Columbia Reçinesi (CR) adı verilen materyalin (Allyl diglycol carbonate-ADC) 39. denemesinden en iyi sonuca ulaşıldığı için bu maddeye CR 39 denilmiştir. CR 39 ısı etkisiyle sertleşmektedir (Büyükyıldız H.Z., 2010). Monomer, (Yunanca mono "bir" ve meros "parça") bir polimer oluşturmak için diğer monomere kimyasal olarak bağlanabilecek küçük bir moleküldür. Monomer birimlerinden başlayarak polimer birimlerinin elde edilmesine yol açan reaksiyonlara polimerizasyon reaksiyonları denir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/polimerizasyon-monomer>).

Organik camlar bir monomerin kalıplara doldurularak ısı altında polimerize edilmesiyle elde edilmektedir. Organik bir camın yapım aşamaları Şekil 2.1 de gösterilmiştir. Titizlikle temizlenen ve karıştırılan hammaddeler camdan bir kalıba dökülür. Bu kalıplar alüminyum veya çelik kalıplar da olabilir. Isı altında polimerizasyon gerçekleştirilir. Kalıptan çıkarılan gözlük camları, iç gerilimlerini azaltmak amacıyla yaklaşık 50 °C derecede 30-60 dakika arası fırınlarda bekletilir.



Şekil 2.1 Organik camın mercek olarak elde edilmesinin aşamaları (Büyükyıldız H.Z., 2010)

Mineral cama oranla ($n=1,523$) daha düşük ($n=1,5$) kırılma indisine sahip olan organik camlar, mineral cama göre kısmen daha kalındır. Bununla birlikte, mineral cama göre yoğunluğu yaklaşık yarı yarıya az olduğu için oldukça (%40) hafiftir. Renksiz bir organik camın ışık geçirgenliği %92 oranındadır. Organik gözlük camlarının yapım aşamasında hamuruna UV kesici kimyasalı eklenerek, UV-A ışınlarını tamamıyla, UV-B ışınlarının ise büyük bir kısmını kendiliğinden absorbe eder (emer). Organik camlar kırılmaya karşı mineral cama göre 20 kat daha çok dayanıklıdır. (Büyükyıldız H.Z., 2010).

Organik camların yüzeyi sert olmadığından kolay çizilebilir, bu nedenle camın yüzeyine sert kaplama uygulanır. Isıyı çok iyi iletmediği için bu materyal mineral cama göre çok daha az buharlanır. Bu da kısım önemli bir kullanım kolaylığı sağlar. Organik camlar alkol, aseton veya benzin gibi temizleyici maddelere karşı dayanıklıdır. (Büyükyıldız H.Z., 2010).

Organik camların, mineral camlara göre bazı özellikleri şöyledir:

- Organik camların yoğunluğu 1.31g/cm^3 , mineral camın neredeyse yarısıdır.
- UV korumalıdır
- Kırılgan değildir
- Hafiftir, mineral camın yaklaşık yarı ağırlığındadırlar
- 100°C dereceye kadar ısı değişikliklerine dayanıklıdırlar
- Kırılma indisi düşüktür 1,5
- Yansıtıcılığı azdır
- Kolay buğulanmazlar
- Kolay işlenebilirler

2.2.1.3 Polikarbonat gözlük camları

1955 yılında bulunan polikarbonat camlar son yıllarda gözlük camı üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Sanayide yaygın kullanım alanı bulan bu hammadde aynı zamanda motosiklet kaskları yapımında, koruyucu gözlüklerde, kamera dişli materyali olarak ve CD (Compact Disc) üretiminde de kullanılmaktadır. Polikarbonat camlar “kurşungeçirmez” denilen camlarda kullanılırlar ve organik camlara göre darbelere 10-12 kat daha dirençlidir. Alkol, aseton, saç spreyi gibi maddelerle yüzeyi kolay bozulabilir. Aşınmaya dirençli sertlik kaplaması yapıldığında çok uzun süre kullanılabilir. Polikarbonat camlar materyalinin özelliği sayesinde her hangi bir ilave maddeye gereksinim olmadan, kendiliğinden %100’e yakın UV koruma sağlar. Bununla birlikte, en düşük Abbe değeri (Abbe: 31) nedeniyle en düşük optik kaliteye sahiptir (Büyükyıldız H.Z., 2010).

Polikarbonat gözlük camları genellikle koruyucu gözlük olarak kullanılırlar. Enjeksiyonla kalıplar içine ısı ile ergimiş polikarbonat hammaddesinin yüksek basınç ile enjekte edilmesiyle üretilirler (Aksak ve Küçüker, 2005).

2.2.2 Odak Noktalarına Göre Gözlük Camları

2.2.2.1 Tek odaklı (monofokal) gözlük camları

Tek odaklı, monofokal veya tek görüşlü gözlük camları uzak, yakın, spor, okuma, çalışma, araba sürme gibi her türlü görsel amaç için kullanılabilen, bir camda yalnızca bir görüş odağının bulunduğu olağan camlardır. Miyop, hipermetrop, astigmatizm ve presbiyopinin refraktif tedavisi için kullanılırlar (Büyükyıldız H.Z., 2010).

2.2.2.2 İki odaklı (bifokal) gözlük camları

İki odaklı (bifokal) camlar uzak ve yakın görüşü aynı camda sağlayan iki ayrı bölümden oluşmuş gözlük camlarıdır. Bu camlarda üst kısım uzak görüşü, altta yer alan bölüm ise yakın görüşü sağlamaktadır. İki odaklı camlarda uzak görüş alanından yakın görüş alanına geçiş kademeli olmayıp, uzak ve yakın görüş alanları keskin bir sınırla ayrılmış durumdadır (Büyükyıldız H.Z., 2010).

İki odaklı gözlük camları iki farklı odak gücüne sahip ayrı güçteki iki gözlük camını bir gözlük camında toplayan optik fonksiyona sahiptir. Uzak ve yakın için ayrı ayrı gözlük kullanmanın çok zor ve sıkıntılı bir işlem olduğu gerçektir. İki odaklı gözlük camları farklı odak gücüne sahip belirgin iki kısımdan ibaret olup bunlardan biri uzak görme diğeri yakın görme içindir (Aksak ve Küçüker, 2005).



Şekil 2.2 İki odaklı bir gözlük camından görüş

İki odaklı camlar mineral veya organik materyallerden imal edilmektedir. Mineral iki odaklılarda alttaki yakın bölümün kırma gücü daha yüksek kırılma indisine sahip (örneğin $n=1,684$ baryum flint) bir cam türünün normal gözlük camına (kron cam, $n=1,525$) kaynak yapılmasıyla artırılır ve aynı camda yakın görüş de sağlanmış olur (Büyükyıldız H.Z., 2010).

Organik iki odaklı camlar ise tek parça olarak üretilir. Organik iki odaklı camlar aynı malzemenin (genellikle CR 39) özel bifokal kalıplara doldurulup ısı altında polimerize edilmesiyle iki farklı kırıcı yüzey oluşturarak üretilir (Büyükyıldız H.Z., 2010).

2.2.2.3 Üç odaklı (trifokal) gözlük camları

Yakına uyum yapabilme yeteneğini iyice yitirmiş yaşlı hastalarda iki odaklı mercekler de kişinin tüm görme ihtiyaçlarını karşılayamayabilir. Uzak ve yakın mesafeler için uygun düzeltme yapılarak verilecek iki odaklı bir camla bile orta mesafelerde net bir görüş sağlanamaz. Bu nedenle, orta mesafenin de görülebilmesini sağlamak için üç odaklı (trifokal) camlar üretilmiştir. Üç odaklı camlarda uzak ve yakın görüş alanları arasında orta mesafeyi görmeyi sağlayan bir ara veya orta bölme yer almaktadır. Bu ara mesafenin gücü genellikle yakın gücün yarısı dolaylarına ayarlanmaktadır. Trifokal camlar da cam (mineral) veya plastik (organik) olarak üretilmektedirler. Üretimleri bifokal camlarla aynı tarzdadır (Büyükyıldız H.Z., 2010).

2.2.2.4 Çok (çoklu) odaklı (mülfokal) gözlük camları

Günümüzde uzak, orta ve yakın görüşü aynı camla sağlayabilmek için en estetik ve en ideal çözüm çok odaklı yani mülfokal camlardır. Bir odaktan daha fazla odaklı her mercek “çok odaklı” olduğundan, iki ve üç odaklı gözlük camlarından ayırmak için mülfokal camlara çok odaklı yerine “çoklu odaklı” denmesi daha doğru bir adlandırma olabilir. Bu nedenle, başlıkta parantez içinde ayrıca belirtilmiştir (Büyükyıldız H.Z., 2010).

2.3 Gözlük Camları Üzerine Uygulanan Yüzey İşlemleri

Gözlük camlarının yüzeylerine çeşitli iyileştirme amaçlı kaplamalar yapılmaktadır. Bunlardan en önemlileri sert kaplamalar, Anti-Refle (AR) kaplamalar, koruyucu kaplamalar ve gözlük camlarında renklendirme işlemleridir.

2.3.1 Sert Kaplamalar

Gözlük yüzeyini sertleştirici kaplamalardır. Organik gözlük camlarının yüzeyleri sert olmadığı için bu camlar üzerine uygulan kaplamalardır. Organik gözlük camlarının yüzeyini sertleştirmek için, gözlük camları sert reçine verniğine batırılıp çıkartılır ve kurumaya bırakılır. Yüzey sertleştirici kaplamalar, organik gözlük camlarının çizilmesini ve aşınmasını önler. Organik gözlük camları üzerine renklendirme veya yansıma önleyici kaplama yapmak isteniyor ise gözlük camlarına bu işlemlerden önce mutlaka sert kaplama yapılmalıdır. Mineral gözlük camlarının yüzeylerinin sertlik dereceleri yüksek olduğu için bu camlara sert kaplama yapmaya gerek yoktur. Organik camlar üzerine uygulanan sert kaplama prosesi uygulamada iki türlü yapılır:

2.3.1.1 Daldırma yöntemi ile yapılan sert kaplama

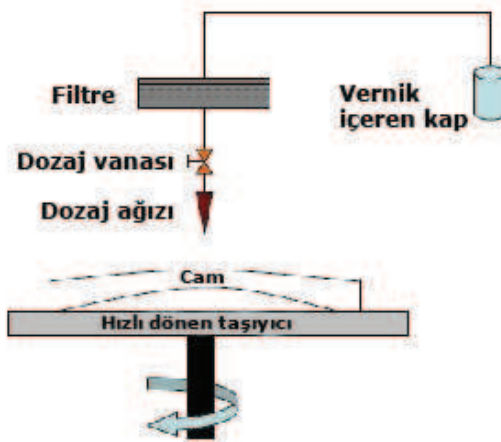
Organik camlar önce özel temizleme ünitelerinde temizlendikten sonra cam tutucularına yerleştirilir. Böylece organik gözlük camlarının her iki tarafı da istenilen kalınlıkta daldırma yöntemi ile verniklenebilir. Gözlük camları yüzeylerinde farklı kalınlıklarda kaplama tabakaları oluşmaması için çok dikkatli bir şekilde vernik banyosundan çıkarılır. Bu işlemde sonra vernik kaplama fırınlarında sertleştirilir. Sonuç olarak çizilmeye karşı daha dayanıklı bir cam yüzeyi kazanılır. Temizleme maddelerine ve günlük kullanılan maddeler de bu kaplamayı bozamaz. Ancak sert alkalik maddeler kaplamaya zarar verebilir (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozluccamiteknoloji5.html>).



Şekil 2.3 Daldırma Yöntemi (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoloji5.html>)

2.3.1.2 Rotasyon (spin-coating) yöntemi ile yapılan sert kaplama

Rotasyon adı verilen bu sert kaplama yöntemi için cam dönme halinde iken üzerine bir damla vernik damlatılır. Bu vernik damlası çok hassas bir dozda damlatılmadan önce, çok temiz olması gerekir ve bunun için ince filtreden geçmesi gerekir. Rotasyon özellikle az sayıda cam kaplamaları gerektiğinde kullanılır. Vernik kaplama çok kısa sürede havada kuruyabilir (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoloji5.html>).



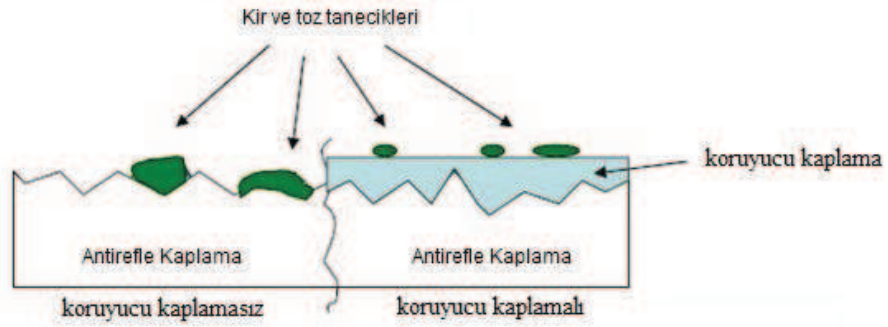
Şekil 2.4 Spin Coating Yöntemi (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoloji5.html>).

2.3.1 Yansıma Önleyici, Anti-Refle (AR) Kaplamalar

Gözlük camlarının ön ve arka yüzeylerinde oluşan yansımaları azaltarak gözlük kullanıcılarının daha net bir görüş elde etmesi amacıyla gözlük camlarının ön ve arka yüzeylerine uygulanan kaplamalardır. Bu kaplamalar değişken olarak yüksek ve düşük indisli metal oksitlerden elde edilirler. Endüstride yüksek indisli kaplamalarda zirkonyum (ZrO_2) dioksit, düşük indisli kaplamalar için ise kuvars (SiO_2) kullanılır. Mekanik etkenlere daha dayanıklı olduğu için, en dış kaplama her zaman kuvars kaplaması olur. Kuvars kırılma indisi ($n=1,47$) ile organik camın kırılma indisi ($n=1,502$) , birbirine çok yakın oldukları için, çoklu katmanlar gerekmektedir. Bu yüzden daha yüksek indise sahip olan zirkonyum oksit ($n=2,13$) ara kaplama olarak kullanılır. Bu metal oksitler elektron buhar şekline getirilerek vakum hücresi içerisinde camlara püskürtülür. Bu buhar, tepsinin üzerine yerleştirilmiş camların üzerini kaplanır (<http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz/gozluccamiteknoji5.html>) . Yansıma önleyici kaplamalar optisyenlik ile ilgili bilimsel çalışmalarda ve gözlük sanayinde Anti-Refle (AR) kaplamalar olarak isimlendirilirler. Bu tez çalışmasında organik gözlük camları üzerine AR kaplamalar yapıp incelendiği için bu bölüm daha sonra ayrıntılı olarak anlatılacaktır (Bkz. Bölüm 3).

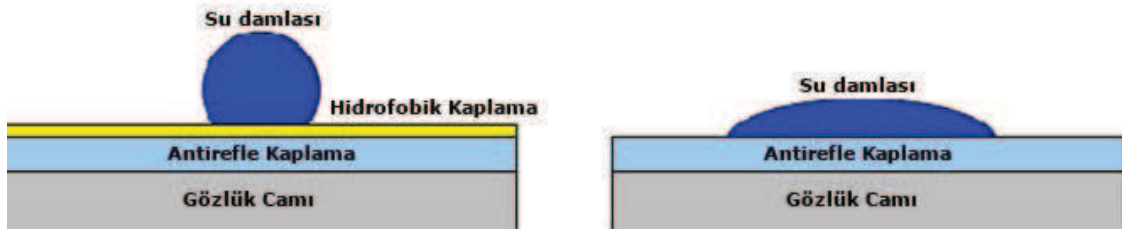
2.3.3 Koruyucu Kaplamalar

Su ve kir tutmama görevi olan, hidrofobik kaplama camın en üst yüzeyindedir. Satılan camların büyük bir kısmı AR kaplamalı olduğu için, parmak izleri ve kirler daha şeffaf camların yüzeyinde daha çok belli olur ve durum rahatsız edicidir. Bunun için bilinen tencere veya tavada kullanılan Teflon kaplamaları gibi, gözlük camlarının en üst kaplamaları hidrofobik ile kaplanarak yüzey suyu ve kiri tutmaz. Böylece hidrofobik kaplanmış camı çok sık temizlemek gerekmez (<http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz/gozluccamiteknoji5.html>). AR kaplamalı gözlük camlarına son katman olarak atılan hidrofibiğin yanı sıra toz tutmama özelliğine sahip antistatik ve yağ tutmama özelliğine sahip oilfobik kaplamaları uygulanır. Böylece gözlük kullanıcıları daha temiz bir gözlük camına sahip olacaklar ve gözlük camlarının temizliği son derece kolay olacaktır.

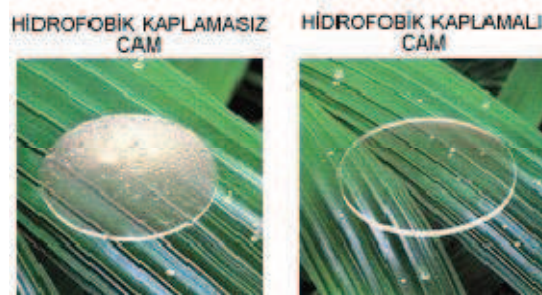


Şekil 2.5 Koruyucu kaplaması olan ve olmayan yüzeylerde kir ve toz taneciklerinin yüzey tutunmaları (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoji3.html>).

Şekil 2.5 de koruyucu kaplaması olan ve olmayan bir AR kaplamalı yüzeyde kir ve toz taneciklerinin yüzeye tutunmaları gösterilmektedir. AR kaplama üzerine uygulanan koruyucu kaplamalar yüzeyi daha düzgün ve pürüzsüz bir yapıya sokar, böylelikle kir, toz ve su tanecikleri yüzeyde tutunamazlar ve kayarlar. Neticede daha temiz bir gözlük camı yüzeyi elde edilir. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7 de ise hidrofobik kaplamalı ve hidrofobik kaplamasız gözlük camlarında su damlasının yüzey tutunmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Koruyucu kaplaması olan ve olmayan yüzeyler üzerinde bir su damlasının yüzey tutunmaları (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoji5.html>).



Şekil 2.7 Hidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camlar

2.3.4 Gözlük Camlarında Renklendirme

Organik gözlük camları daldırma metodu ile renklendirilir. Renkli bir banyoya daldırılarak istenilen renk elde edilebilir. Bu işlemde renk molekülleri camın yüzeyini homojen bir şekilde renklendirir. Renk çeşitlerinin sınırı yoktur. Aynı zamanda organik camların renkleri değiştirilebilir veya açılabilir (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoji5.html>). Mineral camların renklendirilmesi ise iki şekilde gerçekleşir:

-Hammaddenin renklendirilmesi. Camların imalatı sırasında hamurunun renklendirilmesi işlemdir.

-Gözlük camının yüzeyi farklı kaplama teknikleriyle kaplanarak renklendirilir.

Hammadde renklendirildiği zaman kalınlığa endekli koyuluklar meydana gelir. Bu yüzden camlar genellikle buhar yöntemi ile renklendirir. Böylece yüksek dioptrik değerlerde dahi, tüm cam çapında aynı renklendirme gerçekleştirilebilir (<http://www.cemfa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoji5.html>).

3.ANTİ-REFLE (AR) KAPLAMALAR

3.1 Anti-Refle (AR) Kaplamalar ve Özellikleri

AR kaplamalar Carl Zeiss Optik Şirketi için çalışan Alexander Smakula tarafından Kasım 1935’de bulunmuştur. Bu kaplamalar II.Dünya Savaşının erken bölümlerine kadar Alman ordusunun sırrıydı. Katharine Burr Blodgett ve Irving Langmuir 1930 ların sonlarında organik AR kaplamaları geliştirdiler (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

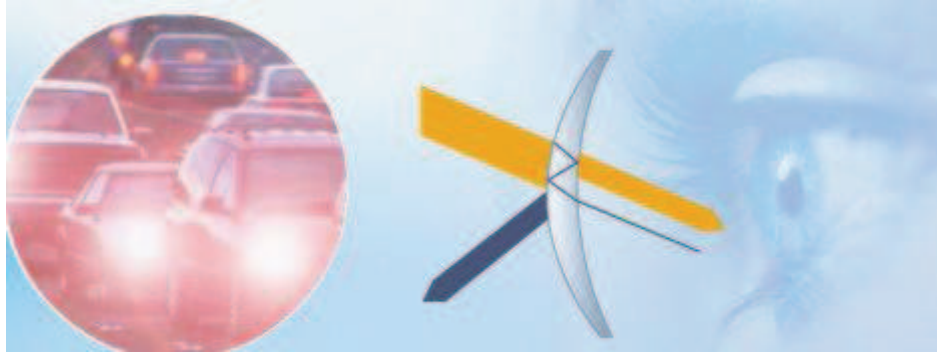
Anti-Refle kelime anlamı olarak yansıtıcı olmayan veya yansıma önleyici anlamlarına gelmektedir. AR kaplamalar; gözlük camlarının ve diğer optik cihazların yüzeylerine yansımayı azaltmak için uygulanan bir çeşit optik kaplamadır. Bir optik sisteme AR kaplama uygulanmasıyla sistemde ışık kaybının önüne geçilmiş olunur ve sistemin verimliliği artar. Teleskop gibi karmaşık sistemlerde, yansımalarındaki azalış ayrıca parazit ışığın yok edilmesi oluşan görüntünün kontrastını artırır. Dürbünler, teleskoplardaki ani ışık parıldamasını azaltarak daha iyi bir görme yeteneği sağlamak amacıyla yapılan kaplamalar AR kaplamalardır. AR kaplamalı bir gözlük kullanıcısı kaplamasız gözlük kullanıcılarına göre daha net bir görüş elde eder. (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).



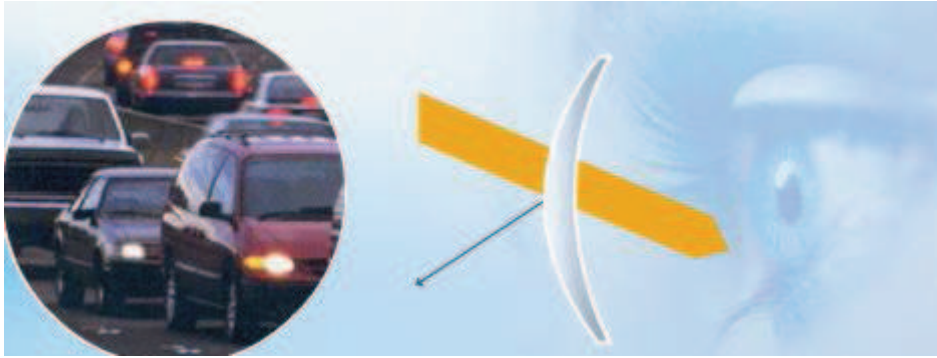
Şekil 3.1 AR kaplamalı ve kaplamasız gözlük camları arasındaki fark

AR kaplamanın en basit formu 1886 yılında Lord Rayleigh tarafından bulunmuştur. Optik camların yüzeyleri zaman geçtikçe matlaşır. Rayleigh bazı eski ve biraz da matlaşmış camları test ederek yeni ve temiz camlara göre ışığı daha iyi ilettiklerini keşfetmiştir. Bunun sebebi donuk yüzeyin kırılma indisinin, cam ile havanın kırılma indisleri arasında bir değerde olmasıdır. Böylece Rayleigh, eski ve donuk camın bir çeşit AR özelliği göstererek temiz cama göre ışığı daha az yansıttığını keşfetmiştir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

Otomobil ve pencere camlarında olduğu gibi gözlük camlarına gelen ışıklar, tam anlamıyla geçemez, bir kısmı yansıma olarak geri döner. Bu yansımalar camın hem iç hem dış yüzeyinde olduğundan son derece rahatsız edicidir ve net görüsü oldukça azalır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için AR kaplamalar uygulanır. AR kaplama; gözlük camlarının yüzeyine kaplanan oldukça ince bir kaplamadır. AR kaplaması olan gözlük camı daha şeffaf gözükür. AR kaplamalı camlar parlamaya yol açan ışık yansımalarını azaltarak göz yorgunluklarını en aza indirir ve iyi bir görüntü sağlar (Temel S., 2010). Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de AR kaplamalı ve AR kaplamasız bir gözlük kullanıcının görüş farkı ve camdaki yansımaları görülmektedir. Şekil 3.2 de, AR kaplaması olmayan cama gelen ışığın bir kısmı camın içinde bir kısmı da camın dışında yansır. Bu yansımalar görmeyi azaltır ve kişiyi rahatsız eder. Şekil 3.3 de ise AR kaplamalı gözlük camının ışık geçirgenliği fazladır dolayısıyla açık ve net bir görüş sağlanır (<http://www.cem-fa.com.tr/3b.asp>).

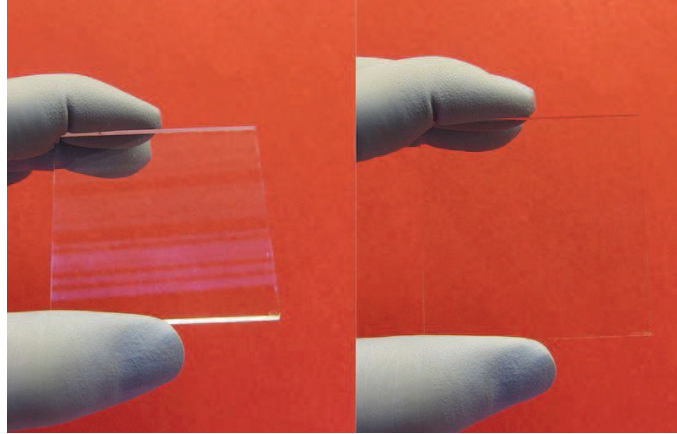


Şekil 3.2 AR kaplaması olmayan bir gözlük kullanıcısının otomobil kullanırken dışarıyı görüşü (<http://www.cem-fa.com.tr/3b.asp>)



Şekil 3.3 AR kaplamalı bir gözlük kullanıcısının otomobil kullanırken dışarıyı görüşü (<http://www.cem-fa.com.tr/3b.asp>)

Girişim, iki veya daha çok dalga hareketinin, aynı noktaya aynı anda gelmesiyle birbirini yok edebilmesi veya kuvvetlendirebilmesi olayıdır (<http://tr.wikipedia.org/wiki/girisim>). Dalgaların birbirini yok etmesi ya da zayıflatması durumu yıkıcı girişimi, kuvvetlendirmesi durumu ise yapıcı girişimi oluşturur. Çoğu AR kaplama; birbirini takip eden tabakaların düşük-yüksek kırılma indisleriyle beraber geçirgen ince film yapılarından oluşur. Tabaka kalınlıkları ara yüzeylerden yansıyan ışıklarda yıkıcı girişimi oluşturmak için seçilirler. Bu, yapının performansını dalga boyu ve gelen açısıyla değiştirir böylece renk etkileri genelde eğimli açılarda gözlenir. Şekil 3.4 de AR kaplamalı bir camın 0° ve 45° lik açılardaki fotoğrafı gösterilmiştir. AR kaplamaları sıralarken yada optik dizaynı esnasında dalga boyu aralığı belirlenmelidir fakat iyi performanslar yani düşük yansıma değerleri bazen dar frekans aralıklarında elde edilebilir: genellikle IR, görünür yada UV seçimi tercih edilir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).



Şekil 3.4 45° ve 0° lik açılarla AR kaplamalı bir camın görünüşleri ve renk etkisi.

Günümüzde AR kaplamalı gözlük camları yaygın şekilde kullanılmaktadır. AR kaplamaların başarılı olabilmesi için kaplamanın gözlük camına mükemmel bir şekilde tutunması gerekir. Bu sebeple, kaplama yapılmadan önce camların yüzeyleri kusurlardan arınmış, iyi temizlenmiş, toz ve kirlerden kurtulmuş olmalıdır (Temel S., 2010).

3.2 AR Kaplama Uygulamaları ve AR Kaplamanın Optiksel Kullanımı

Normal olarak havadan cam yüzeyine gelen ışığın yaklaşık %4 ü yansıtılmaktadır. Kaplanmamış bir düz camın toplam yansıması %8 dir. Bu her iki yüzeyden %4 yansımanın olduğu anlamına gelmektedir. Kaplaması olmayan camların gözle görünen ışığın yaklaşık %8 oranında bir yansımasının olmasına karşılık, AR kaplaması olan camların yansıması %5 in altındadır. AR kaplaması olan yüzeydeki yansıma %4 ten daha azdır (Özgümüş Ü.,2003). Gözlük camlarında ise camın her iki yüzeyine AR kaplaması uygulanarak bu yansıma oranı her iki yüzey için %4 ün altına indirilebilir.

AR kaplamaların uygulama alanları oldukça geniştir. Yansımayı en aza indirmek ve parıldamaları azaltmak amacıyla optik özelliği olan cihazlar ve gereçlerin yüzeyleri AR kaplaması ile kaplanır. Gözlük camları, objektifler, TV ekranları, vitrinler, resim ve çerçeve camları, solar hücreler, plazma TV ler, LCD monitörler ve elektrolüminesans göstergeler vb. Mimari ve otomotiv ürünler için kullanılan camlarda gözü alan yansımaları en aza indirmek için AR kaplamalar kullanılmaktadır. Bir motorlu aracın ön camının iç tarafına uygun bir AR kaplama yapılması, iç yansımaları yok eder. Ön camın dış tarafına yapılan uygun bir AR kaplama ise aracın içine aktarılan ışık yoğunluğunu artırır. (Özgümüş Ü.,2003) Şekil 3.5 de AR kaplamalı güneş panelleri gösterilmektedir. AR kaplaması, güneş panellerindeki yansımaları azaltarak panellerden daha fazla miktarda ışık geçişine imkan sağlar ve böylelikle panellerin verimi artmış olur.



Şekil 3.5 AR kaplamalı güneş panelleri

AR kaplamalı gözlük kullanıcıları, gece araba sürerken veya bilgisayar ile çalışırken daha net bir görüntü elde ederler. Gözlük camının ön ve arka yüzeyinde oluşan yansımaların azaltılmasıyla gözlük camından içeriye doğru daha fazla ışık geçişine izin verilmesi kontrastı artırır ve bu yüzden görüş keskinliği artmış olur. Kontrast kelime anlamı olarak zıtlık karşıtlık manasına gelmektedir. Bir görüntünün kontrastı o görüntüdeki en parlak bölüm ile en karanlık bölüm arasındaki farktır. Siyah ve beyaz arasındaki kontrast aralığı genişledikçe, iki uç arasındaki gri tonlar ya da ara seviyeler daha rahat görülür. AR kaplı gözlük camları polarize gözlük camları ile karıştırılmamalıdır, polarize gözlük camları kum, su, kara yolu yüzeylerinden gelen

güneşin görünür yansımaları absorpsiyon yoluyla azaltırlar. (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

3.3 AR Kaplamalı Yüzeylerin AR Kaplamasız Yüzelelere Göre Avantajları

1. Yansımanın azaltılması sonucunda ışık geçirgenliği artacak ve görüş kabiliyeti yükselecektir. Daha iyi bir görüş elde edildiği için bilgisayar, TV ve benzeri ekranlı cihazlarda kontrastlık (karşıtlık) sağlanır. Görüntü ve semboller net ve ayrıntılı olarak algılanır.

2. Gece araç kullananlar, ışık yansımasından rahatsız olurlar. Loş aydınlatmada karşıdan gelmekte olan araçların far ışıkları gibi parlak nesnelere çift imaj görüntüsü yaratır. Yansımalar yüzünden çoğu durumda sürücünün mesafe algılaması ve diğer görüntülerin algılanması zorlaşır. AR kaplamalarla net bir görüntü sağlanır ve gece yolculuğu daha güvenli ve zevkli hale gelir. Otomobil sürücüleri tarafından, yol güvenliğini arttırdığı için tercih edilmektedir.



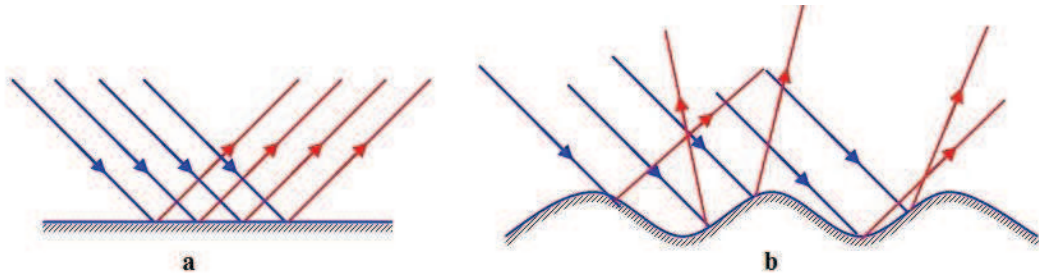
Şekil 3.6 AR kaplamalı ve kaplamasız gözlük kullanıcısının otomobil kullanırken dışarıyı görüşü

3. Kozmetik olarak avantajı ise kullanıcı AR kaplamalı gözlük camları ile gözlük yüzeyinde herhangi bir yansıma ve parlama olmadığından daha estetik görünür.

4. AR kaplamaları basit kimyasal solüsyonlara karşı dayanıklıdır. (Alkol, kolonya, aseton vs.)

3.4 Yansıma

Bir ortamda ilerleyen bir ışık ışını, ikinci bir ortamın sınırına çarpınca, gelen ışının bir kısmı birinci ortama doğru yansıtılır. Şekil 3.7 a, pürüzsüz, ayna gibi bir yansıtıcı yüzeye gelen ışık demetinin birkaç ışını göstermektedir. Şekilde belirtildiği gibi yansıyan ışınlar birbirlerine paraleldirler. Yansıyan ışını doğrultusu gelen ışını içeren yansıtıcı yüzeye dik olan düzlemdir. Işığın böyle düzgün bir yüzeyden yansımaya düzgün yansıma denir. Yansıtıcı yüzey, Şekil 3.7 b de gösterildiği gibi pürüzlü ise, yüzey ışınları birbirlerine göre paralel olacak şekilde yansıtmayıp, çeşitli doğrultularda yansır. Herhangi bir pürüzlü yüzeyden yansıma dağınık yansıma olarak bilinir (Serway ve Beichner, 1995).



Şekil 3.7 a- Düzgün yansıma b-Dağınık yansıma

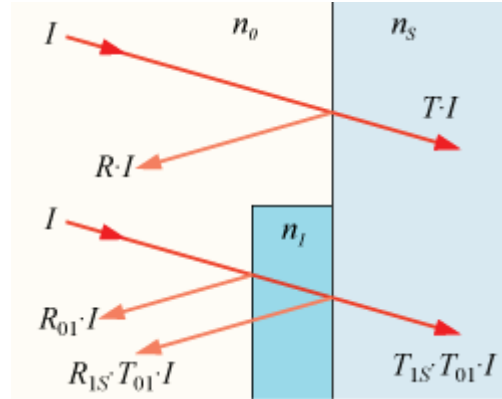
Yansımanın gücü, ışık ışını ile yüzey arasındaki açı kadar iki ortamın kırılma indisine bağlıdır. Yansıma değeri Fresnel eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilir. Işık bir ara yüzeye karşılaştığında bu ara yüzeyden bir kısmı yansır bu yansıyan ışığın yansıma veya yansıtıcılık katsayısı R ile verilir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating) :

$$R = \left(\frac{n_0 - n_s}{n_0 + n_s} \right)^2 \quad 1$$

n_0 ve n_s birinci ve ikinci ortamın kırılma indisidir. R değeri 0-1 arasında değişir ve genellikle yüzde ile verilir.

R yi yani yansımayı tamamlayıcı değer ise geçirgenliktir ve T ile gösterilir. Eğer absorpsiyon ve saçılma ihmal edilirse T değeri her zaman $1 - R$ ye eşittir. I şiddetindeki bir ışık ışını eğer yüzeye gelirse RI kadarı yansır ve TI şiddetindeki ışın ise ortamdan içeri girer (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

Görünür ışık havadan cam ($n_s=1,5$) içine girdiğinde cam yüzeyindeki yansıma, R değeri 0,04 yani % 4 tür. Böylece ışığın %96 sı yani çoğu camdan içeri geçer ($T = 1 - R = 0,96$) ve kalanı ise yüzeyden yansır. Yansıyan ışığın miktarı yansıma kaybı olarak bilinir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).



Şekil 3.8 Kaplamalı ve kaplamasız bir cam yüzeyine gelen I şiddetindeki bir ışığın hava/cam ara yüzeyinden, hava/kaplama ve kaplama/cam ara yüzeyinden yansıma ve geçirgenlik davranışları (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

Lord Rayleigh'in gözlemlerine göre gözlük camı üzerindeki bir ince film yansıtıcılığı azaltır. Bu etki hava (n_0 indisli) ve cam (n_s indisli) arasındaki n_1 indisli bir ince materyal tabakası (AR kaplama) ile açıklanabilir. Burada n_s kırılma indisli cam taban malzemedir ve n_1 kırılma indisli ince AR tabakası ile bir bölümü kaplıdır. Işık demeti, hava-ince tabaka arasındaki yüzeyden ve ince tabaka-cam ara yüzeyinden yansır. Şekil 3.8 de bu yansımalar gösterilmiştir. (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

Yukarıda verilen eşitlik (1) kullanılarak her iki ara yüzey için yansıtıcılıklar hesaplanabilir ve R_{01} ve R_{1S} ile ifade edilir. Her iki ara yüzey için geçirgenlikler ise $T_{01}=1-R_{01}$ ve $T_{1S}=1-R_{1S}$ dir. Toplam geçirgenlik $T_{1S}.T_{01}$ dir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

İnce AR tabakasının uygun kırılma indisi değeri, etrafındaki iki indisinin geometrik anlamıyla verilir:

$$n_1 = \sqrt{n_0 \cdot n_S} \quad 2$$

Örneğin cam yüzeyi ($n_S \approx 1,5$) için havada ($n_0 \approx 1,0$) uygun ince tabakanın (AR) kırılma indisi değeri $n_1 \approx 1,225$ dir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating). Bu değer tek katmanlı bir AR kaplama için en uygun kırılma indisi değeridir.

Her ara yüzey için yansımaya kaybı yaklaşık %1 dir ve toplam geçirgenlik $T_{1S}.T_{01}$ yaklaşık olarak % 98 dir. Bu yüzden cam ve hava arasındaki kaplama yansımaya kaybını yarıya indirir (http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating).

3.4.1 Gözlük Camlarında Yansımaya

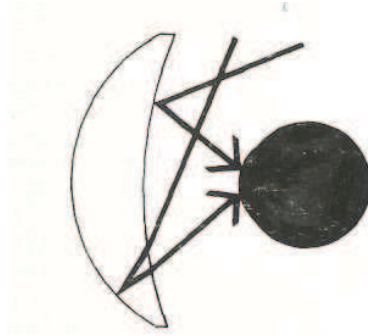
Işık saydam ortamlardan geçerken bir kısmı kırılarak geçer, bir kısmı ise yansımaya yolu ile saydam ortamdan geçemez. Işığın geldiği ortama göre geçeceği saydam ortamın kırılma indisi ne kadar fazla ise yansımaya miktarı o kadar fazla olur. Işık gözlük camına girerken gözlük camının ilk yüzeyinden ve ikinci yüzeyinden yansımaya uğrar. Her iki yüzeyden de oluşan yansımalar görme açısından önemlidir. Mineral gözlük camlarında ışık geçirgenliği % 92,2' dir. Camın ilk yüzeyinden (ön yüz) % 4, ikinci yüzeyinden (arka yüz) % 3,8 olmak üzere toplam yansımaya yoluyla ışık kaybı % 7,8 olmaktadır. Bu yansımalar ışık geçirgenliğinde bir azalmaya ve bu yüzden de görüntünün tam net olmamasına sebep olur (Aksak ve Küçüker, 2005).

Optisyenlikte gözlük kullanımı sırasında oluşan yansımalar aşağıdaki şekillerde sınıflandırılırlar. Bunlar;

1. Arka yansımalar
2. Korneadaki yansımalar
3. İç yansımalar
4. Ön taraftaki gözlemci tarafından görülen ön yansımalar (Aksak ve Küçüker, 2005).

3.4.1.1 Arka yansımalar

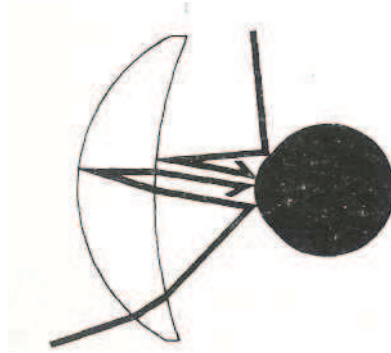
Gözlük kullanıcısının arkasından gelen ışığın bir bölümü gözlük camın arka yüzeyinden yansıma yapmaktadır. Genellikle gece araba kullananlarda bu durumla karşılaşmaktadır.



Şekil 3.9 Gözlük camının arka yüzeyindeki yansımalar (Aksak ve Küçüker, 2005).

3.4.1.2 Korneadaki yansımalar

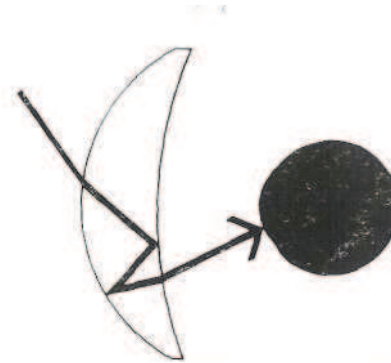
Kornea yüzeyinden yansıyıp gözlük camı yüzeyleri ile karşılaşan ışınların neden olduğu yansıma çeşididir. Gözlük camının kenarlarından ya da yan tarafından gelen ışınların korneadan yansıyarak tekrar gözlük camının iç veya dış yüzeylerinden yansıması ile oluşan durumlardır.



Şekil 3.10 Korneadan gözlük camına yansıyan ışınlar (Aksak ve Küçüker, 2005).

3.4.1.3 İç yansımalar

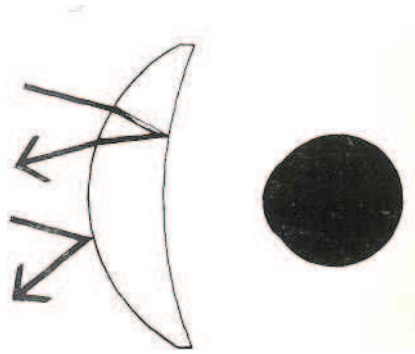
Işık gözlük camının ön ve arka yüzü arasında iç yansıma yapmaktadır.



Şekil 3.11 Gözlük camı içerisinde meydana gelen yansımalar (Aksak ve Küçüker, 2005).

3.4.1.4 Ön taraftaki yansımalar

Gözlük camının ön yüzüne çarpan ışınların bir bölümü gözlük kullanıcının karşısındaki gözlemciye doğru yansır ve bu yansıma gözlemci tarafından görülür. Bu tip yansımaya televizyon kamerası önünde gözlük takan bir kişinin gözlüğünde meydana gelen yansıma gösterilebilir.



Şekil 3.12 Gözlük camının ön tarafından gelen ışınların ön ve arka yüzeyde yansımaları (Aksak ve Küçüker, 2005).

Belirtilen bu yansıma çeşitleri hayal görüntülere neden olur ve görme keskinliğini düşürebilir. Bulanık görüş meydana gelir, dolayısı ile gözlük camının optik performansı azalır.

3.5 AR Kaplama Çeşitleri

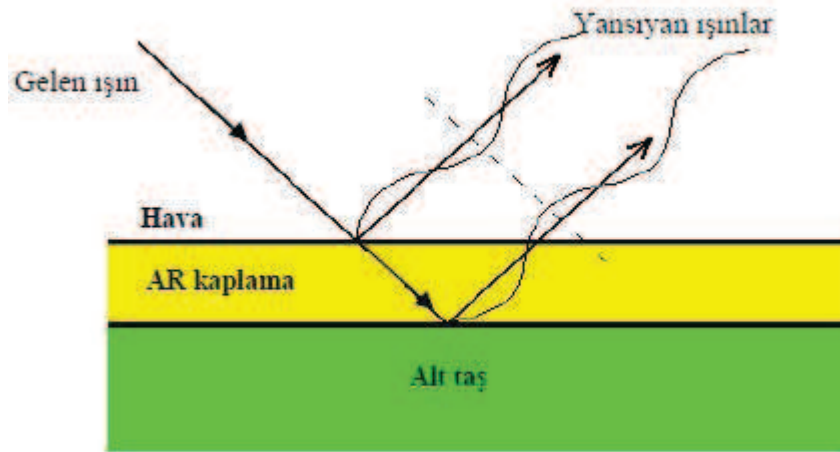
Gözlük camlarının yapımında yaygın olarak mineral camlar ve organik camlar olarak kabul edilen materyaller kullanılmaktadır. Organik gözlük camlarında ışık geçirgenliği % 92'dir. Camın ilk yüzeyinden (ön yüz) yaklaşık %4, ikinci yüzeyinden (arka yüz) %4 olmak üzere toplam yansıma yoluyla ışık kaybı %8'dir. Bu yansımalar ışık geçirgenliğinde bir azalmaya ve bu yüzden de görüntünün tam net olmamasına sebep olurlar. Mineral camların renk ayırıcılığı organik camlara göre daha iyidir. Bu nedenle mineral camlarda görüntü daha iyi oluşur. Her iki materyal tipinde de gözlük camları özellikle toprak alkali metallerin florürleri (MgF₂ gibi) ile kaplanarak ışık geçirgenlik oranları (T) ve renk ayırıcılıkları artırılır. Böylece camın yansıma oranı küçüldüğünden geçirgenlik oranının artması yanında görüş kalitesi de artmaktadır. Bu nedenle göz yorgunluğunu azaltma gibi bir etki görülmektedir. AR kaplamalar tek katmanlı AR kaplamalar, iki ve çok katmanlı AR kaplamalar ve emici AR kaplamalar olmak üzere isimlendirilirler (Temel S.,2010).

3.5.1 Tek Katmanlı AR Kaplamalar

En basit AR kaplamaları, taban malzemenin kırılma indisinin karekökü değerinde kırılma indisine sahip, tek katmanlı şeffaf kaplamadan oluşur (Temel S.,2010).

Optik camların en yaygın türü kırılma indisi 1,52 olan mineral gözlük camıdır. En ideal tek katmanlı kaplama da kırılma indisi 1,225 olan malzemeden yapılmış olmalıdır. Ancak bu kırılma indisine sahip, optik kaplamalar için kullanılabilir bir malzeme yoktur. Bu kırılma indisi değerine en yakın kullanılabilir malzeme magnezyum florürdür (MgF_2) ve kırılma indisi 1,38' dir. Bir de kırılma indisi 1,30 değerinde olan fluoropolimerler vardır ancak bu maddelerin kaplama işlemlerinde uygulanabilmesi çok zordur (Temel S.,2010).

Tek katmanlı AR kaplamalar, gözlük camı üzerine 100 nm civarındaki kalınlıklarda tek katmanlı ince film olarak uygulanır. Tek katmanlı AR kaplama ile görünür bölgenin belirli bir dalga boyu aralığı bölgesinde geçirgenliği artırılır (Temel S.,2010).



Şekil 3.13 Geçirgen taban üzerine kaplanmış tek katmanlı AR kaplamanın şematik gösterimi (Thelen, 1988)

Şekil 3.13 de taban (alttaş) üzerine tek katmanlı AR kaplaması ve havadan AR kaplama yüzeyine gelen ışığın yansıma davranışları görülmektedir. AR kaplama yüzeyinden ve taban/AR kaplama ara yüzeyinden yansıyan ışınların yansıma fazları birbirilerini yok ederler yani yıkıcı girişimi oluştururlar. Bu şekilde AR kaplanmış bir yüzeyin yansıma değerleri azaltılır.

Mercek camı üzerine uygulanan MgF_2 , % 1 oranında yansıma verir ve bu % 4 oranında yansıma veren çıplak camdan 4 kat daha düşüktür. MgF_2 , kırılma indisi daha yüksek, yaklaşık 1,9 olan camlara uygulandığında daha iyi sonuçlar verir. MgF_2 kaplamalar ucuz olduğu için sıkça kullanılırlar (Temel S.,2010).

3.5.2 İki ve Çok Katmanlı AR Kaplamalar

Çok katmanlı AR kaplamalar, tek katmanlı AR kaplamalarda elde edilmeyen geçirgenlik değerlerine ulaşmak amacıyla gözlük camlarına uygulanan çoklu kaplamalardır. Çok katmanlı AR kaplama yapılırken sırasıyla önce gözlük camının kırılma indisinden daha küçük kırılma indisli materyal ile daha sonra ise gözlük camının kırılma indisinden daha büyük kırılma indisli materyal ile kaplama işlemi tekrarlanır. Kaplamada, silis gibi kırılma indisi düşük bir malzeme ve kırılma indisi yüksek başka bir malzemeden oluşan katmanlar kullanmak yansımayı % 1' e düşürmeyi sağlar (Temel S.,2010).



Şekil 3.14 AR kaplamalı objektifler

Her bir AR kaplama tabakası belirli bir dalga boyundaki ışığın yansımını azaltmaktadır. Bu nedenle bütün görünür bölgelerin yansımını azaltmak için çok tabakalı AR kaplamalar yapılması gerekmektedir. Ancak her bir kaplamada kaplamanın kırılma indisi, kalınlığı, homojenliği, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey tutunması etkenleri önemli roller oynamaktadır. Bu kaplamalarda çok düşük yansıtıcılık sağlanabilir ancak bu tür kaplamalar daha karmaşık ve pahalıdır (Temel S.,2010).

3.5.3 Emici AR Kaplamalar

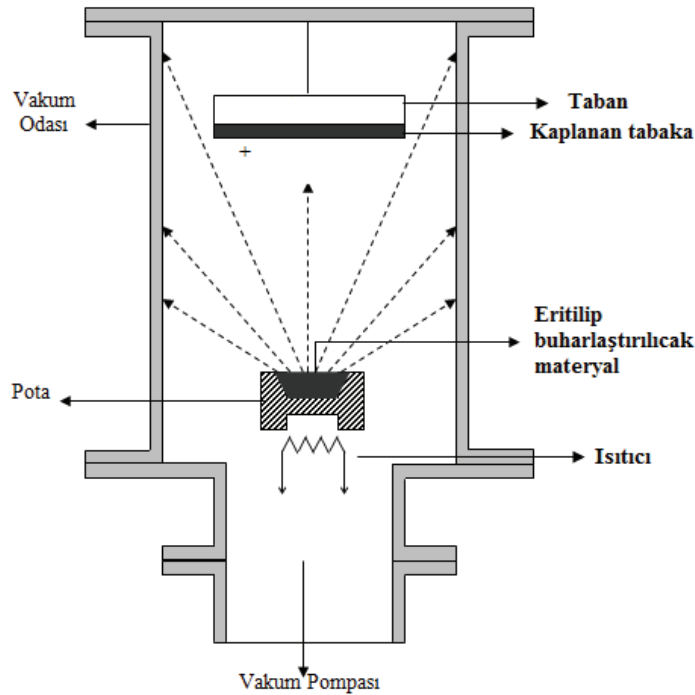
AR kaplamaların bir diğer çeşidi de emici AR kaplamalardır. Bu kaplamalar, düşük yansıma gereken ancak yüksek geçirgenliği bulunan malzemelerde kullanılabilir. Bu kaplamalar ile çok düşük yansıma sağlanabilir ve çok daha ucuzdur. Emici AR kaplamalar saçtırma tekniği ile depolanır. Örneğin, titanyum nitrit ve nitrit niobyum emici AR olarak kullanılır. Bu tür emici AR kaplamalar, kontrast geliştirme gerektiren uygulamalarda kullanılabilir (Temel S.,2010).

4.AR KAPLAMA TEKNİKLERİ

AR kaplama yapmak amacıyla endüstride Termal Buharlaştırma Tekniği ve Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği yaygın olarak kullanılan iki önemli tekniktir. ESOGÜ Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında bulunan Termiyonik Vakum Ark Tekniği ise bu tekniklerden farklı ve üstün özelliklere sahip bir teknik olup, AR kaplama yapabilen yeni bir tekniktir. TVA Tekniği Bölüm 5 de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

4.1 Termal Buharlaştırma Tekniği

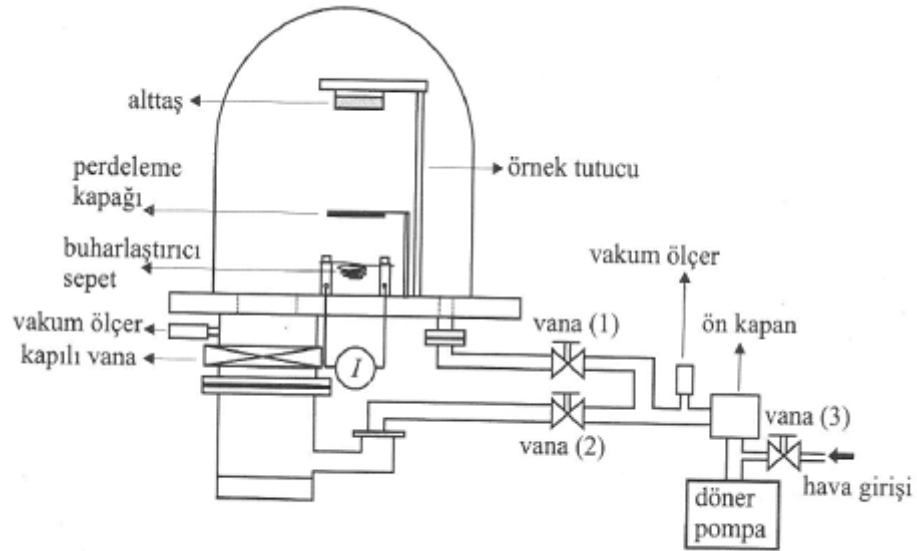
Termal buharlaştırma tekniği, yüksek vakum (10^{-7} mbar) altında, çoğunlukla metal tabanlı malzemelerin elektrik akımı ile ısıtarak buharlaştırılması işleminin yapıldığı ince film kaplama yöntemidir (Tarımcı ve Sarı,2006). Şekil 4.1.'de termal buharlaştırma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi (Akan,2003).

Bu yöntem ile yapılan kaplama işlemlerinin birçok uygulaması vardır. Sanayide AR kaplamaların yapımında yaygın olarak bu yöntem kullanılmaktadır. AR kaplamaların yanında, yarıiletken malzemelerin metal kontaklarının yapılması, yüzey metal kaplama işlemleri bu yöntemle yapılan işlemlere örnek verilebilir (Tarımcı ve Sarı., 2006).

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



Şekil 4.2 Termal buharlaştırma sistemin genel şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı., 2006).

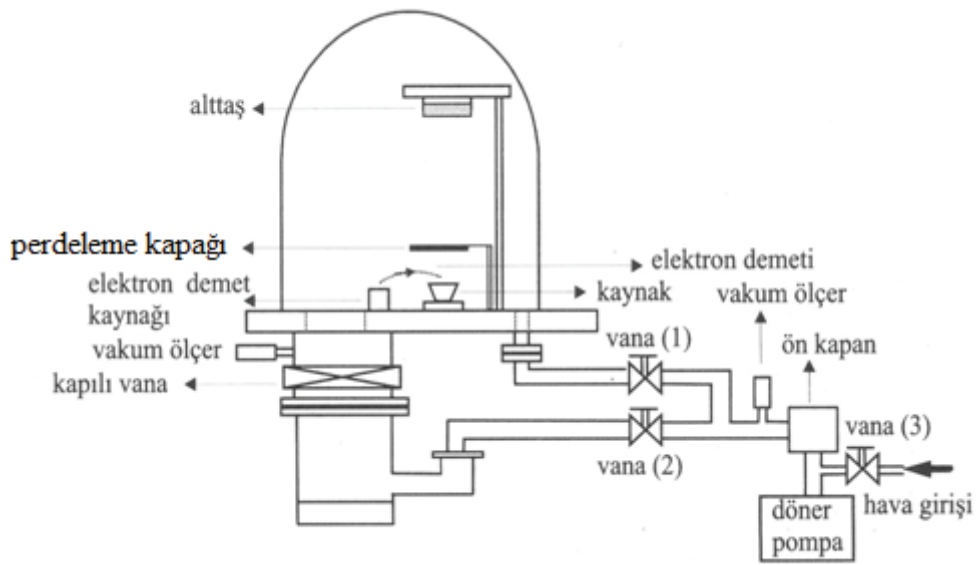
Bu kaplama tekniğinde, ısıtma işlemi pota aracılığı ile olduğundan buharlaştırma işlemi dolaylı olarak yapılmaktadır. Bu şekilde buharlaştırmanın, bir takım olumsuzlukları vardır. Buharlaşma sıcaklıkları çok yüksek olan malzemeleri örneğin wolfram(W), tantal(Ta) ve molibden (Mo) buharlaştırmak oldukça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

AR kaplama amacıyla bu sistemlere ek özellikler kazandırılır. Örneğin gözlük camlarını tutucu tepsiler, özel soğutma sistemleri, iyon tabancası vb. Bu sistemin TVA Tekniğinden farkı ise malzemenin buhar atomlarından kaplama yapmasıdır; TVA Tekniğinde ise malzemenin plazması oluşturur ve plazma atomları AR kaplamayı oluşturur. Plazma atomlarının enerjileri, buhar atomlarının enerjilerinden daha yüksek olduğu için plazma ile yapılan AR kaplamalar daha iyi özelliklere sahiptirler (Düşük yüzey pürüzlülüğü gibi).

4.2 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği

AR kaplama tekniklerinde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı tekniktir. Bu teknik ilke olarak termal buharlaştırma tekniği ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Bu tekniğin en belirgin farklılığı buharlaştırılacak kaynak dolaylı olarak değil de direk olarak ısıtılmasıdır. Bu teknikte kaynakları ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilir. Buharlaştırılacak kaynak malzemeyi ısıtma işlemi termal buharlaştırıcıda olduğu gibi pota üzerinden geçirilen akım yerine pota içine yerleştirilen kaynak malzeme üzerine hızlandırılmış ve odaklanmış elektron demeti yöneltilecek yapılmaktadır. Isıtma işlemi elektron demeti ile yapıldığından, elektron demetinin çapını küçülterek kaynağı etkin biçimde ve oldukça homojen bir şekilde ısıtmak mümkündür. Ayrıca pota su ile soğutulabildiğinden potanın yapıldığı metalin

buharlaşması önlenerek film üzerinde oluşacak safsızlıkta iyileştirilmiş olur. Direk ısıtma yapılabildiğinden buharlaşma sıcaklığı yüksek olan malzemelerin bu yöntemle buharlaştırılması yüksek erime sıcaklıklarına sahip pota bulma sorununu da çözdüğü için daha kolay olmaktadır. Şekil 4.3’ de elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi görülmektedir(Tarımcı ve Sarı., 2006).

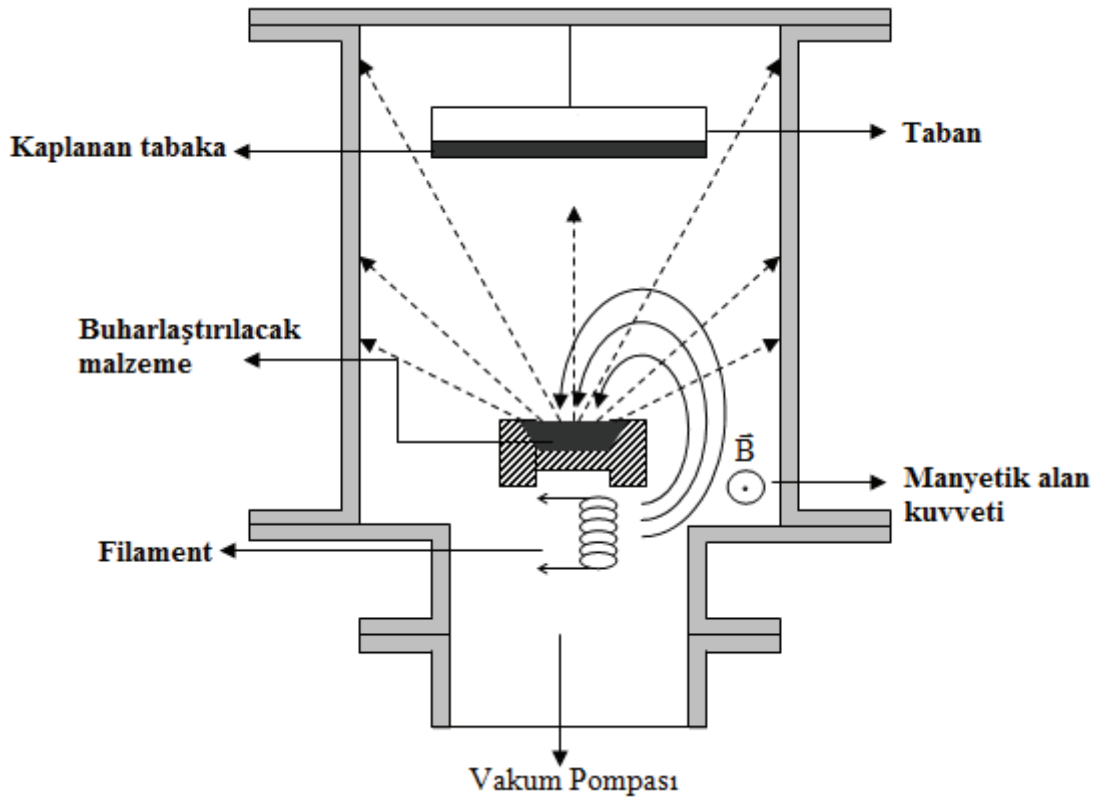


Şekil 4.3 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı., 2006).

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

altına konmuştur. Bu durum şekil 4.4’ de görülmektedir (Watchman and Haber, 1993; Akan 2003).

Elektron Demetli Buharlaştırma Sisteminin vakum odasının şematik gösterimi şekil 4.4 de gösterilmiştir (Roth, 2001).

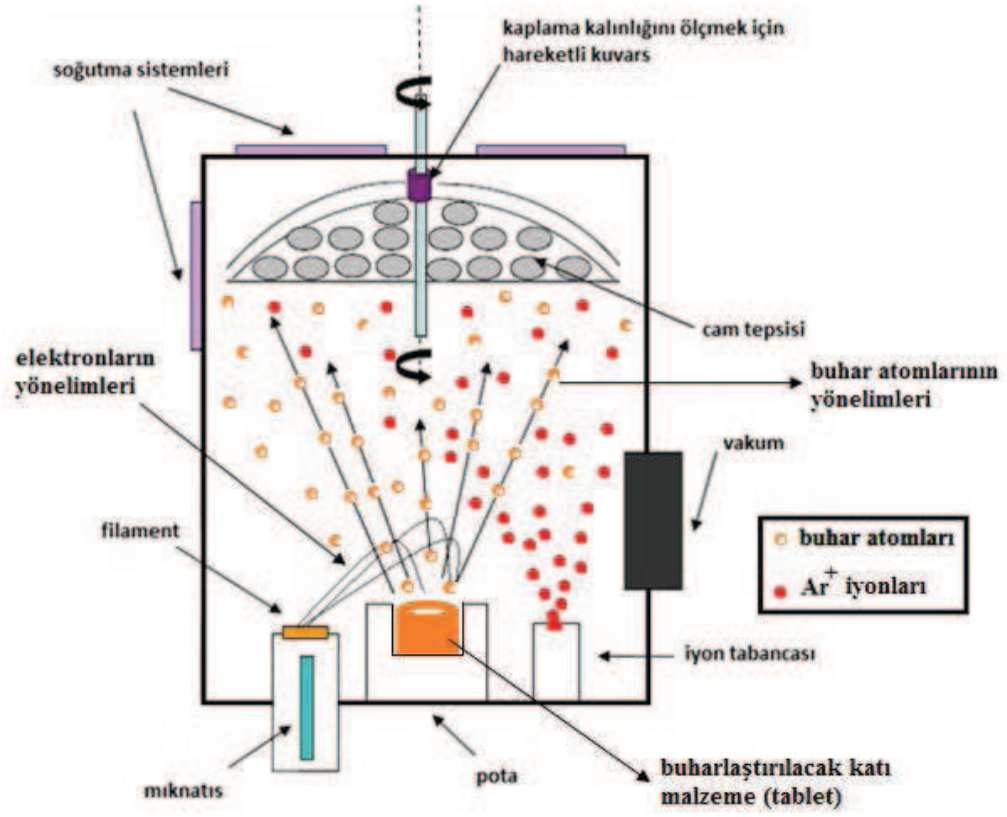


Şekil 4.4 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin vakum odasının şematik gösterimi (Akan, 2003).

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

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

Organik gözlük camlarına seri üretimle AR kaplama yapan üreticiler vakumda Elektron demetli buharlaştırma sistemi kullanırlar fakat sistemlerinde elektronla buharlaştırma amacıyla bir filament, filamentin altında yönlendirici mıknatıslar ve bunlara ek olarak bir iyon tabancası ve özel soğutma sistemleri vardır. İyon tabancası Argon gazını iyonlaştırarak, AR kaplama öncesi sert kaplaması yapılmış gözlük camlarına Ar^+ iyonlarının yüzeye hızlandırılmış bir şekilde çarpmasını sağlar. Ar^+ iyonları gözlük camı yüzeyindeki reçine tabakasının yüzeyinde pürüzler meydana getirir. Çok katmanlı AR kaplamalarında ara yüzeylerin pürüzlü olması gerekir bunun nedeni bir sonraki kaplamanın yüzeye iyi tutunmasını sağlamaktır. Reçine ile sertleştirilmiş ve ardından iyon tabancasıyla pürüzlendirilmiş yüzeye manyetik alanlar ile yönlendirilmiş elektronlar sayesinde ısıtılan AR kaplama malzemesi örneğin SiO_2 buharlaştırılarak buhar atomları pürüzlü yüzeye yapışır ve çoklu AR kaplamasının ilk katmanını meydana getirir.



Şekil 4.5 AR kaplama amacıyla endüstride kullanılan vakumda buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.

5. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ

5.1 Giriş

Gazlarda elektriksel deşarjın incelenmesi ilk kez 1800'lü yılların baslarında kararlı hal DC ark deşarjlarının ve daha sonra yüksek voltaj DC elektriksel deşarj tüpünün geliştirilmesi ile gerçekleşmiştir ve iyonlaşan gazın, maddenin dördüncü hali olan ve sürekli hareket halindeki negatif ve pozitif olarak yüklü parçacıklardan oluşan plazma hali olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra gazlarda oluşturulan elektriksel deşarj teknolojide özellikle aydınlatma sanayinde neon lambalar, sodyum lambalar gibi uygulamalarda kullanılmıştır. Ayrıca floresans lamba gibi cıva buharında meydana gelen metal buharı deşarjları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Metal buharı deşarjı üreten tekniklerden en bilineni ise püskürtme tekniğidir. Ancak püskürtme tekniği ile oluşan plazma saf metal buharı deşarjı değil, gaz-metal karışımı deşarjdır. Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniğinde ise anot materyalinin yüksek vakumda plazması oluşturulması esnasında tampon gazı kullanılmadığı için oluşan deşarj gaz karışımı içermeyen saf metal plazması olmaktadır. Başka bir deyişle TVA tekniği, yüksek vakumda, saf materyal plazması üreten bir tekniktir (Akan, 2002).

Yüksek vakumda (10^{-6} Torr) anot materyalinin plazmasının  retilbilmesi için 1983 yılında INFLPR (National Institute For Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Romania; Ulusal Lazer Plazma ve Radyasyon Fiziği Enstitüsü, B kres, Romanya)in alt grubu olan Düşük Sıcaklık Plazma Fiziği Grubu alışanlarından Prof.Dr.Geavit MUSA ve arkadaşları tarafından Termiyonik Vakum Ark (TVA) adında yeni tip bir vakum ark geliştirilmiştir (Musa et al., 1983).

25 yıllık araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda TVA tekniği literatürde plazma kaplama yapan sistemler arasında yerini almıştır. TVA'nın araştırma ve geliştirme alışmaları Türkiye'de Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuarları'nda devam etmektedir. Bu laboratuarlarda iki adet TVA sistemi bulunmaktadır. TVA tekniğinde erime noktası düşük materyallerin (Cu, Au, Ag, SiO, Si vb.), erime noktası

yüksek materyallerin (Re, B, C, Al_2O_3 vb.) ve çeşitli gazların plazmaları üretilerek bu üretilen plazmalar yardımı ile pürüzsüz saf ince filmler üretilmektedir. ESOGÜ Plazma Fiziği Laboratuarlarında ise 10 yıl içerisinde ilk defa seramik, yarı iletken, bor ve süper iletken filmlerin üretilmesi ve gözlük camlarının AR kaplanması gerçekleştirilmiştir (Balbağ, 2009). Şekil 5.1’de TVA sisteminin bir fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 5.1 TVA Sisteminin fotoğrafı

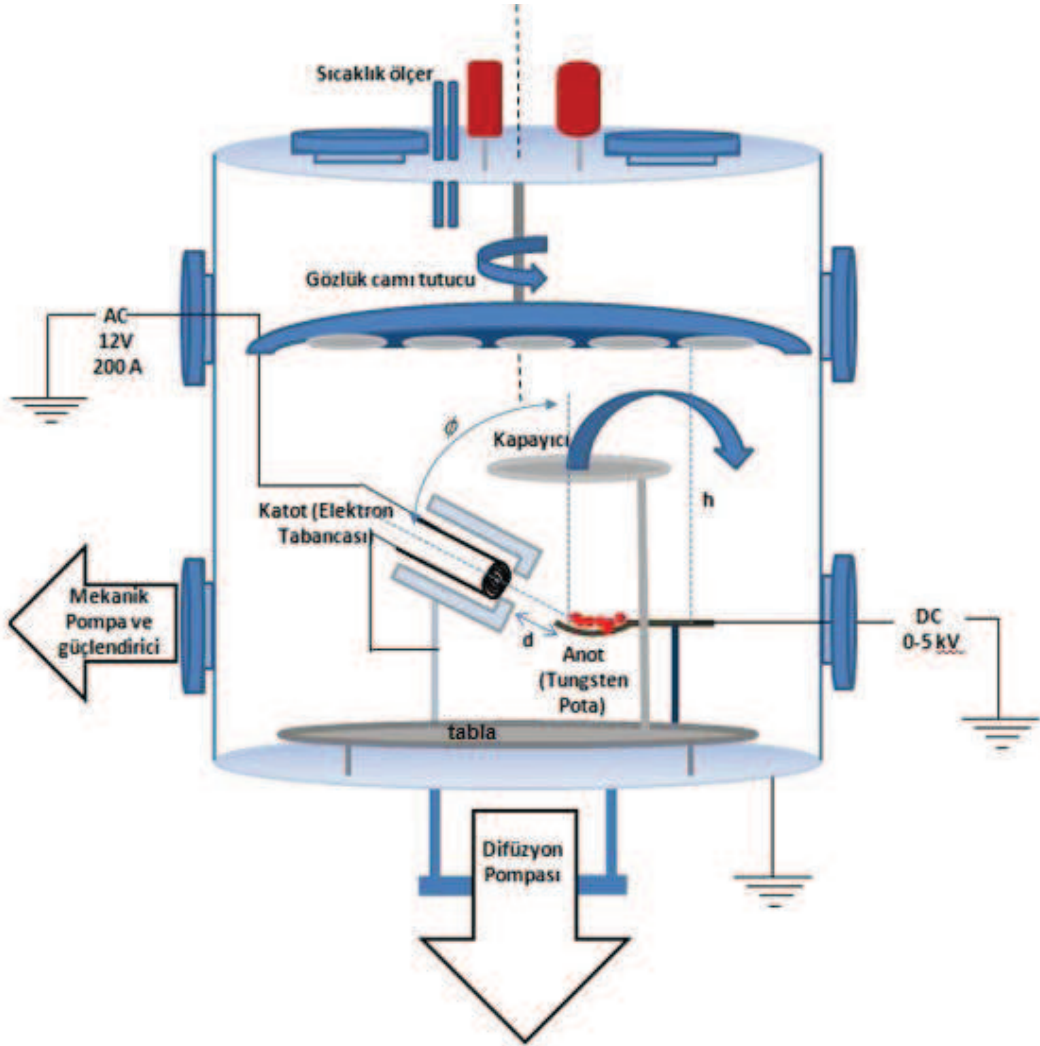
Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği; metal, seramik, yarıiletken gibi hemen hemen her materyalin plazmasını üretebilen bir tekniktir. TVA sisteminin vakum odası içinde, plazması oluşturulacak materyalin konduğu anot ve katot bulunur. Katottan yayınlanan elektronlar ve elektrotlar arasına uygulanan voltaj ile anot materyalinin saf, gaz karışımı ve makro-parçacık içermeyen, yüksek iyonlaşma dereceli plazması oluşturulur. TVA tekniği, pek çok yeni teknolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi iyon-destekli kaplama tekniğidir. Anot materyali iyonları ile bombardıman edilerek üretilen kaplamalar; son derece düz, pürüzlülüğu düşük, yoğun ve yüksek tutunmalı kaplamalar olmaktadır. TVA ile yapılan karbon ve bor kaplamalarda, yapıların nano boyutta olduğu görülmüş ve bu TVA tekniğinin nano teknoloji uygulamalarında da kullanımına sebep olmuştur (Musa et al., 2004).

5.2 TVA Sistemi

TVA sisteminin şematik gösterimi Sekil 5.2'deki gibidir. TVA sistemi 12 bölümden oluşur. Bunlar;

1. Vakum Odası,
2. Doğrudan ısıtmalı katot,
3. Anot materyali tutucusu,
4. Katot akımı ve anot potansiyeli güç kaynağı,
5. Pompalama sistemi,
6. Vakum ölçüm sistemleri,
7. Ampermetreler ve Voltmetreler sistemi
8. İnce film kalınlık ölçüm sistemleri,
9. Soğutma sistemleri,
10. Kapayıcı (Shutter)
11. Sıcaklık ölçer
12. Gözlük camı tutucusundan oluşmaktadır.

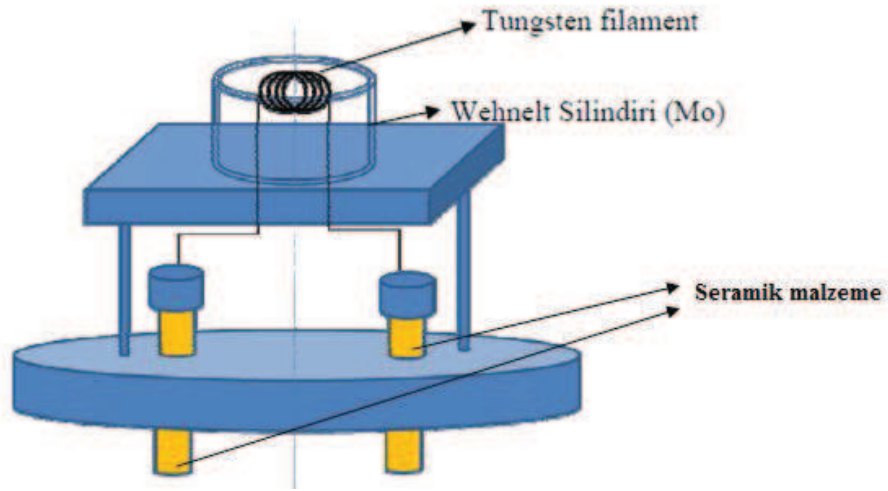
1. Vakum Odası: TVA sisteminin vakum odası, 10^{-9} Torr'da çalışabilecek paslanmaz çelikten özel olarak imal edilmiştir.



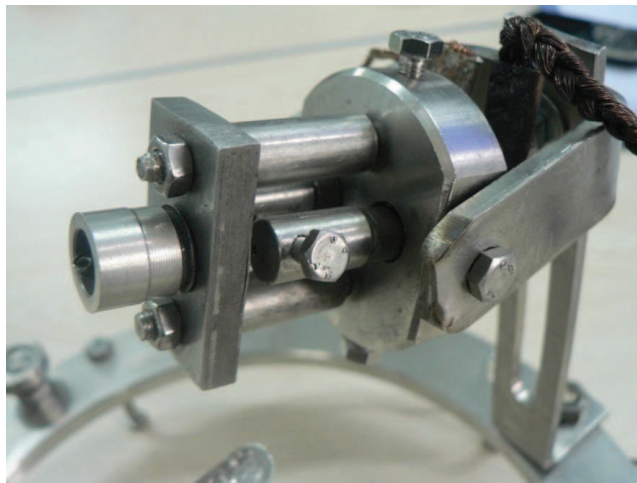
Şekil 5.2 Termiyonik Vakum Ark (TVA) Sisteminin şematik gösterimi

2. Doğrudan ısıtılmalı katot: Bir elektron tabancasıdır. TVA vakum odası içinde dört ayaklı bir tablaya sabitlenmiştir. Tungsten telden özel olarak yapılmaktadır ve üzerinden akım geçirilerek elektron emisyonu (yayımlı) oluşturulur. Oluşturulan bu elektron emisyonu bir Wehnelt silindiri içerisinde geçirilerek odaklanmaktadır. Odaklanma genellikle plazması oluşturulacak olan malzemenin üzerinde olacak şekilde yerleştirilir. Wehnelt silindiri negatif potansiyelle beslenir (topraklanır) ve bu şekilde elektronları

malzeme üzerine odaklar. Wehnelt silindirinin ucu ile materyal arasındaki mesafe TVA sisteminde bir parametredir ve d ile simgelenir. Şekil 5.2’deki ϕ ise elektron tabancasından çıkan elektron demetinin doğrultusu ile düşey eksen arasındaki açıdır. Şekil 5.3’te doğrudan ısıtmalı katodun şematik çizimi gösterilmektedir. Filamentin iki bacağı seramik malzemeler ile yalıtılır ve böylelikle burada oluşabilecek istenmeyen elektrik atlamaları (arklar) önlenmiş olur.



Şekil 5.3 Doğrudan ısıtmalı katodun şematik gösterimi (Balbağ, 2009)



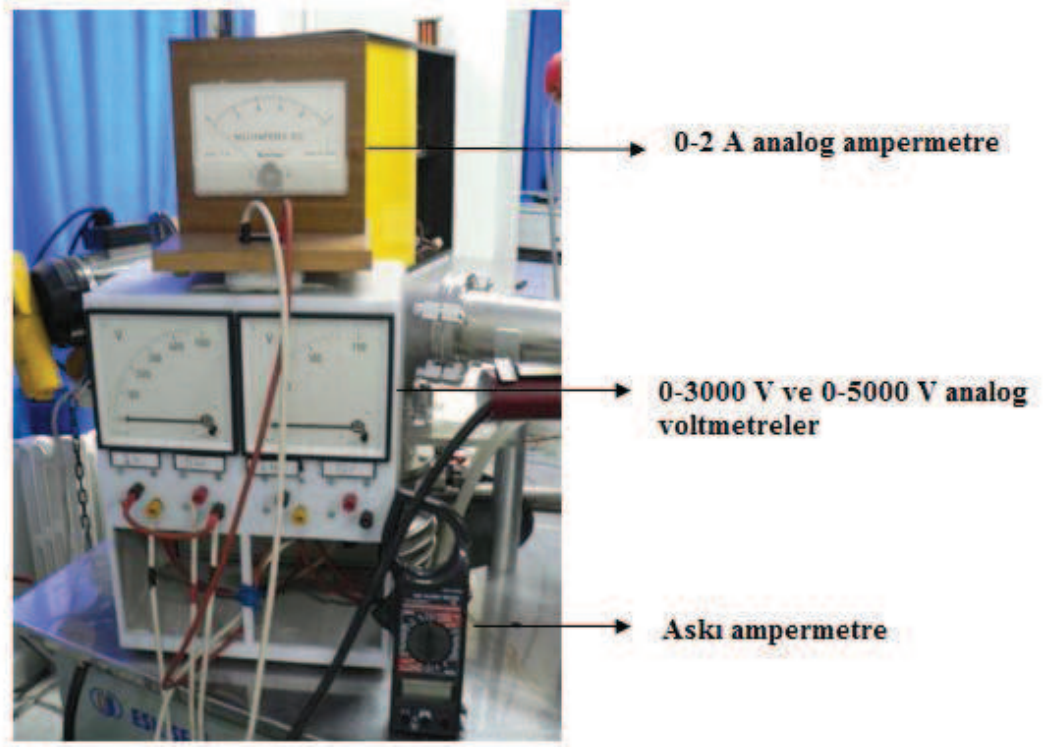
Şekil 5.4 Doğrudan ısıtmalı katodun (elektron tabancası) fotoğrafı

3. Anot materyali tutucusu: Yüksek erime sıcaklığına sahip malzemelerden yapılmış potadır. TVA vakum odası içindeki dört ayaklı tablaya sabitlenmiştir. Pota, tabla üzerine monte edilirken seramik malzemeler yalıtım amacıyla kullanılır. Çalışma esnasında alaşım yapma olasılığı olduğundan çeşitli elementler için çeşitli potalar kullanılması gerekir. Çizelge 5.1’de plazması üretilecek materyaller için kullanılan çeşitli pota materyalleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Çeşitli elementler ve gerekli pota materyali (Edwards, 2005)

Buharlaşacak Materyal	Pota Formu	Pota Materyali	Gözlem Sonuçları
Al	Çubuk	W	Pota Materyali İle Alaşım
	Küçük Taneli Toz	BN	—
Ag	Çubuk	W, Mo, Seramik	—
	Büyük Taneli Toz	W, Mo, Seramik	
	Küçük Taneli Toz	W	
Au	Çubuk	W	—
	Küçük Taneli Toz	W	
Cd	Çubuk	W, Ta, Seramik	—
Cr	Büyük Taneli Toz	W	Süblimleşme
Cu	Çubuk	W	—
Fe	Çubuk	W	Pota Materyali İle Alaşım
Ni	Tel	W	Pota Materyali İle Alaşım
Pt	Tel	W	—
Sb	Büyük Taneli Toz	W, Mo, Seramik	—
Sn	Büyük Taneli Toz	W	Oda Sıcaklığında Yoğunlaşma
Ti	İnce Taneli Toz	W, Grafit	Pota Materyali İle Alaşım
Zn	Çubuk	W, Mo	Süblimleşme
Zr	Büyük Taneli Toz	W	Pota Materyali İle Alaşım

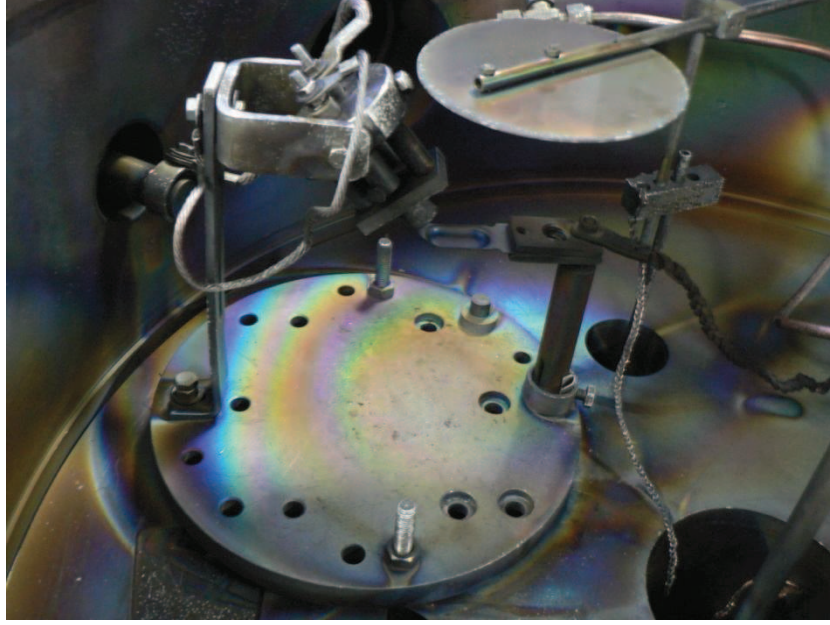
4. Katot akımı ve anot potansiyeli güç kaynağı: Katot ve anot güç kaynağı olarak aynı kabin içine yerleştirilmiş iki elektriksel kaynak kullanılmıştır. Bunlardan birincisi DC, 0-5kV ve 10kW kapasiteli ayarlanabilir çıkış voltajlı yüksek voltaj anot potansiyeli güç kaynağı, ikincisi ise 6V-400A AC ayarlanabilir çıkış voltajlı düşük voltaj katot akımı güç kaynağıdır.
5. Pompalama Sistemleri: Bir adet mekanik pompa ve bir adet difüzyon pompasından oluşmaktadır. Bu iki pompa sayesinde sistem 10^{-6} Torr basınca kadar düşürülür ve deneyler bu vakumda gerçekleştirilir.
6. Vakum ölçüm sistemi: Düşük basınçölçer sistemleri ($0-10^{-3}$ Torr) ve daha düşük basınç ölçüm sistemleri (10^{-3} Torr- 10^{-6} Torr) olmak üzere iki adet basınç ölçüm cihazından oluşmaktadır.
7. Ampermetreler ve Voltmetreler sistemi: Ampermetre ve voltmetreler ile termiyonik vakum arklarının oluşturduğu akım ve oluşma potansiyelleri ile potansiyel düşümleri ölçülebilmektedir. Bu cihazlar ile 0–2 A ve 0–5000 V DC ölçülebilmektedir. Ayrıca bir askı ampermetre (0-200 A) yardımı ile filament üzerinden geçirilen akım dijital olarak takip edilebilmektedir.



Şekil 5.5 Ampermetre ve voltmetreler sitesi

8. İnce film kalınlık ölçüm sitesi: İnce film kalınlık ölçüm cihazı olarak kuartz kristalli Cressington MTM 10 cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz ile 0,1 nm hassasiyetinde ölçüm yapabilmek mümkündür.
9. Soğutma sistemleri: Difüzyon pompasının soğutma ünitesi ve vakum odasının soğutma sistemlerinden oluşmaktadır. Vakum odasının dış yüzeyinde özel olarak imal edilmiş su kanalları bulunmaktadır. Bu kanallardan soğuk su dolandırılarak vakum odası için ayrıca bir soğutma sağlanır.
10. Kapayıcı (Shutter) : Deşarj oluşmadan önce, deney esnasında pota ve elektron tabancasının üzerini kapatarak gözlük camlarına malzemenin buharının gelmesini önler. Böylece deşarj başladığı anda gözlük camlarının yüzeyinde oluşabilecek kararsızlıkları engeller ve kalınlık kontrolünde kullanılır. Deşarj olduğu anda dışarıdan kontrol edilerek açılır ve plazmanın gözlük camlarına ulaşmasını sağlar. Kalınlık ölçerden istenilen kalınlık değerine ulaşıldığında

kapayıcı kapatılır. Şekil 5.6 da kapayıcı ile birlikte elektron tabancası ve potanın fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Kapayıcı ile birlikte elektron tabancası ve potanın düzenlenişi

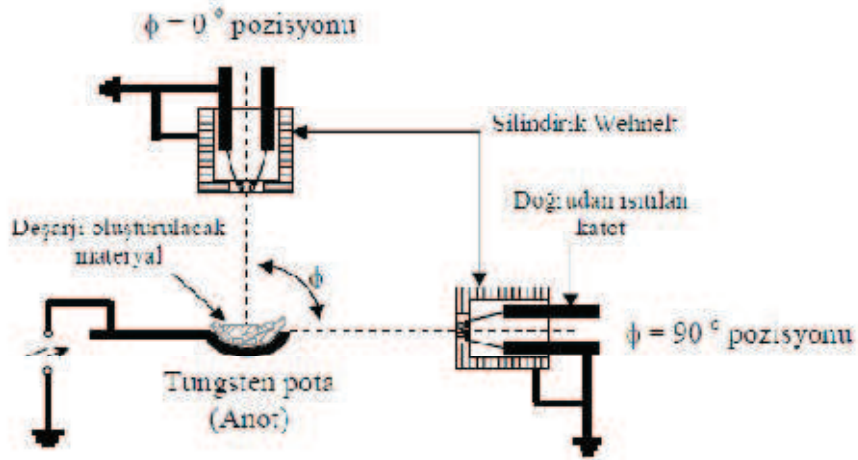
11. Sıcaklık Ölçer : Deney esnasında vakum odasının sıcaklığını ve gerekli durumlarda alttaşların sıcaklığını ölçmek için kullanılır.
12. Gözlük Camı Tutucusu: Kaplanacak olan gözlük camlarını tutmak için kullanılır. Toplam otuz bir adet gözlük camı tutma kapasitesine sahiptir. Deney süresince sabit hızlarla döndürülerek homojen ve çoklu kaplama yapılabilmesine olanak sağlar.



Şekil 5.7 TVA Sisteminde kullanılan gözlük camı tutucusu ve sistemdeki düzenlenişi

5.3 TVA'nın Elektrotlar Sistemi

TVA'nın elektrotlar sistemi, katot ve anot olarak isimlendirilen ve birbirlerine göre farklı konumlara getirilebilen iki elektrottan oluşur. Şekil 5.8 de elektrotlar sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Doğrudan ısıtılmalı katot ile TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi (Akan, 2003).

Katot, farklı kalınlıklardaki tungsten tellerden farklı çaplarda sarılarak elde edilen bir tungsten filamenttir. Katot filamenti molibden bir Wehnelt silindiri içine yerleştirilir. Anot ise, içine buharlaştırılarak plazması oluşturulacak materyalin konuğu kaşık şeklinde bir potadır. Katodun içine yerleştirildiği elektron tabancası ile anot, paslanmaz çelikten yapılmış bir tabla üzerine monte edilmiştir. şekil 5.6 ve şekil 5.9 da doğrudan ısıtılan katotlu elektron tabancası ile anodun, deney sırasında kullanıldığı biçimdeki düzenlenişinin fotoğrafı verilmiştir. Bu tabla üzerinde katot ile anot arasındaki açı ve uzaklık ayarlanabilmektedir. Böylece istenilen elektrotlar arası açı ve uzaklıkta TVA deşarj oluşturulabilmektedir. Elektrotların yerleştirildiği bu tabla, bir mekanik pompa ve difüzyon pompası yardımıyla son basınç değeri 10^{-6} torr yapılabilen ve basıncı dijital basınçölçer ile ölçülebilen bir vakum odası içine yerleştirilmiştir. Bu vakum odasının st kısmında bulunan kapak, bir kaldıraç yardımıyla açılıp kapanmakta ve elektrotların bulunduğu tabla vakum odasının içine kolayca yerleştirilebilmektedir. Vakum odasının n kısmında ise cam ile kapatılmış bir pencere yapılmıştır. Buradan vakum odasının içi gözlenebilmekte ve TVA deşarj oluştuktan sonra deşarj izlenebilmektedir.



şekil 5.9 TVA Sisteminde pota ve elektron tabancasının konumlandırılmasının fotoğrafı

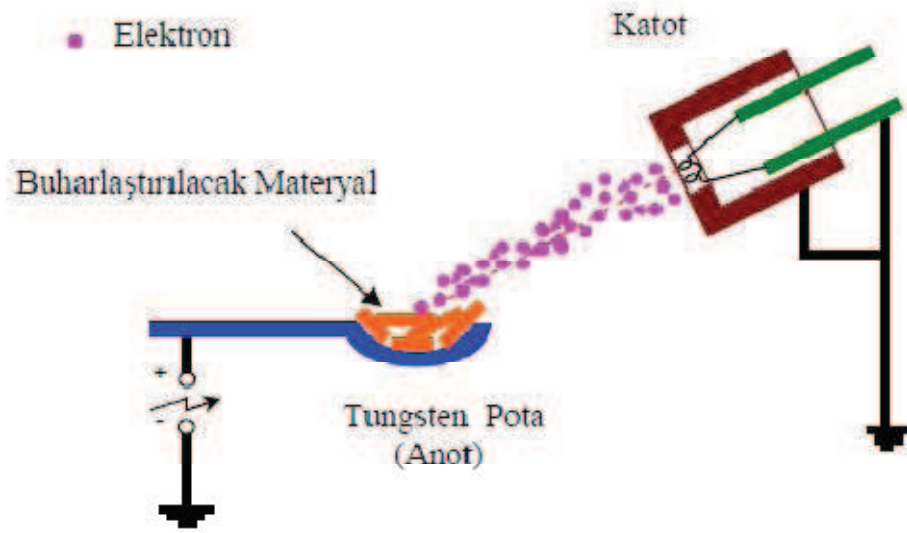
5.4 TVA Deşarj

Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniğinde; dışarıdan ısıtılan katottan yayınlanan elektronlar, anot içine yerleştirilen materyal üzerine yüksek voltaj yardımıyla bombardıman edilerek, anot materyalinin ısınarak eriyip buharlaştırılmasıyla deşarj oluşturulmaktadır yani anot materyalinin plazması oluşturulmaktadır.

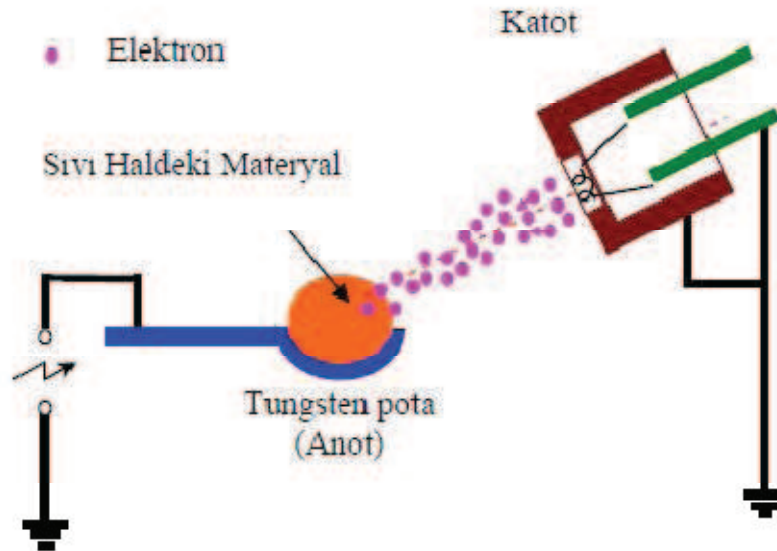
TVA deşarj, gazlarda meydana gelen ark deşarjlardan farklıdır. Gazlarda meydana gelen deşarjlarda gaza aktarılan elektriksel enerji, yalnızca gazın iyonlaşmasını ve iyon kayıplarını korumak için harcanırken, TVA'da deşarja aktarılan elektriksel enerji, hem arkın oluşacağı gazı hem de bu gazın iyonlarını aynı anda üretmek için harcanır. Bununla birlikte TVA deşarjın oluşması için gereken koşullar, deşarj oluşuktan sonra da korunmak zorundadır. Başka bir deyişle TVA, deşarj boyunca hem deşarjın oluşacağı gazı hem de bu gazın iyonlarını oluşturmaktadır.

TVA deşarjın oluşturulması için katot filamentini, AC düşük voltaj güç kaynağı ile istenilen ısıtma akımında ısıtılır ve böylece katottan termoelektron emisyonu sağlanır. Burada katodun bir ucu, düşük voltaj güç kaynağına bağlı iken diğer ucu elektrotların monte edildiği tablaya dolayısıyla vakum odasının üzerine bağlanmıştır. Böylece vakum odasının kendisi toprak olarak kullanılmıştır. Katot filamentinden elektron emisyonu sağlandıktan sonra anot ile katot arasına yüksek voltaj uygulanır. Anot ile katot arasına yüksek voltajın uygulanması ile katottan yayınlanan elektronlar, anot üzerine hızlandırıldığı gibi anot üzerine odaklanmış da olmaktadır. Bu, katot filamentinin içine yerleştirildiği Wehnelt silindirin toprak potansiyelinde tutulması nedeniyledir. Hızlandırılarak anot üzerine odaklanan elektron bombardımanı nedeniyle anot içindeki materyal üzerine enerji aktarılır ve bu enerji ile anot materyali ilk olarak ısınır. Uygulanan voltajın arttırılmaya devam edilmesi ile anot içindeki materyalinin erimesi ve daha sonra kaynayarak buharlaşması sağlanır. Elektrotlar arasına uygulanan voltaj arttırılmaya devam edilirse, elektrotlar arası uzayda anot metali atomlarının belirli bir yoğunluğunda ve uygulanan voltajın uygun değerinde, katottan yayınlanan elektron emisyonunun devam etmesi sebebiyle anot metali buharlarında parlak bir deşarj oluşur (Temel S.,2010).

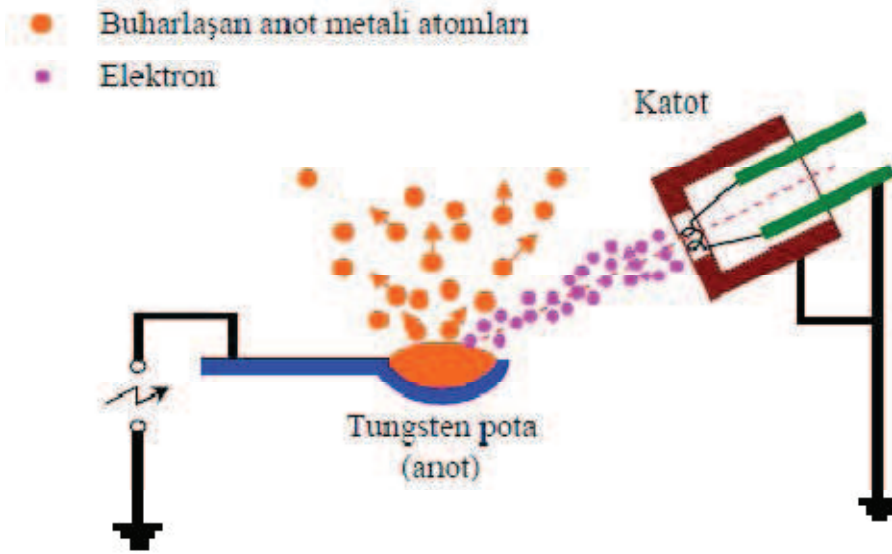
Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de ise TVA deşarjın nasıl gerçekleştiği şematik biçimde gösterilmektedir.



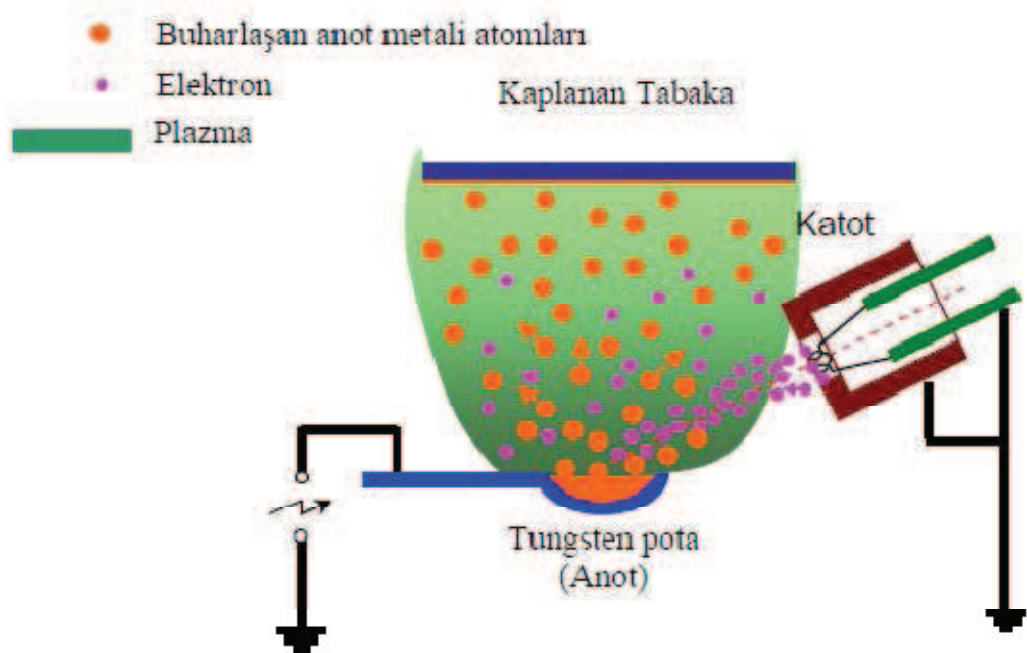
Şekil 5.10 TVA’da deşarj öncesinde tungsten potadaki katı haldeki materyal. (Karakaş,2006)



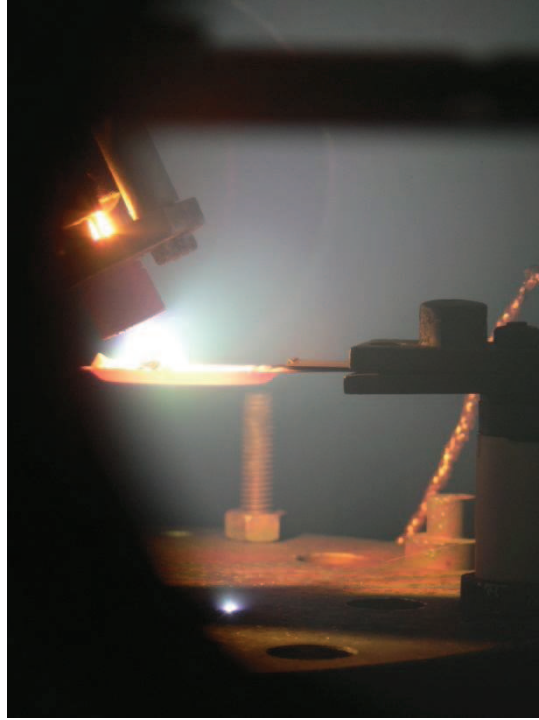
Şekil 5.11 TVA’da katı haldeki materyalin elektron bombardımanı yardımıyla sıvı hale geçmesi. (Karakaş, 2006)



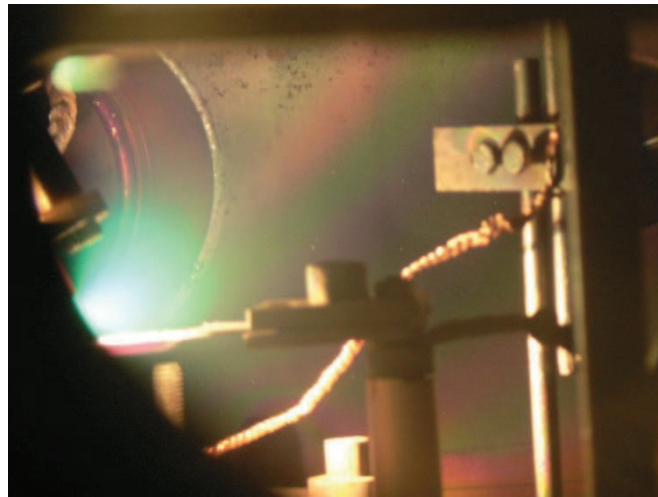
Şekil 5.12 TVA' da oluşan sıvı materyalin elektron bombardımanıyla gaz haline geçmesi. (Karakaf, 2006)



Şekil 5.13 TVA' da gaz haline geçen materyalin elektron bombardımanın devam etmesiyle plazma haline geçmesi. (Karakaf, 2006)



Şekil 5.14 TVA Sisteminde AlF_3 ün plazması



Şekil 5.15 TVA Sisteminde MgF_2 ün plazması

Deşarj oluştuğu anda elektrotlar arasındaki voltaj birden azalır, akım ise aniden yükselir. Deşarjın oluştuğu vakum odasının kendisi toprak olarak kullanıldığı için oluşan anot metali buharı plazması, anot üzerinden sürekli bir şekilde vakum çeperlerine doğru yayılır. Bu nedenle TVA'da oluşan plazmanın iyonları, ayrıca bir iyon hızlandırıcı kaynak olmadan yönlendirilmiş ve hızlandırılmış olmaktadır. Bu, TVA sistemini iyon-destekli kaplama yapan tekniklerden ayıran önemli bir avantajdır.

İyonlarla bombardıman edilerek yapılan kaplamaların son derece düz ve sıkı yapılar olduğu bilinmektedir. Ancak şimdiye kadar kullanılan sistemlerde iyon üretim kaynağına, iyonları hızlandırıcı kaynak da eklenmektedir (Temel S.,2010).

TVA sistemi ile şimdiye kadar birçok materyalin (bakır, gümüş, alüminyum, kalay, altın, nikel, alümina, zirkonyum oksit, bor, karbon, renyum, molibden, tantalyum, tungsten, berilyum gibi) plazması üretilmiş ve bu materyallerin ince filmleri ya da kalın kaplamaları yapılabilmektedir. Ayrıca TVA sistemi ile alaşım, yarı iletken ya da süper iletkenlerin ince filmlerinin üretilmesi de mümkün olabilmektedir. Üretilen bu filmlerin;

1. Yüksek saflıkta olduğu,
2. Yüksek tutunmaya sahip olduğu,
3. Düşük strete olduğu,
4. Düşük pürüzlülükte olduğu,
5. Son derece sıkı yapıda olduğu,

gözlenmiştir. Bununla birlikte, TVA sistemi ile her türlü taban malzeme üzerine kaplamalar yapılmıştır (Si, Cam, Kumaş, Plastik gibi) gerçekleştirilmiştir.

Doğrudan olmayan ısıtılmış katot kullanan Termiyonik Vakum Ark (TVA) ile son yıllarda erime sıcaklığı 1600°C'den daha büyük materyallerle de çalışılmıştır. C, W, Mo, Nb, Ta, Re ve B gibi erime sıcaklıkları yüksek olan materyallerin ince filmlerinin depolanması yapılmıştır. Bilindiği gibi tungsten erime sıcaklığı çok yüksek olan materyaldir ve Füzyon reaktörlerinde plazmanın içinde bulunduğu hacmin duvarlarına kaplanmak istenmektedir. Bununla birlikte TVA sistemi ile son yıllarda karbon depolamalarda teknolojinin talep ettiği son derece yüksek kalitede DLC filmler üretilmiştir (Musa(a) et al., 2005).

TVA kaplama sistemleri, her türlü malzemenin plazmasının oluşturulmasına, ince filmlerin üretilmesi ve hatta yüksek erime sıcaklığına sahip materyallerin ıslenmesinde dahi kullanılan bir sistemdir. TVA ile elde edilen ince filmler ile nano

teknolojik kaplamalar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmayla gözlük camı sektöründe nano teknolojik kaplamalar yapan TVA tekniği kullanılır hale gelebilecektir.

TVA tekniği oldukça yeni bir kaplama tekniğidir ve maddenin 4 hali olan plazma halini kullanarak kaplama yapar. Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı 1997 yılında Prof. Dr. Naci EKEM ve Prof. Dr. Geavit MUSA ve çalışma arkadaşları ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde kurulmuş ve Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. TVA, üniversitemiz Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında, bir tanesi düşük erime sıcaklığına sahip materyaller diğeri ise yüksek erime sıcaklığına sahip materyaller için olmak üzere iki adet bulunmaktadır.

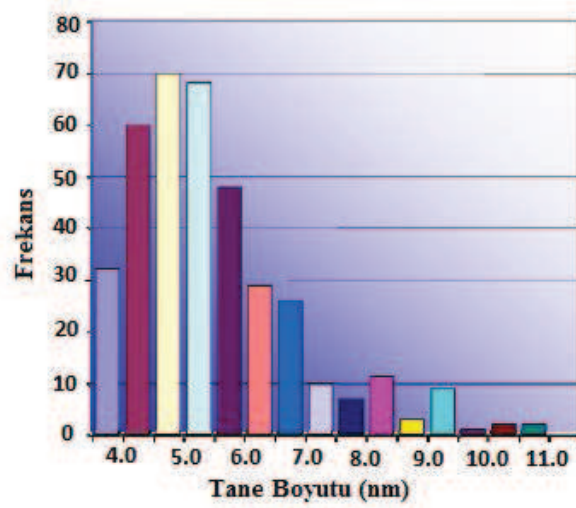
5.5 TVA ile Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri

TVA sistemi ile bugüne kadar üretilen ince film kaplamaların incelenmesi sonucunda aşağıdaki özellikler bulunmuştur;

- Üretilen ince filmlerin yüksek saflıklarda olduğu (sadece kaplaması yapılacak materyalden ince filmler üretilebilmekte ve safsızlık atomları eser miktarlardadır) (Pat et al., 2005; Akan et al., 2005).
- İnce filmlerin yüzey tutunmalarının oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir ve bu tutunmaların TVA sistemi ile ayarlanabilmesi söz konusudur (Pat et al., 2005).
- İnce filmlerin kaplama gerilmelerinin düşük olması nedeni ile kaplama yaptıktan sonra her hangi bir ısıl işleme tabi tutulmasına gerek kalmadığı gözlenmiştir. Bugüne kadar üretilen yarı iletken ince filmlerin yasak enerji aralıklarının tavlama sıcaklıkları ile çok küçük miktarlarda (ihmal edilebilir seviyelerde) değiştiği gözlenmiştir (Vladoiu et al., 2003).
- TVA sistemi ile üretilen ince filmlerin yüzey pürüzlülüğünün düşük olduğu gözlenmiştir. (amorfsunı karbon ince filmlerde yüzey pürüzlülüğü 0,7nm bulunmuştur) (Ekem et al., 2008).

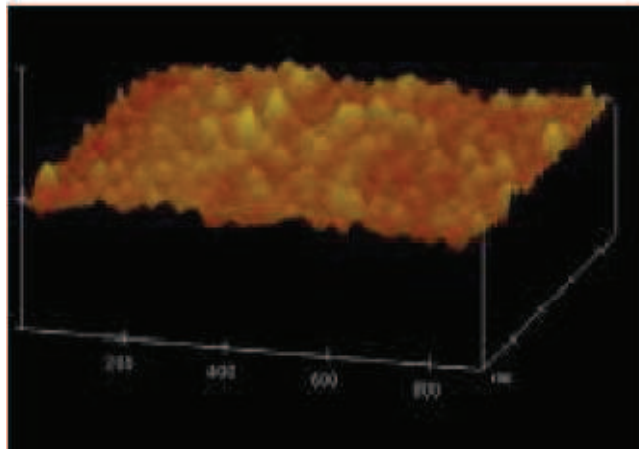
- TVA ile üretilen ince filmlerin oldukça sıkı yapıda olduğu gözlenmiştir.
- TVA ile üretilen ince filmlerin TEM analizleri sonucunda üretilen ince filmlerin nano desenler şeklinde olduğu gözlenmiştir (Akan et al., 2007; Balbağ et al., 2007; Musa et al., 2006).
- TVA sistemi ile ayrıca çok yüksek erime sıcaklığına sahip olan refraktör metallerinde ince filmleri kolaylıkla üretilebilmekte ve bu materyallerin işlenmesi de gerçekleştirilebilmektedir (Surdu et al., 2007; Musa et al., 2007; Vladioiu et al., 2007; Lungu et al., 2006; Vladioiu et al., 2006; Lungu et al., 2005; Musa(a) et al., 2005; Lungu et al., 2004; Musa et al., 2004).
- TVA plazmalarının iyon enerjileri kontrol edilebildiğinden dolayı ince filmin alt tas üzerine difüzyon derinliği isteğe bağlı olarak değişebilmektedir (Vladioiu et al., 2003).
- TVA ile kaplama yapılırken ince film depolama oranı ayarlanabilmektedir (Musa et al., 1984; Akan(a) et al 2006).
- TVA sistemin en önemli özelliklerinden bir tanesi ise istenilen alt taslar üzerine her türlü kaplamaların yapılabilmesidir. Örneğin; bugüne kadar çelik, silisyum, BK7 camı, mikroskop camı, krom ince filmler, NaCl kristali, bakır, alüminyum ve plastik gibi çeşitli alt taşlar üzerine de kaplamalar gerçekleştirilmiştir (Musa et al., 1984; Akan(a) et al 2006).
- Kullandığımız TVA ince film üretim sistemi %80 oranında yerli yapımdır. Yerli imkânlarımızla tasarlayıp, gerçekleştirdiğimiz parçalar vakum odası, elektriksel güç kaynakları, elektrotların tasarlanması ve geometrileridir. Böylece bu sistem için yurt dışına bir bağımlılık söz konusu değildir.

Sekil 5.16' da TVA ile elde edilen ince filmlerin tane boyutu analizi sonuçları gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi 5–6 nm' den daha küçük tane yapıları ince filmlerde çok miktarda bulunmaktadır.



Şekil 5.16 TVA ile üretilen ince filmlerin tane boyutu grafiği (Surdu et al., 2007)

Sekil 5.17' de verilen TVA ile üretilen amorf suni karbonun AFM görüntüsünde (1000nm x 1000nm) karbon ince filmlerin yüzeyi oldukça pürüzsüz olduğu görülmektedir. AFM cihazı ile yapılan pürüzsüzlük analizi sonucunda karbon ince filmin pürüzsüzlüğü 0.7 nm olarak bulunmuştur.



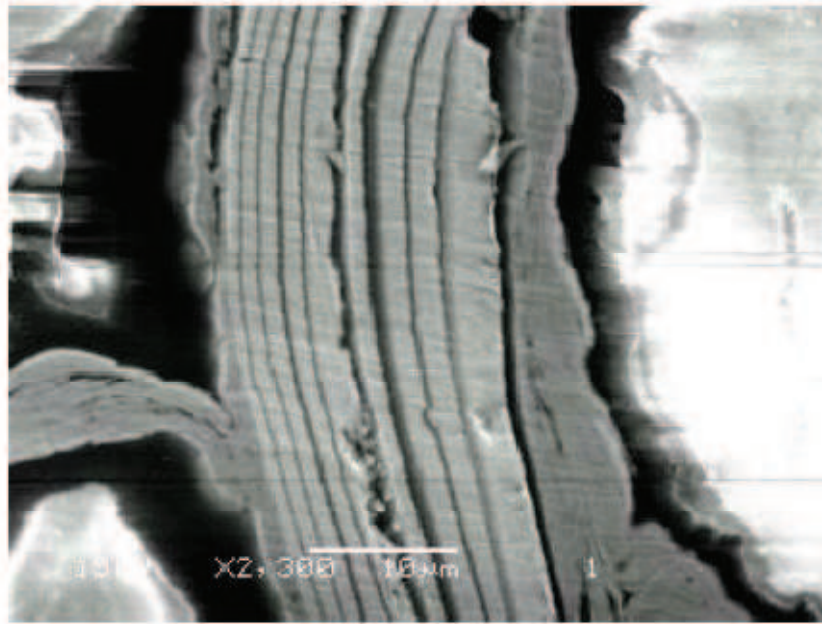
Şekil 5.17 TVA ile üretilen karbon ince filmin AFM görüntüsü (Ekem at al.,2008)

TVA ile üretilen karbon filmin XRD analizleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Bu çizelgede karbon ince filmin XRD sonuçlarına göre WC hekzagonal, elmas kübik form, grafit hekzagonal formda olmak üzere üç kristal sistem görülmektedir.

Çizelge 5.2 TVA ile üretilen karbon ince filmlerin XRD sonuçları (Ekem et al., 2008)

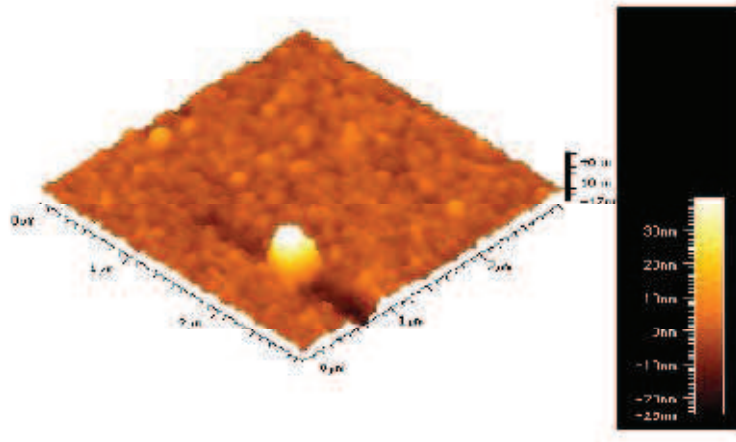
Material	Form	a	b	c
Graphite	Hexagonal	2.47000	2.47000	6.80000
Diamond	Cubic	3.56000	3.56000	3.56000
WC	Hexagonal	2.99704	2.99704	4.72790

Sekil 5.18’de TVA ile üretilen Ag-Al₂O₃ nano katmanlı kompozitin SEM görüntüsü gösterilmiştir. Bu görüntüden de görüldüğü gibi ara kesit yüzeyleri oldukça düzenli bir şekildedir.



Şekil 5.18 TVA ile üretilen Ag-Al₂O₃ nano katmanlı kompozitin SEM görüntüsü (Akan(b), 2006)

TVA tekniği ile erime noktası yüksek olan materyallerin kaplanması gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 5.19 da TVA' da üretilen tungsten ince filmin AFM görüntüsü yer almaktadır. AFM görüntülerinden de anlaşılacağı gibi TVA tekniği ile kaplanan tungstenin yüzeyi oldukça pürüzsüzdür.

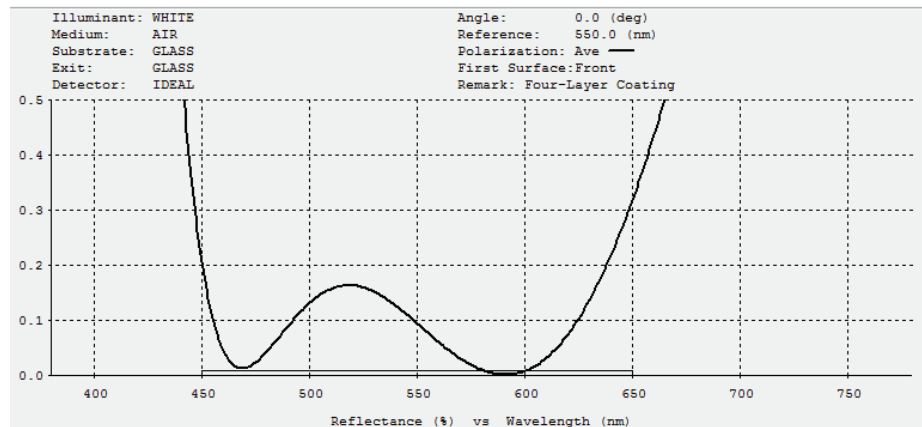


Şekil 5.19 TVA' da üretilen tungsten ince filmin AFM görüntüsü (Musa(b) et al., 2005)

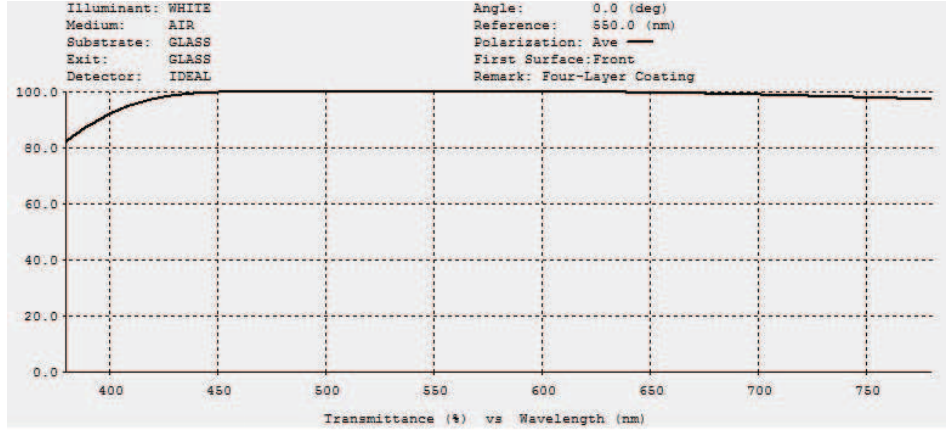
6. TVA TEKNİĞİ İLE ORGANİK GÖZLÜK CAMLARINA ÇEŞİTLİ KAPLAMALARIN YAPILMASI

Bu tez çalışması kapsamında TVA tekniği ile organik camlar üzerine tek katmanlı MgF_2 , SiO_2 ve ZrO_2 malzemelerinin kaplamaları yapılmıştır. Kaplama öncesi tek katmanlı modellemeler TFCalc 3.5.6 Thin Film Design Demo (TFC) programı ile yapılmıştır. Kaplanan organik gözlük camlarının UV spektrum ölçümleri alınarak geçirgenlik değerleri ve Filmetrics F20 cihazı ile yansımaya, kalınlık ve kırılma indisi değerleri belirlenmiştir. Ayrıca AFM ve SEM ölçümleri de alınarak kaplanan organik gözlük camlarının yüzey özellikleri belirlenmiştir.

Optik modelleme yapabilen TFC programı ile filtre modellemeleri, gözlük camlarına tek ve çok katmanlı AR kaplama modellemeleri, tam yansıtıcı ayna modellemeleri vb. yapılabilmektedir. Gözlük camları için uygun taban malzeme ve materyallerin kırılma indisleri girilerek ön ve arka yüzeylere istenilen katman sayıları, kaplama kalınlıkları girilir ve modellemeler elde edilir. Bu program ile geçirgenlik, yansımaya, absorbans, optik yoğunluk vb. gibi optiksel özelliklerin değişimleri elde edilebilir. TFC programı ile örnek bir modelleme sonucunda elde edilen 4 katmanlı farklı kalınlıklardaki TiO_2 - MgF_2 kaplamasının yansımaya ve geçirgenlik grafikleri Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 de verilmiştir.



Şekil 6.1 TFC programı ile modellenmiş 4 katmanlı TiO_2 - MgF_2 kaplamasının yansımaya grafiği



Şekil 6.2 TFC programı ile modellenmiş 4 katmanlı $\text{TiO}_2\text{-MgF}_2$ kaplamasının geçirgenlik grafiği

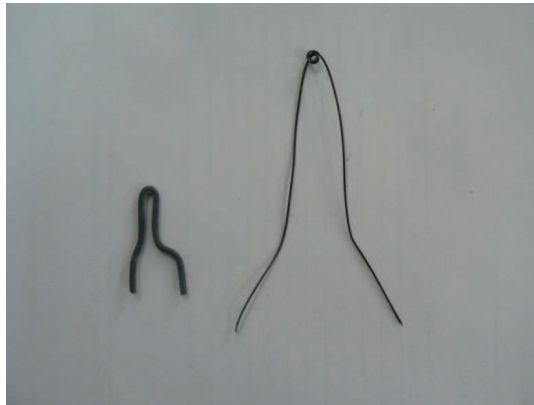
Bu tez çalışmasında organik gözlük camlarına tek katmanlı MgF_2 , SiO_2 ve ZrO_2 malzemelerinin AR kaplamaları yapılmadan önce TFC programı ile modellemeleri yapılmış yansımaya ve geçirgenlik grafikleri çizdirilmiştir.

6.1 TVA Tekniği ile Organik Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı MgF_2 Kaplanması

MgF_2 optik kaplamalarda kullanılan en yaygın ince film materyallerindedir. Geniş geçirgenlik aralığı, düşük kırılma indisi değeri (550 nm de $n=1,38$) ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı görünür bölgede çok iyi bir AR kaplama malzemesi olarak kullanılır. Düşük kimyasal reaktivlik özelliği de gösteren MgF_2 , gözlük camları, güneş gözlükleri, dürbün, mikroskop, teleskop objektifleri, LCD monitörler, TV ekranları gibi optik cihazlara AR kaplama olarak kaplanırlar. Gözlük camlarında ise yansımaya azaltarak daha net bir görüş elde etmek amacıyla genellikle tek katmanlı AR kaplama olarak yüzeye uygulanırlar.

Organik gözlük camlarına tek katmanlı AR kaplamaların yapılması işlemi, ESOGÜ Fizik Bölümü Plazma Teknolojileri ve Araştırma Laboratuvarında bulunan TVA Sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle kaplanacak organik gözlük camlarının (OGC) temizleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem Ultrasonik Temizleme cihazı ile on dakika saf su, on dakika etil alkol ve son olarak on dakika tekrar saf su ile yıkama işlemidir. AR kaplamanın kaliteli olması amacıyla yüzeyinin tamamen kuru olması gerekmektedir bu nedenle yarım saat yıkanan OGC ler, 30-40 dk arası kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan OGC ler gözlük camı tutucuya steril bir şekilde yerleştirilmiştir. Gözlük camı tutucunun bütün haznelere OGC ler yerleştirildikten sonra elektron tabancası ve pota hazırlanmıştır. TVA sisteminde OGC ler üzerine MgF_2 kaplamak amacıyla anot olarak tungsten pota kullanılmıştır. Elektron tabancasında ise 0,5 mm çapındaki tungsten tel katot olarak kullanılmıştır. TVA Sisteminde kullanılan farklı çaplardaki filamentler ve tungsten pota şekil 6.3 ve şekil 6.4 de gösterilmiştir. Tungsten potaya %99,9 saflıktaki katı MgF_2 malzemesi konularak sistem hazır hale getirilmiştir. Mekanik pompa sayesinde sistem önce 10^{-3} Torr a kadar vakumlanmış daha sonra difüzyon pompası devreye sokularak sistemin basıncı 10^{-5} Torr mertebesine düşürülmüştür.



Şekil 6.3 TVA Sisteminde kullanılan 1mm ve 0,5mm lik tungsten filamentler

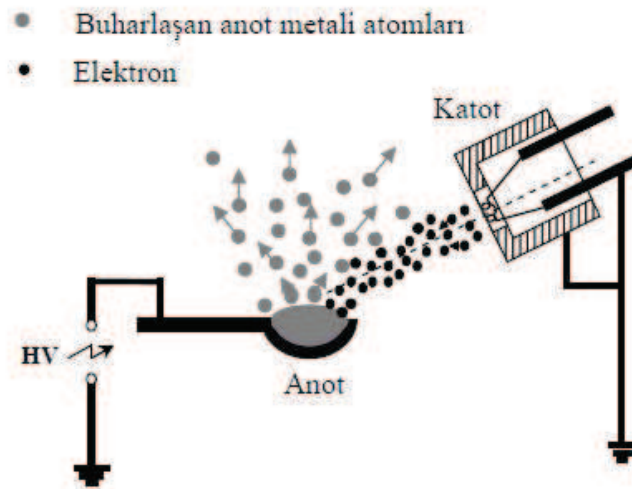


Şekil 6.4 TVA Sisteminde kullanılan yüksek erime sıcaklığına dayanıklı tungsten pota

TVA sistemi ile MgF_2 deşarjı oluşturulmuş ve sabit hızla dönen gözlük camı tutucusu içindeki OGC ler MgF_2 plazmasına 4 dakika süreyle tabii tutulmuştur. Bu şekilde TVA sistemi ile OGC le üzerine tek katmanlı MgF_2 kaplaması elde edilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler çizelge 6.1 de verilmiştir.

Çizelge 6.1 MgF_2 için TVA Sisteminin çalışma parametreleri

Vakum Odasının Basıncı (P)	Voltaj (V)	Filament Akımı I_F	Bombardıman Akımı I_B	Zaman (t)
$2,83 \times 10^{-5}$ Torr	1500 V	24 A	1,6A	4 dk



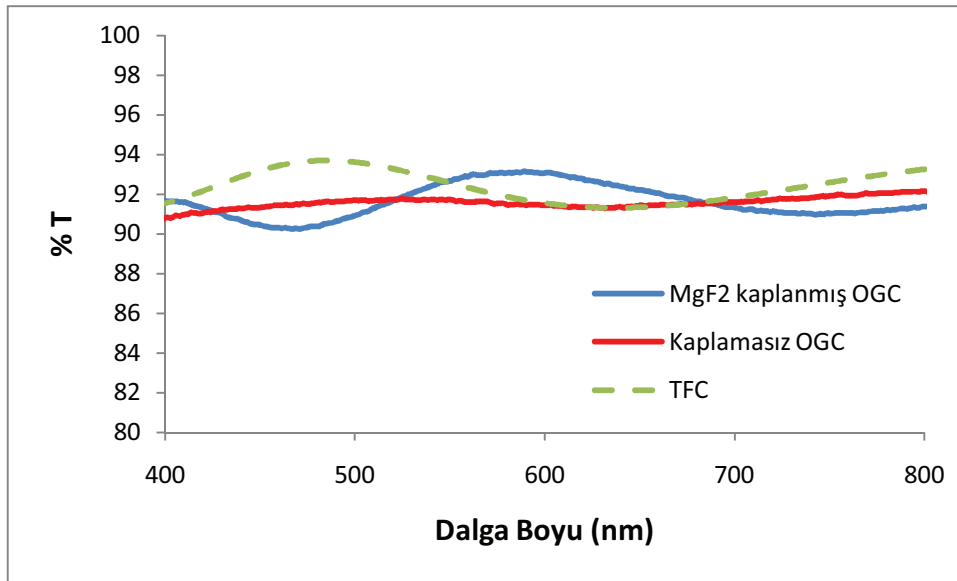
Şekil 6.5 TVA'da oluşan deşarjın şematik gösterimi (Balbağ, 2009).

TVA Tekniğinde termal iletkenlik, buhar basıncı ve malzemelerin erime noktaları önemli birer parametre olup bu tez çalışmasında kullanılan malzemelerin bu parametreleri çizelgeler halinde verilmiştir.

Çizelge 6.2 MgF₂ ün kırılma indisi, termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime noktası değerleri

Kırılma İndisi	Termal İletkenlik	Buhar Basıncı	Erime Noktası
n=1,38	14-15 (W/m.°K)	$7,5006 \times 10^{-3}$ (1150 °C)	1263°C

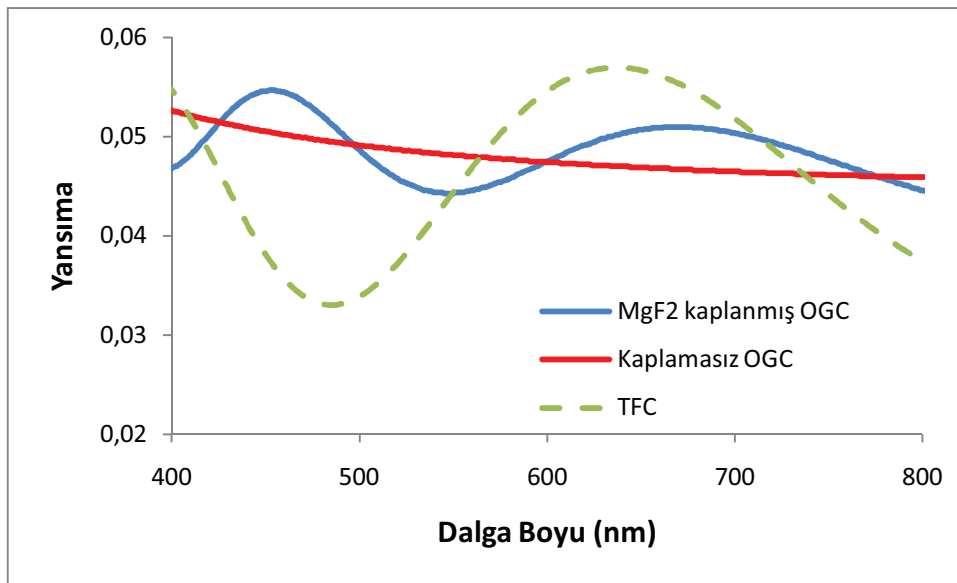
MgF₂ ile kaplanan gözlük camlarının optik özelliklerini belirlemek amacıyla oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmüştür. Bu ölçümler 400–800 nm dalga boyu aralığında Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmıştır. Daha önce optik modellemesi yapılmış MgF₂ kaplı OGC ler için alınan geçirgenlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. UV spektrum ölçümleri alınan MgF₂ kaplı gözlük camlarının geçirgenlik sonuçları ve modelleme sonucu şekil 6.6 da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş geçirgenlik spektrumları

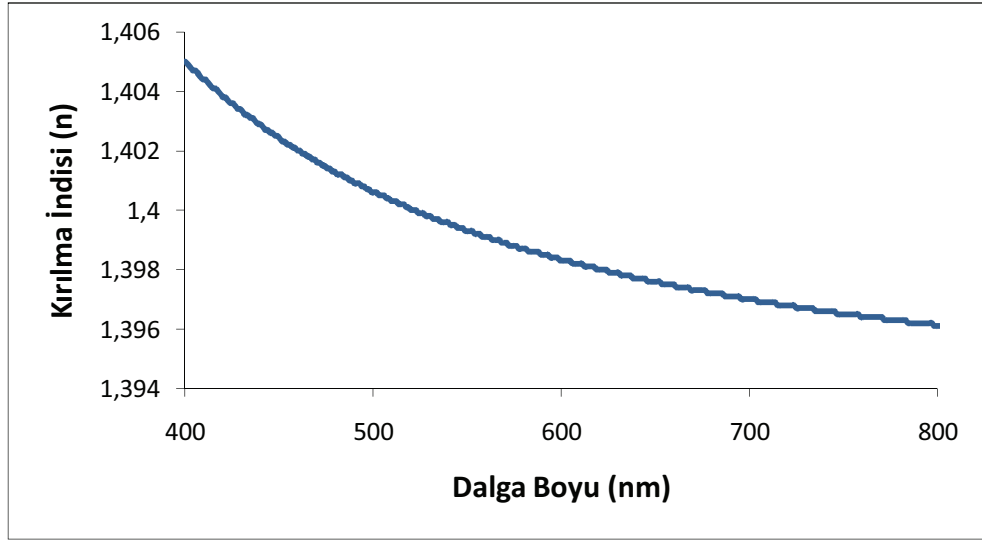
MgF₂ kaplı OGC nin geçirgenlik değerleri, kaplanmamış OGC lerin geçirgenliği ile kıyaslandığında 500-700 nm aralığında artmış ve %93 mertebelerindedir. Kaplama öncesi yapılan optik modelden elde edilen geçirgenlik değeri ise yaklaşık %94 olarak elde edilmiştir.

TVA sistemi ile MgF₂ kaplanmış OGC lerin yansımaya, kalınlık ve kırılma indisi ölçümleri Filmetrics F20 cihazı ile alınmıştır. Ölçümler sonucunda kaplama kalınlığı 422 nm olarak belirlenmiştir. Kaplanmış OGC lerin 550 nm dalga boyundaki ortalama kırılma indisi değeri ise 1,39 dur. MgF₂ kaplanmış OGC lerin yansımaya ve kırılma indisi değişimleri şekil 6.7 ve şekil 6.8 de verilmiştir.



Şekil 6.7 Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş yansımaya değerleri

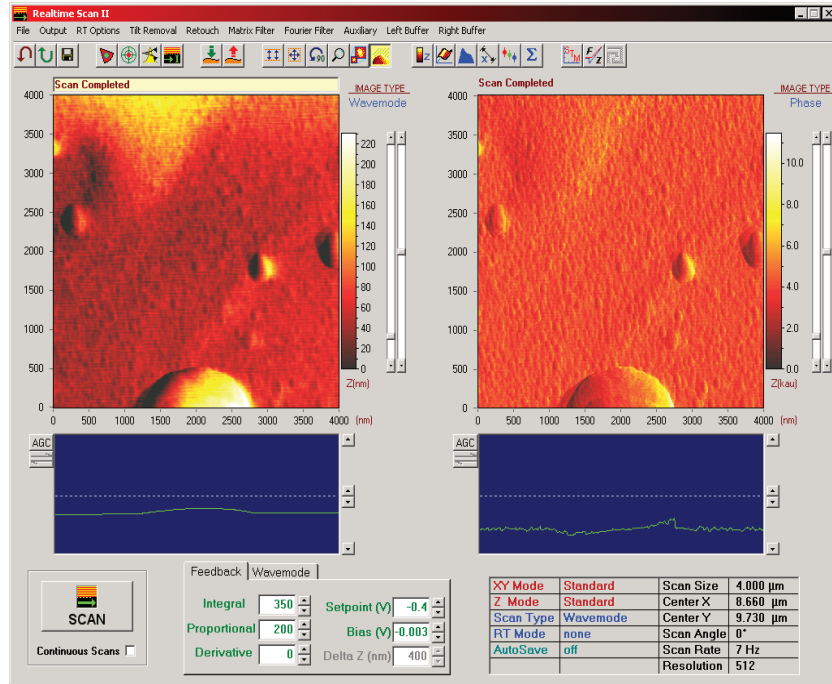
Tek katmanlı MgF₂ kaplı OGC lerin yansımaya değerleri 500-600 nm aralığında kaplanmamış OGC lere göre azaldığı görülmektedir.



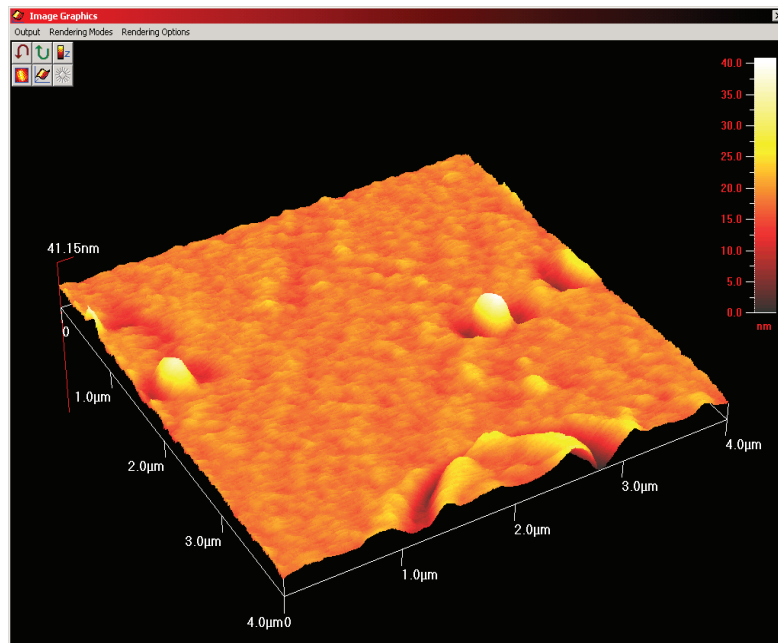
Şekil 6.8 Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi değerleri

TVA sistemi ile MgF₂ kaplanmış tek katmanlı OGC lerin kırılma indisi değerleri dalga boyu artışıyla azalmaktadır ve 550 nm deki değeri n=1,39 olup literatür ile uyumludur.

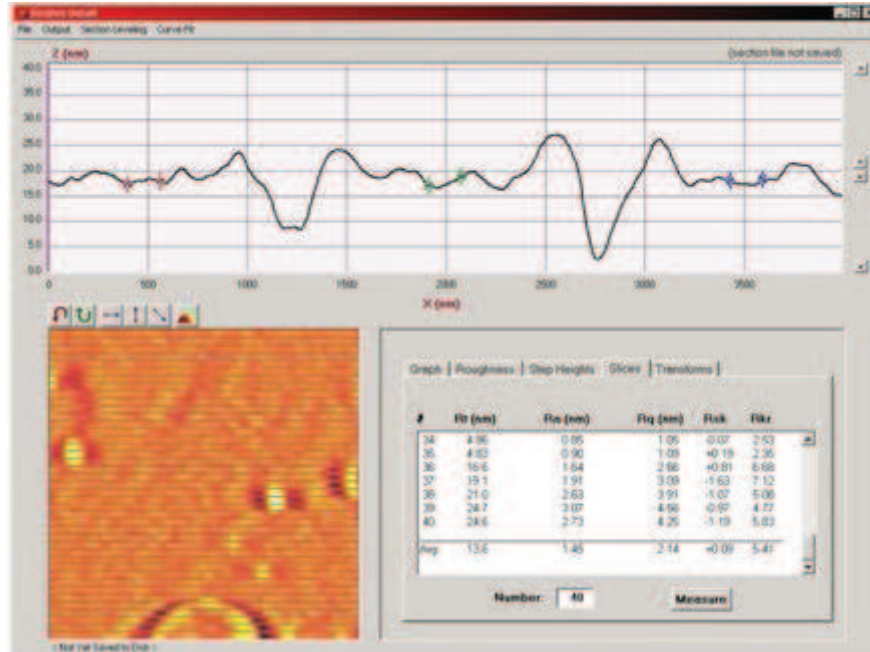
Üretilen tek katmanlı MgF₂ kaplamalarının yüzey analizleri Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu ile yapılmıştır. İki boyutlu ve üç boyutlu AFM görüntüleri Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Tek katmanlı MgF_2 kaplı OGC lerin iki boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm)



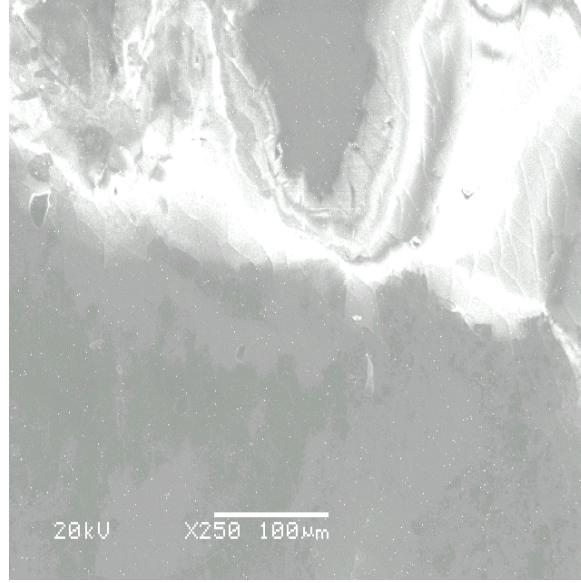
Şekil 6.10 Tek katmanlı MgF_2 kaplı OGC lerin üç boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm)



Şekil 6.11 Tek katmanlı MgF₂ kaplı OGC lerin yüzey pürüzlülüğü analizi (4000 nm x 4000 nm)

Alınan yüzey pürüzlülüğü değerleri ve AFM görüntülerine göre üretilen tek katmanlı AR kaplamaların yüzey pürüzlülükleri oldukça düşük ve homojen yapıdadır. Ayrıca yapılan yüzey pürüzlülüğü analizleri 40 farklı hat boyunca gerçekleştirilmiş ve kaplanan AR kaplamaların yüzey pürüzlülükleri 1,45 nm dir ve bu değer oldukça düşük bir pürüzlülük değeridir.

Elde edilen MgF₂ kaplı OGC lerin SEM görüntüleri Jeol SEM cihazında alınmıştır ve şekil 6.12 de gösterilmektedir. Şekil 6.12 den de görüleceği gibi kaplanan OGC lerin yüzeyleri oldukça pürüzsüzdür.



Şekil 6.12 Tek katmanlı MgF_2 kaplı OGC lerin 250 büyütmede SEM görüntüsü

6.2 TVA Tekniği ile Organik Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı SiO_2 Kaplanması

Silisyum di oksit (SiO_2) görünür bölgede düşük kırılma indisli ($n=1,46$) malzeme olarak sık kullanılan oksit malzemelerden birisidir. SiO_2 diğer pek çok okside göre çok dayanıklı bir malzeme olduğundan genellikle optik filtrelerde üst katman koruma malzemesi olarak da kullanılmaktadır. SiO_2 dielektrik özellikleri iyi ve ısıl şoklara karşı dayanıklı bir malzemedir. Sahip olduğu yüksek erime noktası ($1700^\circ C$) nedeniyle ısıl buharlaştırma teknikleri kullanılamamaktadır. Özellikle yüksek kırma indisine sahip TiO_2 ile sıralı olarak kaplandığında çok katlı dielektrik ayna veya çok katlı yansıtmasız kaplama (AR kaplama) yapmak mümkündür. Genellikle SiO_2 filmlerin büyütülmesi için elektron demetiyle buharlaştırma ve kopartma teknikleri kullanılmaktadır (Çalışkan H.,2009). SiO_2 , ZrO_2 ile beraber sanayide seri üretim yapan fabrikalarda çok katmanlı AR kaplamalarda sıralı olarak art arda kaplanır. Bu tez çalışmasında ise sanayideki ve uygulamadaki AR kaplama tekniklerinden farklı olarak TVA sistemi tek katmanlı AR kaplama amacıyla kullanılmıştır.

Deney öncesinde OGC lerin temizliği amacıyla Ultrasonik Temizleme cihazında önce saf su, etil alkol ve yine saf su ile onar dakika yıkanmış ve yarım saat kurumaya bırakılmıştır. AR kaplamalarda camların temizliği çok önemli bir alandır. Sanayide gözlük camlarına AR kaplama yapan özel temizleme ve kurutma üniteleri mevcuttur. AR kaplamanın kaliteli olabilmesi için kaplanacak gözlük camlarının üzeri ıslaklıktan, su buharından, tozdan vs. arındırılmış ve tamamen kuru olmalıdır. Aksi takdirde kaplanmış gözlük camında kusurlar oluşacaktır. Temizlenen ve kurutulan OGC ler steril bir biçimde gözlük camı tutucusuna yerleştirilmiştir. TVA sisteminde OGC ler üzerine SiO₂ kaplamak amacıyla anot olarak tungsten pota kullanılmıştır. Elektron tabancasında ise 0,5 mm çapındaki tungsten tel katot olarak kullanılmıştır. Tungsten potaya %99,9 saflıktaki SiO₂ malzemesi konularak sistem hazır hale getirilmiştir. Mekanik pompa sayesinde sistem önce 10⁻³ Torr a kadar vakumlanmış daha sonra difüzyon pompası devreye sokularak sistemin basıncı 10⁻⁵ Torr mertebesine düşürülmüştür.

Çizelge 6.3 SiO₂ için TVA Sisteminin çalışma parametreleri

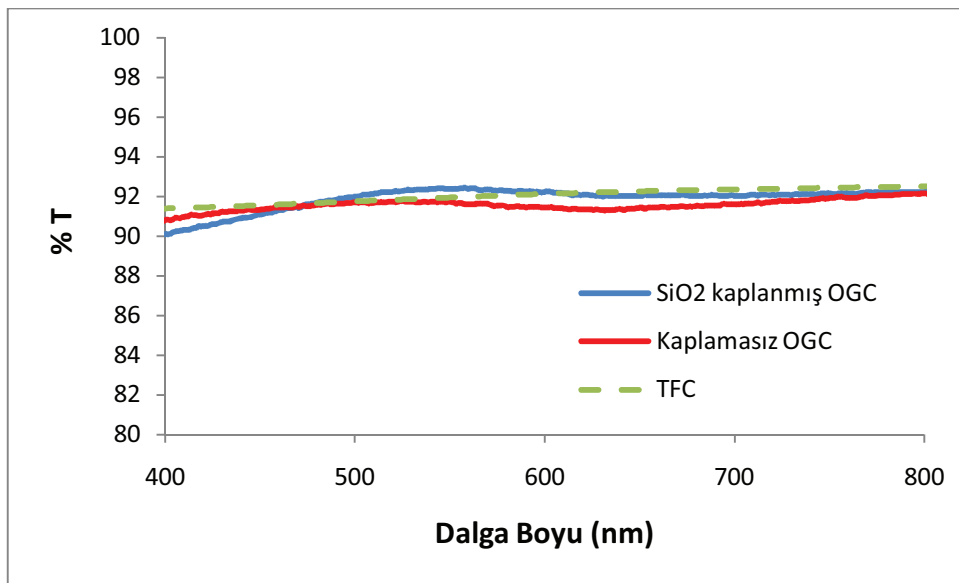
Vakum Odasının Basıncı (P)	Voltaj (V)	Filament Akımı I _F	Bombardıman Akımı I _B	Zaman (t)
7,19x10 ⁻⁵ Torr	2000 V	24 A	1,8A	5 dk

TVA sistemi ile SiO₂ deşarjı oluşturulmuş ve sabit hızla dönen gözlük camı tutucusu içindeki OGC ler SiO₂ plazmasına 5 dakika süreyle tabii tutulmuştur. Bu şekilde TVA sistemi ile OGC ler üzerine tek katmanlı SiO₂ kaplaması elde edilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler çizelge 6.3 de verilmiştir.

Çizelge 6.4 SiO₂ in kırılma indisi, termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime noktası değerleri

Kırılma İndisi	Termal İletkenlik	Buhar Basıncı	Erime Noktası
n=1,46	1,3 (W/m.°K)	7,5x10 ⁻⁹ Torr (900 °C)	1600-1725 °C

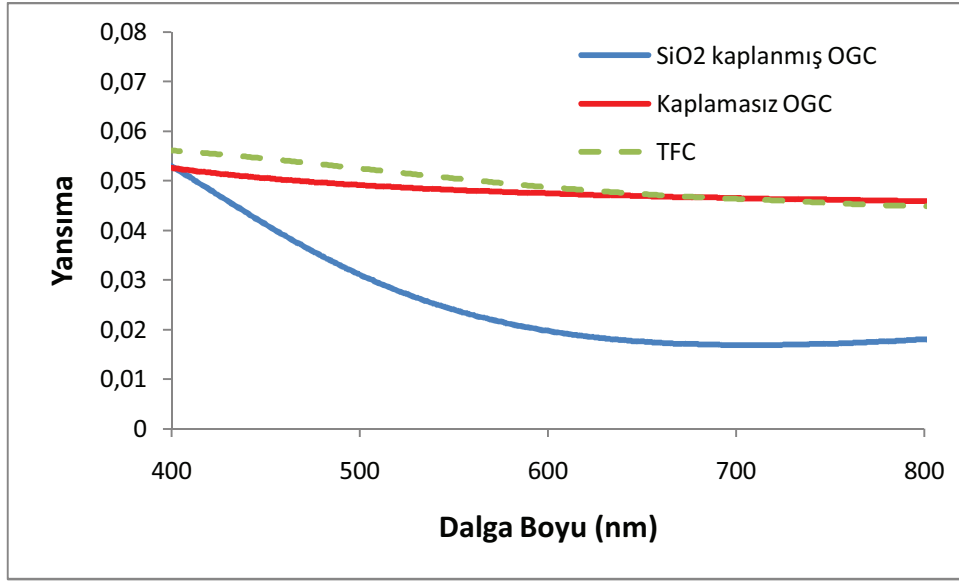
SiO_2 ile kaplanan gözlük camlarının optik özelliklerini belirlemek amacıyla oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmüştür. Bu ölçümler 400–800 nm dalga boyu aralığında Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmıştır. Daha önce optik modellemesi yapılmış SiO_2 kaplı OGC ler için alınan geçirgenlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. UV spektrum ölçümleri alınan SiO_2 kaplı gözlük camlarının geçirgenlik sonuçları ve modelleme sonucu şekil 6.13 de gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Tek katmanlı SiO_2 kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş geçirgenlik spektrumları

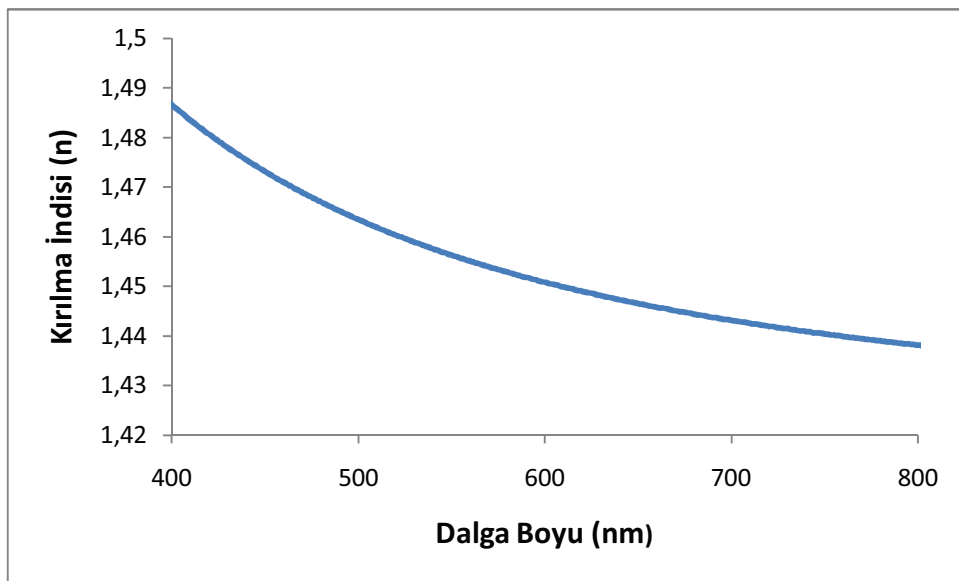
SiO_2 kaplı OGC lerin geçirgenlik değerleri kaplanmamış OGC lerin geçirgenliği ile kıyaslandığında 500-750 nm aralığında artmış ve kaplanmamış OGC lerin geçirgenlik değerlerini aşmıştır. Yapılan AR kaplamanın geçirgenliği artırılmıştır. TFC programı ile yapılan geçirgenlik modeli ile uyumlu bir geçirgenlik değişimi görülmektedir.

TVA sistemi ile SiO_2 kaplanmış OGC lerin yansımaya, kalınlık ve kırılma indisi ölçümleri Filmetrics F20 cihazı ile alınmıştır. Ölçümler sonucunda kaplama kalınlığı 123 nm olarak belirlenmiştir. Kaplanmış OGC lerin 550 nm dalga boyunda ortalama kırılma indisi değeri ise 1,45 dir. SiO_2 kaplanmış OGC lerin yansımaya ve kırılma indisi değişimleri şekil 6.14 ve şekil 6.15 de verilmiştir.



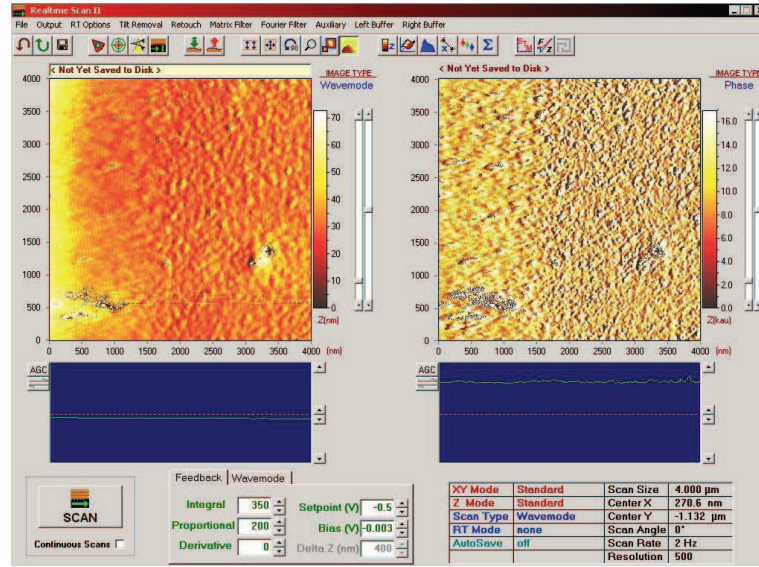
Şekil 6.14 Tek katmanlı SiO₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş yansımaya değerleri

Tek katmanlı SiO₂ kaplı OGC lerin yansıma değerleri kaplanmamış OGC lerin yansıma değerlerine göre azaltılmıştır. Yansıma değeri %1,6 ya kadar düşürülmüştür. İyi bir AR kaplamada aranan özellikler yüksek geçirgenlik ve düşük yansımadır. TVA sistemi ile OGC üzerine kaplanan tek katmanlı SiO₂ kaplaması yüksek geçirgenlik ve düşük yansıma değerlerine sahip olduğu için iyi bir AR özelliği göstermektedir.

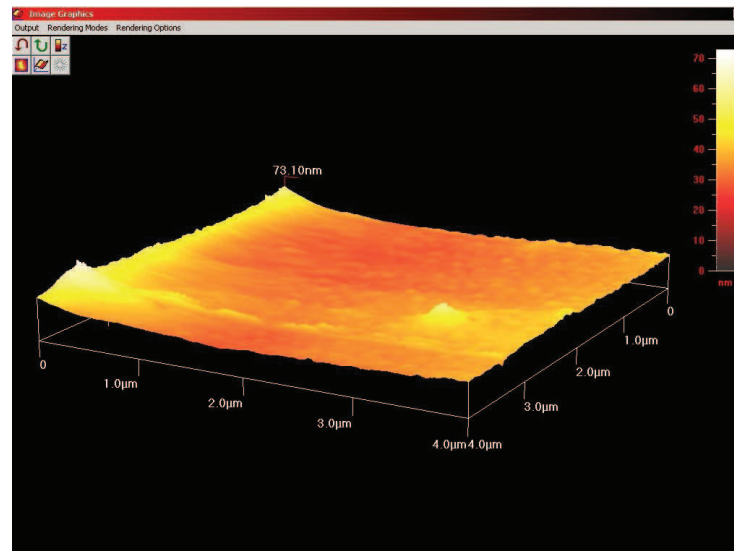


Şekil 6.15 Tek katmanlı SiO₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi değerleri

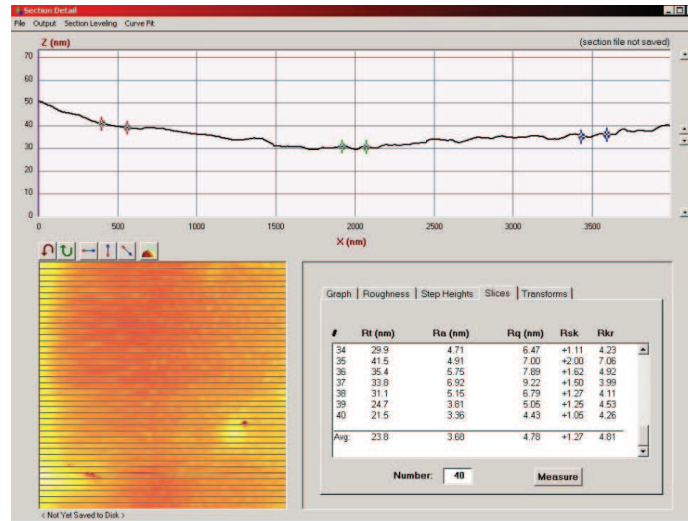
TVA sistemi ile SiO_2 kaplanmış tek katmanlı OGC lerin kırılma indisi değerleri dalga boyu artışıyla azalmaktadır ve 550 nm dalga boyundaki değeri $n=1,45$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.16 Tek katmanlı SiO_2 kaplı OGC lerin iki boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm)

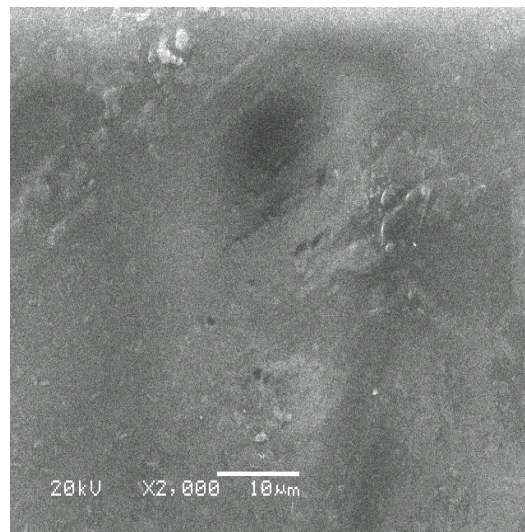


Şekil 6.17 Tek katmanlı SiO_2 kaplı OGC lerin üç boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm)



Şekil 6.18 Tek katmanlı SiO₂ kaplı OGC lerin yüzey pürüzlülüğü analizi (4000 nm x 4000 nm)

Alınan yüzey pürüzlülüğü değerleri ve AFM görüntülerine göre üretilen tek katmanlı AR kaplamaların yüzey pürüzlülüklerinin oldukça düşük ve homojen yapıda oldukları gözlenmiştir. Ayrıca yapılan yüzey pürüzlülüğü analizleri 40 farklı hat boyunca alınmış ve kaplanan AR kaplamaların yüzey pürüzlülükleri 3,68 nm olarak elde edilmiştir ve bu değer oldukça düşük bir pürüzlülük değeridir.



Şekil 6.19 Tek katmanlı SiO₂ kaplı OGC lerin 2000 büyütmede SEM görüntüsü

TVA Sistemi ile OGC ler üzerine kaplanmış tek katmanlı SiO₂ AR kaplamalarının alınan SEM fotoğraflarına bakılarak üretilen kaplamaların yüzeylerinin oldukça pürüzsüz olduğunu söyleyebiliriz.

6.3 TVA Tekniği ile Organik Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı ZrO₂ Kaplanması

ZrO₂ ince filmler yakın ultraviyole bölgesinden (240 nm) orta kızılötesine (8 µm) kadar çok geniş bir dalga boyu aralığında, yüksek kırılma indisine (n=2,1) sahip olması, düşük soğurganlığı, oksitlenmeye karşı büyük direnç göstermesi ve kimyasal kararlılığı nedeni ile lazer aynaları, geniş bant girişim filtreleri, elektro optik aygıtlar gibi optik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek erime noktası (2680°C) sayesinde yüksek ısıya dayanıklıdır. Düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. 600°C nin üzerinde elektriksel iletkenidir ve oksijen sensör hücrelerinde, yüksek sıcaklıklardaki indüksiyon fırınlarında hassas ısıtıcı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek sertliğe sahiptir (Çalışkan H.,2009). Gözlük camlarına çok katmanlı AR kaplama amacıyla SiO₂ ile ZrO₂ yaklaşık 7-8 katman olarak sırayla kaplanmaktadır (Pat et al.). Çok katmanlı AR kaplamalarında SiO₂ ve ZrO₂ in yeri oldukça önemlidir.

Deney öncesinde OGC lerin temizliği amacıyla Ultrasonik Temizleme cihazında önce saf su, etil alkol ve yine saf su ile onar dakika yıkanmış ve yarım saat kurumaya bırakılmıştır. AR kaplamalarda camların temizliği çok önemli bir alandır. Sanayide gözlük camlarına AR kaplama yapan özel temizleme ve kurutma üniteleri mevcuttur. AR kaplamanın kaliteli olabilmesi için kaplanacak gözlük camlarının üzeri ıslaklıktan, su buharından, tozdan vs. arındırılmış ve tamamen kuru olmalıdır. Aksi takdirde kaplanmış gözlük camında kusurlar oluşacaktır. Temizlenen ve kurutulan OGC ler steril bir biçimde gözlük camı tutucusuna yerleştirilmiştir. TVA sisteminde OGC ler üzerine ZrO₂ kaplamak amacıyla anot olarak tungsten pota kullanılmıştır. Elektron tabancasında ise 0,5 mm çapındaki tungsten tel katot olarak kullanılmıştır. Tungsten potaya %99,9 saflıktaki ZrO₂ malzemesi konularak sistem hazır hale getirilmiştir. Mekanik pompa

sayesinde sistem önce 10^{-3} Torr a kadar vakumlanmış daha sonra difüzyon pompası devreye sokularak sistemin basıncı 10^{-5} Torr mertebesine düşürülmüştür.

TVA sistemi ile ZrO_2 deşarjı oluşturulmuş ve sabit hızla dönen gözlük camı tutucusu içindeki OGC ler ZrO_2 plazmasına 1 dakika süreyle tabii tutulmuştur. Bu şekilde TVA sistemi ile OGC ler üzerine tek katmanlı ZrO_2 kaplaması elde edilmiştir. Deneyde kullanılan parametreler Çizelge 6.5 de verilmiştir.

Çizelge 6.5 ZrO_2 için TVA Sisteminin çalışma parametreleri

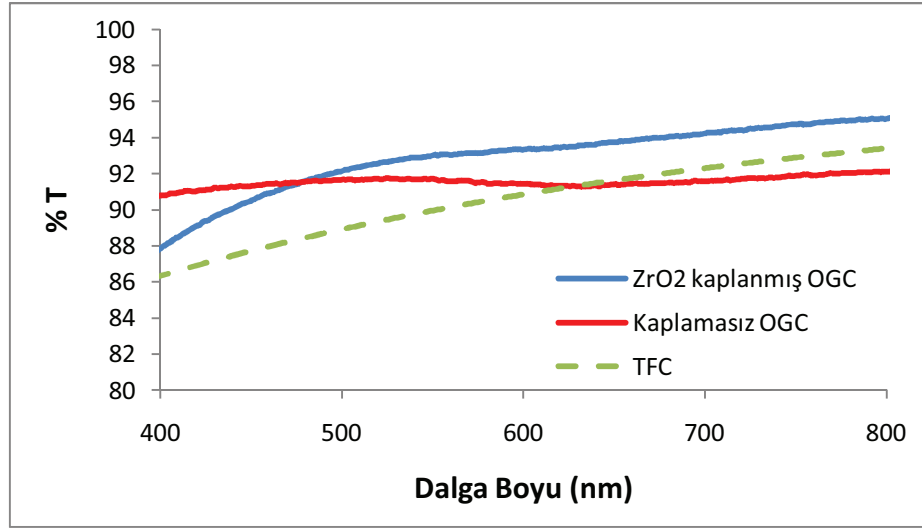
Vakum Odasının Basıncı (P)	Voltaj (V)	Filament Akımı I_F	Bombardıman Akımı I_B	Zaman (t)
$2,24 \times 10^{-4}$ Torr	3500 V	21 A	2A	1 dk

TVA Sisteminin bir avantajı da deney süresinin oldukça kısa olmasıdır. ZrO_2 gibi erime noktası yüksek bir malzemenin plazmasını oluşturarak OGC ler üzerine AR kaplama yapılması için toplam deney süresi, OGC lerin temizliği ile birlikte yaklaşık 1 saattir.

ZrO_2 ile kaplanan gözlük camlarının optik özelliklerini belirlemek amacıyla oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmüştür. Bu ölçümler 400 – 800 nm dalga boyu aralığında Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmıştır. Daha önce optik modellemesi yapılmış ZrO_2 kaplı OGC ler için alınan geçirgenlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. UV spektrum ölçümleri alınan ZrO_2 kaplı gözlük camlarının geçirgenlik sonuçları ve modelleme sonucu şekil 6.20 de gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 ZrO_2 in kırılma indisi, termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime noktası değerleri

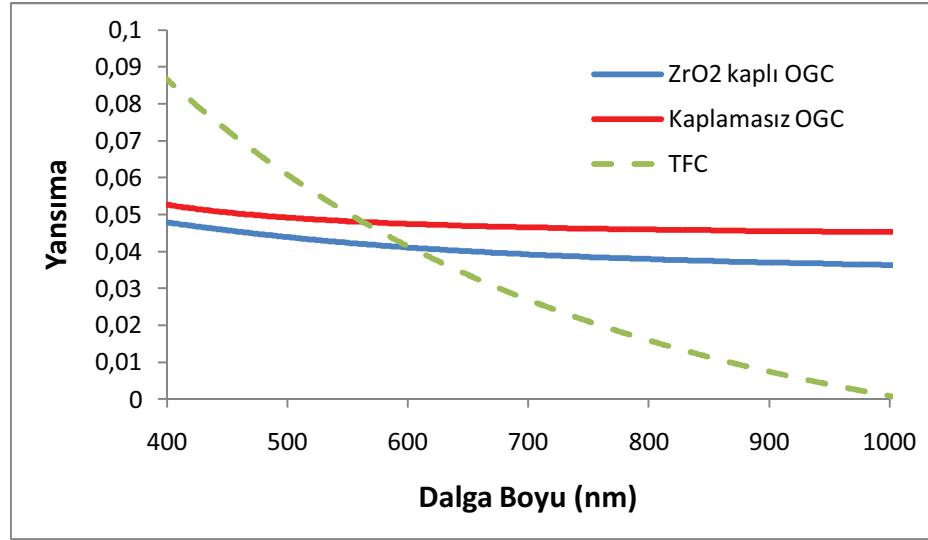
Kırılma İndisi	Termal İletkenlik	Buhar Basıncı	Erime Noktası
n=2,13	1.8–2.2 (W/m.°K)	8×10^{-12} Torr (1371 °C)	2715 °C



Şekil 6.20 Tek katmanlı ZrO₂ kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş geçirgenlik spektrumları

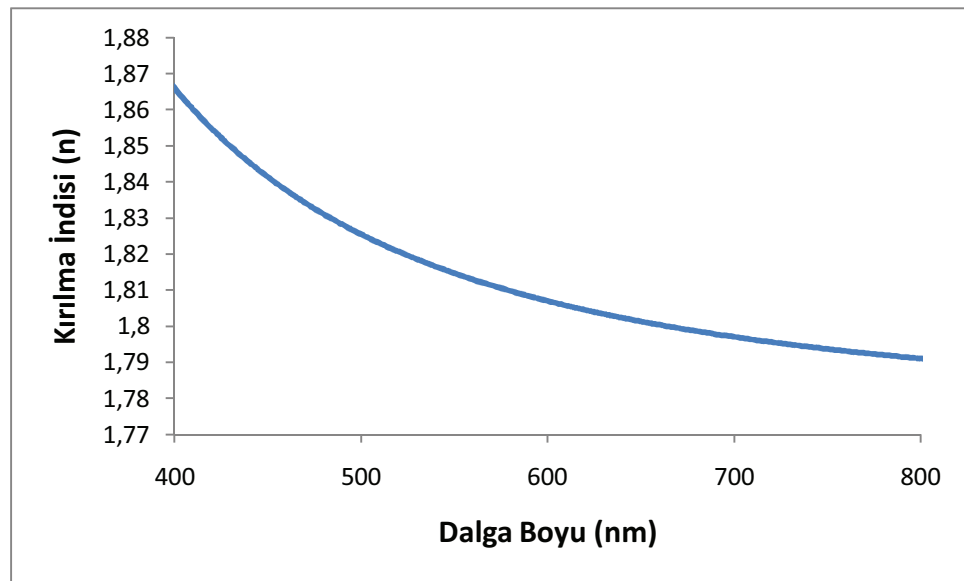
ZrO₂ kaplı OGC lerin geçirgenlik değerleri, kaplanmamış OGC lerin geçirgenliği ile kıyaslandığında artmış ve kaplanmamış OGC lerin geçirgenlik değerlerini aşmıştır. Yapılan AR kaplamanın geçirgenliği artırılmıştır.

TVA sistemi ile ZrO₂ kaplanmış OGC lerin yansıma, kalınlık ve kırılma indisi ölçümleri Filmetrics F20 cihazı ile alınmıştır. Ölçümler sonucunda kaplama kalınlığı 25 nm olarak belirlenmiştir. ZrO₂ kaplanmış OGC lerin yansıma ve kırılma indisi değişimleri şekil 6.21 ve şekil 6.22 de verilmiştir.



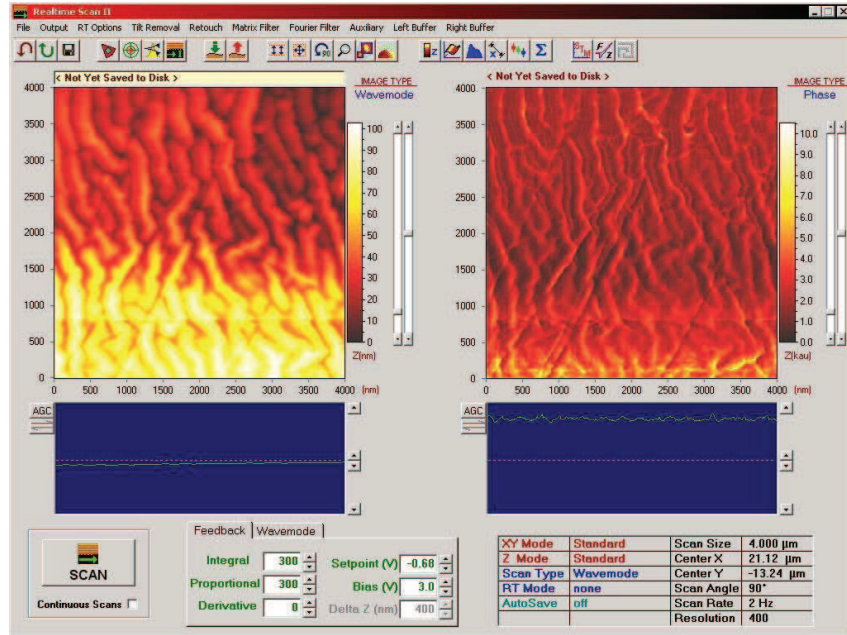
Şekil 6.21 Tek katmanlı ZrO_2 kaplanmış OGC, kaplanmamış OGC ve TFC ile modellenmiş yansımalar değerleri

Tek katmanlı ZrO_2 kaplı OGC lerin yansıma değerleri kaplanmamış OGC lerin yansıma değerlerine göre azaltılmıştır. İyi bir AR kaplamada aranan özellikler yüksek geçirgenlik ve düşük yansımadır. TVA sistemi ile OGC üzerine kaplanan tek katmanlı ZrO_2 kaplaması yüksek geçirgenlik ve düşük yansıma değerlerine sahip olduğu için iyi bir AR özelliği göstermektedir.

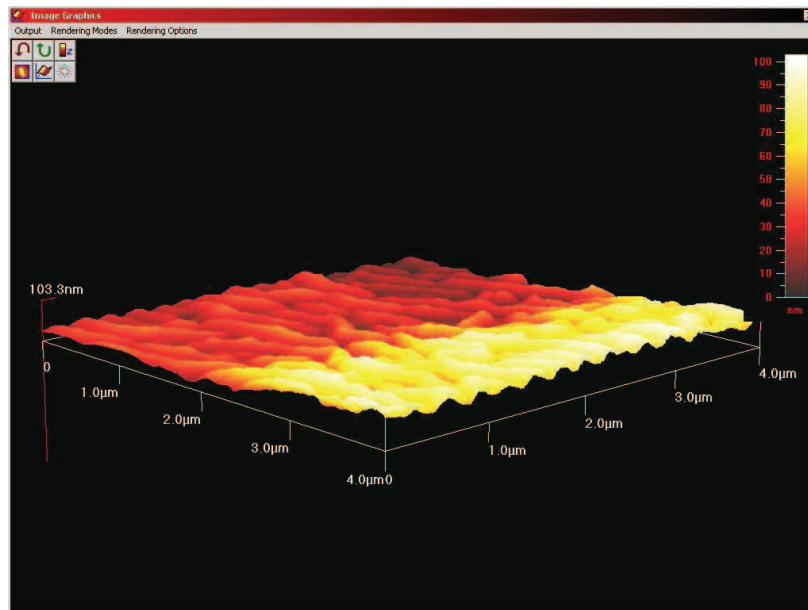


Şekil 6.22 Tek katmanlı ZrO_2 kaplanmış OGC lerin kırılma indisi değerleri

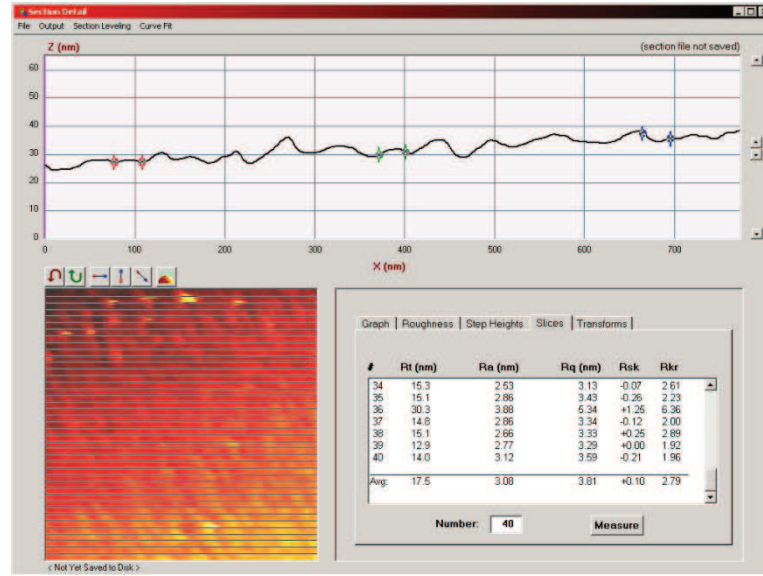
TVA sistemi ile ZrO_2 kaplanmış tek katmanlı OGC lerin kırılma indisi değerleri dalga boyu artışıyla azalmaktadır ve 550 nm dalga boyundaki değeri $n=1,81$ dir.



Şekil 6.23 Tek katmanlı ZrO_2 kaplı OGC lerin iki boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm)

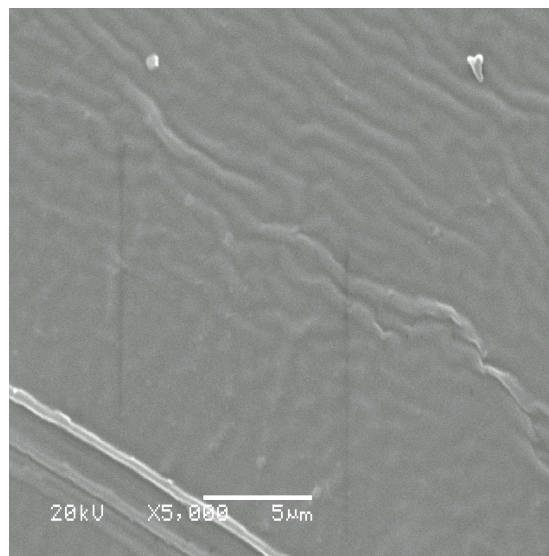


Şekil 6.24 Tek katmanlı ZrO_2 kaplı OGC lerin üç boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm x 4000 nm)



Şekil 6.25 Tek katmanlı ZrO₂ kaplı OGC lerin yüzey pürüzlülüğü analizi (4000 nm x 4000 nm)

TVA Sistemi ile OGC ler üzerine kaplanan tek katmanlı ZrO₂ kapamalarının alınan AFM ölçümleri sonucunda yüzeyleri oldukça pürüzsüz ve homojen yapıda olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan yüzey pürüzlülüğü analizleri 40 farklı hat boyunca alınmış ve kaplanan AR kaplamaların yüzey pürüzlülükleri 3,08 nm olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.26 Tek katmanlı ZrO₂ kaplı OGC lerin 5000 büyütmede SEM görüntüsü

TVA Sistemi ile OGC ler üzerine kaplanmış tek katmanlı ZrO_2 AR kaplamalarının alınan SEM fotoğraflarına bakılarak üretilen kaplamaların yüzeylerinin oldukça pürüzsüz olduğunu söyleyebiliriz.

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Optik Sektöründe, gözlük camları üzerine yansımayı azaltmak ve geçirgenliği artırmak amacıyla AR kaplamalar yapılmaktadır. Gözlük camları üzerinde azalan yansıma değerleri ve daha çok ışık geçirgenliği ile beraber daha net bir görüş elde edilir. Optik Sektöründe gözlük camlarına AR kaplama yapmak amacıyla genellikle Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği kullanılır. Gözlük camları üzerine yapılan AR kaplamalar çoğunlukla çok katmanlı olup SiO_2 ve ZrO_2 malzemeleri kullanılır. Tek katmanlı AR kaplamalar için ise genellikle MgF_2 malzemesi kullanılır. ESOGÜ Fizik Bölümüne bağlı Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında bulunan Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ise AR kaplama yapabilen yeni bir teknik olup AR-GE çalışmaları devam etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında TVA Tekniği ile OGC ler üzerine $\text{MgF}_2, \text{SiO}_2$ ve ZrO_2 tek katmanlı olarak kaplanmış ve bazı özellikleri incelenmiştir.

Deney öncesinde optik modelleme yapabilen TFC programı ile OGC ler üzerine yapılacak AR kaplamaların optik modellemeleri yapılmıştır. Kalınlık değerleri belirlenip, geçirgenlik ve yansıma grafikleri elde edilmiştir. Kaplama sonrası ölçülen geçirgenlik ve yansıma değişimleri ile TFC modellemesi yapılmış yansıma ve geçirgenlik değişimleri karşılaştırılarak grafikleri çizdirilmiştir. Programdan alınan tek katmanlı AR kaplama modellerine göre elde edilen kalınlık değerlerinde kaplamalar yapılmıştır.

TVA Tekniği ile OGC ler üzerine tek katmanlı AR kaplamaların deney aşamalarını üçe ayırabiliriz. Birincisi OGC lerin temizleme süreci, ikincisi deney süreci ve üçüncüsü ise elde edilen numunelerin analiz sürecidir. Her bir deney aşaması titizlikle ve steril bir ortamda yapılmalıdır.

OGC lerin temizlenmesi aşaması için Ultrasonik Temizleme Cihazı kullanılmıştır. AR kaplama işleminde gözlük camlarının temizliği çok önemli bir alandır.

TVA Sisteminin hazırlanması aşaması da önemli ve dikkat gerektiren bir başka alandır. Elektron tabancasının hazırlanması amacıyla 0,5 mm lik tungsten tel filament haline getirilmiş ve elektron tabancasına bağlanmıştır. Tungsten pota (anot) içersine kaplanacak yüksek saflıktaki katı materyal (AR malzemesi) konulmuş ve anot-katot-toprak bağlantıları kontrol edilmiştir ayrıca h, d uzaklıkları ve ϕ açısı ayarlanmıştır. Deney esnasında, deşarj oluşmadan önce elektron tabancası ve potanın üzerini kapatarak plazması oluşturulacak materyal buharının gözlük camları üzerine yönelmesini engellemek ve kalınlık kontrolü amacıyla kullanılan kapayıcı (shutter) konumlandırılmıştır. Böylece, deşarj başladığı anda gözlük camlarının yüzeyinde oluşabilecek kararsızlıklar engellenir. Böylelikle TVA Sistemi deney için hazır hale getirilmiştir. Ultrasonik temizleme cihazında temizlenen ve ardından kurutulan OGC ler gözlük camı tutucusuna steril bir biçimde yerleştirilmiştir. 31 adet gözlük camı gözlük tutucusuna yerleştirildikten sonra vakum odasının kapağı kapatılmış ve mekanik pompa-güçlendirici pompa devreye sokulmuştur. Sistemin basınç değeri 10^{-3} Torr değerine kadar bu pompalar sayesinde düşürülmüştür. Daha sonra sisteme difüzyon pompası dahil edilmiş ve sistemin son basıncı 10^{-5} Torr mertebesine indirilmiştir. MgF_2, SiO_2 ve ZrO_2 için farklı deney parametrelerinde farklı kalınlıklarda OGC ler üzerine kaplamalar yapılmıştır.

Kaplanan OGC lerin UV spektrum ölçümleri alınarak geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Ölçümler Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometre cihazı ile alınmıştır. Kaplamaların geçirgenlik değişimleri ve kaplama öncesi yapılan optik modelden elde edilen geçirgenlik değişimleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca MgF_2, SiO_2 ve ZrO_2 ile kaplanan OGC lerin kalınlık, kırılma indisi ve yansıma değerleri Filmetrics F20 cihazı ile ölçülmüştür ve yansıma değerleri TFC modelinden elde edilen yansıma değerleri ile karşılaştırılmıştır. TVA Sistemi ile kaplanan OGC lerin iki boyutlu-üç boyutlu yüzey görüntüleri ve yüzey pürüzlülükleri Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu ile alınmıştır. Yüzey görüntüleri ve pürüzlülük değerleri 4000 x 4000 nm de alınmıştır. AR kaplanan OGC lerin JEOL SEM cihazında SEM görüntüleri alınmıştır.

Alınan bu ölçümler sonrası değerlendirmeler tek katmanlı MgF₂ kaplı OGC ler için şöyledir :

- Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC lerin geçirgenlik değerleri %92-%93 mertebelerinde olup 500-700 nm aralığında kaplanmamış OGC ye göre artırılmıştır.
- Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC lerin yansımaya değerleri kaplanmamış OGC ye göre 500-600 nm aralığında düşürülmüştür ve yaklaşık %4,4 e kadar indirilmektedir.
- Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC lerin kalınlık değeri 422 nm olarak ölçülmüştür. MgF₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi ise 550 nm de ise 1,39 olarak belirlenmiştir.
- Tek katmanlı MgF₂ kaplanmış OGC lerin iki ve üç boyutlu AFM görüntülerinden yüzeyin oldukça pürüzsüz olduğu görülmüştür. Elde edilen pürüzlülük değeri ise 1,45 nm olup bu değer oldukça düşüktür ve tek katmanlı AR kaplamalar için uygun bir pürüzlülük değeridir.
- Alınan SEM görüntülerinden ise yüzey pürüzlülük değerine paralel olarak yüzeyin pürüzsüz olduğu görülmüştür.

Alınan ölçümler sonrası tek katmanlı SiO₂ kaplı OGC ler için değerlendirmeler şöyledir :

- Tek katmanlı SiO₂ kaplanmış OGC lerin geçirgenlik değerleri %93 e çıkarılmıştır ve 500-800 nm aralığında kaplamasız OGC lerin geçirgenlik değerlerinden daha yüksektir.
- Tek katmanlı SiO₂ kaplanmış OGC lerin yansıma değerleri kaplanmamış OGC ye göre oldukça düşürülmüştür ve %1,6 ya kadar indirilmiştir.
- Tek katmanlı SiO₂ kaplanmış OGC lerin kalınlık değeri 123 nm olarak ölçülmüştür. SiO₂ kaplanmış OGC lerin kırılma indisi ise 550 nm de ise 1,69 olarak belirlenmiştir.
- Tek katmanlı SiO₂ kaplanmış OGC lerin iki ve üç boyutlu AFM görüntülerinden yüzeyin oldukça pürüzsüz olduğu görülmüştür. Elde edilen pürüzlülük değeri ise 3,68 nm olup bu değer düşük bir pürüzlülük değeridir.
- Alınan SEM görüntülerinden ise yüzey pürüzlülük değerine uygun olarak yüzeyin pürüzsüz olduğu görülmüştür.

Alınan ölçümler sonrası tek katmanlı ZrO₂ kaplı OGC ler için değerlendirmeler şöyledir :

- Tek katmanlı ZrO₂ kaplanmış OGC lerin geçirgenlik değerleri %94 e çıkarılmıştır ve 500-800 nm aralığında kaplamasız OGC lerin geçirgenlik değerlerinden daha yüksektir.

- Tek katmanlı ZrO_2 kaplanmış OGC lerin yansımaya değerleri kaplanmamış OGC ye göre düşürülmüştür ve %3,6 ya kadar indirilmiştir.
- Tek katmanlı ZrO_2 kaplanmış OGC lerin kalınlık değeri 25 nm olarak ölçülmüştür. ZrO_2 kaplanmış OGC lerin kırılma indisi ise 550 nm de ise 1,81 olarak belirlenmiştir.
- Tek katmanlı ZrO_2 kaplanmış OGC lerin iki ve üç boyutlu AFM görüntülerinden yüzeyin oldukça pürüzsüz olduğu görülmüştür. Elde edilen pürüzlülük değeri ise 3,08 nm olup bu değer düşük bir pürüzlülük değeridir.
- Alınan SEM görüntülerinden ise yüzey pürüzlülük değerine paralel olarak yüzeyin pürüzsüz olduğu görülmüştür.

Alınan sonuçlar doğrultusunda genel olarak; yapılan tek katmanlı OGC lerin geçirgenlik değerleri kaplanmamış OGC lerin geçirgenlik değerlerine göre artırılmıştır. Ayrıca yansımaya değerleri de kaplamasız OGC lerin yansımaya değerlerine göre azaltılarak, OGC lere uygun AR özellikler kazandırılmıştır. Yapılan yüzey analizlerinden de anlaşılacağı üzere yüzeyler oldukça pürüzsüz olup tek katmanlı AR kaplamalar için uygundur. Çok katmanlı AR kaplamalar için ara yüzeylerin pürüzlü olması gerekir. Nedeni ise bir sonraki kaplamanın pürüzlü yüzeyde daha iyi tutunması ve dolayısıyla AR kaplamasının kolay çıkmamasını sağlamaktır.

Genel olarak yansımaya ve geçirgenlik grafiklerindeki TFC modellerinden elde edilen grafikler ile kaplamanın geçirgenlik-yansımaya grafikleri tam olarak uyumlu değildir. TFC programı modellemelerinde önemli iki unsur kalınlık ve kırılma indisidir. Deneysel çalışmalarımızda TFC modellerindeki kalınlık değerlerine ulaşılmış fakat üretilen AR kaplamaların kırılma indisleri ile TFC programının kullandığı kırılma indisi değerleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle optik modellemelerden elde edilen

yansımaya ve geçirgenlik grafikleri kaplanan OGC lerin grafiklerine yakın fakat tam olarak uyumlu değildir.

AR kaplamaların kalitesini, öncelikle kaplamanın kristal yapısı olmak üzere, kaplamanın kırılma indisi, geçirgenlik ve yansımaya değerleri, yüzey sertliği, kaplama kalınlığı, difüzyon derinliği, homojenliği ve pürüzsüzlüğü belirler. Çalışmamızda MgF_2, SiO_2 ve ZrO_2 kaplanmış OGC lerin bu değerlerinden iyi sonuçlar alınmıştır. Böylelikle TVA Sisteminin diğer sistemlerden farklı olarak OGC ler üzerine AR kaplamada uygunluğu ve kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

OGC ler üzerine yapılan tek katmanlı AR kaplamalarda elde edilen yansımaya ve geçirgenlik değerleri, yüksek-düşük kırılma indislerinin sırayla kaplanarak çoklu katmanlar elde edilmesiyle iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akan, T., 2002, Bakır Buharı Termiyonik Desarjın Karakteristikleri, ITÜ Dergisi/c, Fen Bilimleri, Cilt:1, Sayı:1, s:65-69
- Akan, T., 2003, Termiyonik Vakum Ark (TVA)'nın temel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Akan T., Ekem N., Pat S., Vladou R., Musa G., Studies on the Thermionic Vacuum Arc Discharges in the Vapors of Cu-Ag and Cu-Sn Alloys, 2005, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.7, No.5, p.2489-2494
- Akan T (a)., Balbağ M.Z., Ekem N., Karakaş E., Pat S., Cenik M.İ., MUSA G., 2006, Bor Termiyonik Vakum Ark Deşarjda Gaz Depolama Etkisinin İncelenmesi, UGHEK': I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGU, Eskişehir
- Akan T (b)., Ekem N., Demirkol S., Pat S., Balbağ M.Z., Cenik M.İ., Deligöz H., Musa G., 2006, Studies on Ag-Al₂O₃ nano-layer composite produced by Thermionic Vacuum Arc Methode (TVA), 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26, İstanbul,Türkiye
- Akan T., Ekem N., Pat S., İşsever U.G., Balbağ M.Z., Cenik M.İ., Vladou R., Musa G., 2007, Boron Thin Film Deposition By Using Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology, Materials Letters, 61, p. 23–26
- Aksak E., Küçüker T., 2005, Gözlükçülük, Eskişehir
- Balbağ M. Z., Pat S., Cenik M.İ., Akan T., Ekem N., Musa G., 2007, Boron Evaporation and Related Difficulties, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 9, No. 4, p. 858 – 861

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Balbağ M. Z., 2009, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile Magnezyum, Bor ve Magnezyum Di Bor İnce Filmlerinin Üretilmesi Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Büyükyıldız H.Z., 2011, Gözlük Camları, Cam Materyalleri ve Kişiyeye Özel Gözlük Camları, İstanbul Göz Hastanesi, İstanbul
- Ciupina V., Musa G., Vladioiu R., Prodan G., Oancea I., Ekem N., Pat S., Sullivan J., Sayed S., Vasile E., 2007, Investigation of the carbon thin film properties deposited by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology, 8th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 5-7, Constanta, Romania
- Çalışkan H., 2009, SiO₂ ve ZrO₂ İnce Filmlerin Hazırlanması ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Edwards, B., 2005, Vacuum&Pressure, Product Catalog
- Ekem N., Akan T., Pat S., Issever U.G., Balbag M.Z., Cenik M.I., Demirkol S., Vladioiu R., Musa G., 2005, Boron Thin Film Deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology, XXVIIth ICPIG, Eindhoven, the Netherlands
- Ekem N., Musa G., Pat S., Balbag Z., Cenik I., Vladioiu R., Carbon thin film deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA), 2008, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Vol. 10, No. 3, p. 672 – 674.
- Karakaş E., 2006, Termiyonik Vakum Ark Teknolojisiyle Üretilen Bor Deşarjlarının Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Eskişehir
- Lungu, CP; Mustata, I; Musa, G, et al., 2004, Low friction silver-DLC coatings prepared by thermionic vacuum arc method, Vacuum, Volume: 76 Issue: 2-3 p.127-130

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Lungu, CP; Mustata, I; Lungu, AM, et al., 2005, Influence of Re on the thermo-electron emission from thoriated W cathode during Re deposition by thermionic vacuum arc (TVA) method, *Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials*, Volume: 7 Issue: 5 Pages: 2513-2519
- Lungu, CP; Mustata, I; Musa, G, et al., 2006, Unstressed carbon-metal films deposited by thermionic vacuum arc method, *Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials*, Volume: 8 Issue: 1 Pages: 74-77
- Musa, G., Betiu, N., Mustata, I., Baltog, A. and Popescu, A., 1983, Low voltage arc welding in vacuum, *Review Roum. Physics*, 28, 907
- Musa G., Betiu N., Mustata I., Baltog A., Popescu A., 1984, Heated Cathode Arc In Vacuum Arc In Vacuum Developed In The Vapors of The Heated Anode, *Proc. XI th Symp. On Discharges And Insulation In Vacuum*, Berlin, p.229
- Musa, G., Ehrich, H., Schuhman, J., Popescu, A., Mustata, I., Cretu, M., Salabas, A., Leu, G. F. and Biloiu, C., 1999, Plasma characteristics of Thermionic Vacuum Arc (TVA), *Proc. 24th international conference. on phenomena in ionized gases (ICPIG)*, Poland
- Musa, G; Mustata, I; Ciupina, V, et al., 2004, Diamond-like nanostructured carbon film deposition using thermionic vacuum arc, *Diamond And Related Materials*, Volume:13, Issue:4-8, p.1398-1401
- Musa, G(a); Mustata, I; Blideran, M, et al., 2005, Thermionic vacuum arc – New technique for high purity carbon thin film deposition, *Acta Physica Slovaca* Volume: 55 Issue: 4 Pages: 417-421
- Musa G(b)., Mustata I., Lungu C. P., Bob C. S., Lungu A. M., Bursikova V., Vladioiu R., Prodan G., Ciupina V., 2005, Tungsten film deposition by thermionic vacuum arc method, *XXVIIth ICPIG*, 18-22 July, Eindhoven, the Netherlands

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Musa G., Vladiou R., Ciupina V., Lungu C.P., Mustata I., Pat S., Akan T., Ekem N., 2006, Characteristics of boron thin films obtained by TVA technology , Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol: 8 (2), p: 617-620
- Musa, G; Bob, CS; Lungu, CP, et al., 2007, Gaseous Thermionic Vacuum Arc(G-TVA) - an extension of TVA (Thermionic Vacuum Arc) input materials from solid samples to gases and liquids for carbon thin film deposition, JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS Volume: 9 Issue: 4 Pages: 867-870 Published: APR 2007
- Özgümüş Ü., 2003, Anti-Reflektif Kaplamalı Bir Camın Optik Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özkan Mehmet, 2010, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile II-VI Grubu Bazı Yarıiletken Bileşiklerin İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Pat S., Ekem N., Akan T., Küsmüs Ö., Demirkol S., Vladiou R., Lungu C.P., Musa G., 2005, Study on Thermionic Vacuum Arc-A Novel and Advanced Technology For Surface Coating, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.7, No.5, p.2495-2499
- Pat S., Özmumcu M., Ekem N., Özkan M., Korkmaz Ş., Balbağ M. Z., 2010, Antireflective Coating on Polyethylene Terephthalate by Thermionic Vacuum Arc, Journal of Plastic Film & Sheeting, Vol.26, Doi:10.1177/8756087910392082
- Pat S., 2007, Çoklu Gaz Karışımı Plazmalarının Optik Emisyon Spektroskopisi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Roth, J. R., 2001, Industrial plasma engineering, volume II, IOP publishing, Bristol and Philadelphia

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Serway, Beichner., 1995, Fen ve Mühendislikler için Fizik 2,(Çev. K.Çolakoğlu), Palme Yayıncılık, 1110,1111 s
- Surdu-Bob, C; Musa, G; Vladoiu, R, et al., 2007, The synthesis of DLC using a novel cathodic arc technique: Gas-TVA, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Volume: 9 Issue: 8 Pages: 2660-2662
- Tarımcı Ç., Sarı H., 2006, Ankara, Vakum Tekniği, Seçkin Yayıncılık 1. Baskı, 168 s.
- Temel S.,2010, Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Gözlük Camlarına Bazı Kaplamaların Yapılması ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Eskişehir
- Thelen A., 1988, Design of the Optical Interference Coatings, McGraw Hill Company, New York, USA
- Türk Dil Kurumu Sözlüğü, 2010
- Watchman J. B., Haber R.A., 1993, Ceramic films and coatings, Noyes Publications, New Jersey, USA, 447p
- Vladoiu, R; Musa, G; Mustata, I, 2003,Thermoionic vacuum arc - A new method of thin film deposition, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials Volume: 5 Issue: 1, Pages: 325-330
- Vladoiu, R; Ciupina, V; Lungu, CP, et al., 2006, Thermoionic vacuum arc (TVA) deposited tungsten thin film characterization, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Volume: 8 Issue: 1, p. 71- 73
- Vladoiu, R; Ciupina, V; Surdu-Bob, C, et al., 2007, Properties of the carbon thin films deposited by thermionic vacuum arc, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials Volume: 9 Issue: 4, p.862-866

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

http://www.ebilge.com/79836/Mineral_nedir.html

<http://tr.wikipedia.org/wiki/polimerizasyon-monomer>

<http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoji5.html>

http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating

<http://www.cem-fa.com.tr/3b.asp>

<http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz/gozlukcamiteknoji3.html>