

Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Gözlük Camlarına Bazı  
Kaplama ların Yapılması ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Sinan Temel

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Fizik Anabilim Dalı

Temmuz 2010

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

Sinan Temel

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Physics

July 2010

Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Gözlük Camlarına Bazı  
Kaplamların Yapılması ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Sinan Temel

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

Danışman: Prof. Dr. Naci EKEM

Temmuz 2010

## ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Sinan TEMEL'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Özel Bir Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanılarak Gözlük Camlarına Bazı Kaplamaların Yapılması ve 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. M. İlker CENİK

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Şadan KORKMAZ

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Güneş gözlüğü camlarındaki boyama işlemleri 15yy'a dayanmakta olmasına rağmen modern anlamda ilk koruyucu kaplamalar 1936'lı yıllardan itibaren gözlük camlarına Anti- Refle (AR) kaplamalar adı altında çeşitli tür ve yöntemlerle yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde gözlük camı sektöründe kullanılan magnetron püskürtme, radyo frekansı (RF) püskürtme, vakumda buharlaştırma v.b. sistemleri 1960'lı yıllardan beri kullanılan plazma yardımcı kaplama sistemleri olup bu sistemler Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Plazma Fiziği Teknolojileri ve Araştırma Laboratuvarları'nda mevcuttur ve çeşitli bilimsel ince film araştırma çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Yeni bir plazma sistemi olan Termiyonik Vakum Ark (TVA), literatürde ilk defa 1984 yılında yayınlanan bir makale ile anlatılmıştır. Daha sonra ise TVA, ince film kaplama araştırmalarında kullanılmaya başlanmıştır. 1997 yılında Plazma Laboratuvarımızda Termiyonik Vakum Ark (TVA) ince film kaplama sistemi kurulmuş ve çeşitli alt taşlar üzerine ince film üretmek için kullanılmaya başlanmıştır ve üretilen ince filmlerin analizleri yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada ise gözlük camlarına AR kaplama yapmak için ilk kez TVA sistemi kullanılmıştır. Gözlük camları üzerine kaplama yapabilmek için TVA sistemi ilk kez bu tez çalışması için, çeşitli ekleme ve geliştirmeler ile özel bir hale getirilmiştir. Bu geliştirmeler kapsamında, TVA sistemine gaz girişi eklenerek oluşan sistem "Reaktif TVA" olarak adlandırılmıştır. TVA'nın gözlük camlarına uygulanmasına ait bugüne kadar literatürde her hangi bir çalışmaya rastlanmamış olup ilk defa laboratuvarımızda gerçekleştirilmiştir.

AR kaplamaların kalitesini, öncelikle kaplamanın kristal yapısı olmak üzere, yüzey sertliği, kaplama kalınlığı, difüzyon derinliği, homojenliği, pürüzsüzlüğü ve kaplamanın kırılma indisi belirler. TVA ile cam tabanlar üzerine, daha önce yaptığımız çeşitli kaplamalarda bu parametrelerde alınan veriler oldukça iyi değerlerdir. Bu çalışmada da bu yönde olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anti – refle (AR) kaplamalar, Termiyonik Vakum Ark (TVA)

## SUMMARY

Though procedures of dyeing of the sun glasses has been realized since century of 15, Primary protective coatings, which were named Anti-Reflection (AR) coatings, have been used with various type systems and methods since 1936. Nowadays, these coatings have been realized using with some plasma assisted technological devices such as Magnetron sputter, RF sputter, vacuum evaporations techniques etc. since 1960's. All these initial plasma assisted technologies are mounted in Plasma Physics Laboratories of Art - Science Faculty of Eskisehir Osmangazi University, Turkey and they have been used for various thin film applications. Thermionic Vacuum Arc (TVA), whose innovation is a new plasma source, was introduced with a scientific paper in 1984. Then, TVA has been used for generation and investigation of various thin films. It was mounted in plasma physics labs in 1997 and it is use to production various thin films on various substrates, so these thin films are characterizations. In this study, TVA system was used for AR coatings on eyeglasses for the first time. For this thesis, various additions and improvements have been made to the TVA system for coating the lenses. Within these improvements, gas inlet added to the TVA system and new system is named "Reactive TVA". There wasn't any study in literature about coated lenses with TVA until today and it is realized in our laboratories.

Qualities of the AR coatings are depending on crystal formation of coatings, firstly, surface hardness, diffusion, thickness of the coatings, homogeneity, roughness and refractive index. Our previous researches by TVA concluded hopefully. At the end of this study, we obtained good results above physical phenomena.

Key Words: Anti – reflection (AR) coatings, Thermionic Vacuum Arc (TVA)

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam süresince, gerek derslerimde ve gerekse deneysel çalışmalarında, bana danışmanlık ederek beni yönlendiren, ulusal ve uluslararası bilimsel aktivitelerde yer almamız için her türlü imkânı sağlayıp, ilgisini esirgemeyen danışmanım, çok değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Naci EKEM' e teşekkür ederim.

Deneysel ve teorik çalışmalarım 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. M. İlker CENİK, Sayın Yrd. Doç. Dr. Şadan KORKMAZ ve Sayın Arş. Gör. 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 Niyazi Emre ÇETİN, Sayın Murat ÖZMUMCU ve Sayın Saliha ELMAS' a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, zor günlerimde beni destekleyen, yardım eden, moral veren, benim için çok değerli iki insana, çok değerli dostum Sayın Murat NEBİ ve çok sevdiğim Sayın Özlem BULUŞ' a teşekkür ederim.

Her zaman bana destek olan, beni büyütüp yetiştiren ve bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, çok değer verdiğim, canımdan çok sevdiğim Sevgili Annem ve Babama; bana her zaman destek ve yardımcı olan canımdan çok sevdiğim Sevgili Kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

SİNAN TEMEL

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
<b>1. BÖLÜM: GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. BÖLÜM: GÖZLÜK CAMLARI VE GÖZLÜK CAMLARI ÜZERİNE UYGULANAN YÜZEY İŞLEMLERİ.....</b>	<b>3</b>
2.1. Gözlük Camı Nedir?.....	3
2.2. Gözlük Camı Çeşitleri.....	3
2.2.1. Mineral Gözlük Camları.....	4
2.2.2. Organik Gözlük Camları.....	4
2.2.3. Polikarbonat Gözlük Camları.....	5
2.3. Gözlük Camları Üzerine Uygulanan YüzeY İşlemleri.....	5
2.3.1. Gözlük yüzeyini sertleştirici kaplamalar.....	5
2.3.2. Renklendirme.....	6
2.3.3. Yansıma Önleyici (Anti – Refle) Kaplamalar.....	6
<b>3. BÖLÜM: ANTİ – REFLE (AR) KAPLAMALAR.....</b>	<b>7</b>
3.1. Anti – Refle (AR) Kaplama Nedir?.....	7
3.2. Gözlük Camlarında Yansıma.....	7
3.2.1. Arka Yansımalar.....	8
3.2.2. Korneadaki Yansımalar.....	8
3.2.3. İç Yansımalar.....	9
3.2.4. Ön Yüzdeki Yansımalar.....	9
3.3. Gözlük Camının Kalınlığı ile Işık Geçirgenliği Arasındaki İlişki.....	10
3.4. AR Kaplamaların Özellikleri.....	11
3.5. AR Kaplama Çeşitleri.....	14
3.5.1. Tek Katmanlı AR Kaplamalar.....	14
3.5.2. İki ve Çok Katmanlı AR Kaplamalar.....	16
3.5.3. Emici AR Kaplamalar.....	16
3.6. AR Kaplamaların Optiksel Kullanımı.....	17
3.7. AR Kaplanmış Camların Avantajları.....	18
<b>4. BÖLÜM: ANTİ – REFLE (AR) KAPLAMA TEKNİKLERİ.....</b>	<b>19</b>
4.1. Vakumda Buharlaştırma Tekniği.....	19
4.2. Elektron Demetli (e - beam) Buharlaştırma Tekniği.....	21
<b>5. BÖLÜM: TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ.....</b>	<b>24</b>
5.1. Giriş.....	24
5.2. TVA Sistemi.....	26



**İçindekiler (Devam)**

5.2.1. TVA'nın elektrotlar sistemi.....	30
5.3. TVA Deşarj.....	32
5.4. Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri.....	38
<b>6. BÖLÜM: TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ KULLANILARAK MİNERAL GÖZLÜK CAMLARININ ANTİ - REFLE KAPLANMASI.....</b>	<b>43</b>
6.1. TVA Tekniği ile Mineral Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı ZrO <sub>2</sub> Kaplanması.....	47
6.2. TVA Tekniği ile Mineral Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı SiO <sub>2</sub> Kaplanması.....	54
<b>7. BÖLÜM: SONUÇ ve TARTIŞMA.....</b>	<b>62</b>
<b>8. BÖLÜM: KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>66</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Gözlük camı yüzeyinde arkadan yansıma.....	8
3.2 Korneadan gözlük camına yansıyan ışınlar.....	9
3.3 Gözlük camı içerisinde meydana gelen yansımalar.....	9
3.4 Gözlük camının ön tarafından gelen ışınların ön ve arka yüzeyde yansıması.....	10
3.5 Anti-refle kaplamalı ve kaplamasız gözlük camları.....	11
3.6 Anti-refle kaplamasız bir gözlük camından bakan gözlemcinin görüşü.....	12
3.7 Anti-refle kaplamalı bir gözlük camından bakan gözlemcinin görüşü.....	12
3.8 Anti-refle kaplamasız bir gözlük camının karşıdan görünüşü.....	13
3.9 Anti-refle kaplamalı bir gözlük camının karşıdan görünüşü.....	13
3.10 Geçirgen alt taş üzerine kaplanmış tek katmanlı AR kaplamanın şematik gösterimi.....	15
3.11 Çok katmanlı AR kaplı bir kamera merceği.....	16
3.12 Hidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camlar.....	17
3.13 Anti-refle kaplamasız (solda) ve kaplamalı (sağda) otomobil camları.....	18
4.1 Vakumda buharlaştırma sistemin şematik gösterimi.....	19
4.2 Vakumda buharlaştırma sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi...	20
4.3 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi.....	22
4.4 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi.....	23
5.1 TVA sisteminin bir fotoğrafı.....	25
5.2 TVA sisteminin şematik çizimi.....	27
5.3 Doğrudan ısıtılmalı katodun şematik gösterimi.....	28
5.4 Doğrudan ısıtılmalı katodun (elektron tabancası) fotoğrafı.....	28
5.5 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA' nın elektrotların düzenlenişi.....	31
5.6 TVA' nın elektrotlarının deneylerde kullanıldığı biçimdeki fotoğrafı.....	32
5.7 TVA' da deşarj öncesinde tungsten potadaki katı haldeki materyal.....	34
5.8 TVA' da katı haldeki materyalin elektron bombardımanı yardımıyla sıvı hale geçmesi.....	34
5.9 TVA' da oluşan sıvı materyalin elektron bombardımanı ile gaz haline geçmesi.....	35
5.10 TVA' da gaz haline geçen materyalin elektron bombardımanın devam etmesiyle plazma haline geçmesi.....	35
5.11 TVA' da magnezyum' un plazması.....	36
5.12 TVA' da bor' un plazması.....	36
5.13 TVA ile üretilen ince filmlerin tane boyutu grafiği.....	40
5.14 TVA ile üretilen karbon ince filmin AFM görüntüsü.....	40
5.15 TVA ile üretilen karbon ince filmin TEM görüntüsü.....	41
5.16 TVA ile üretilen Ag-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nano katmanlı kompozitin SEM görüntüsü.....	42
5.17 TVA' da üretilen tungsten ince filmin AFM görüntüsü.....	42
6.1 Isıölçerin fotoğrafı.....	43
6.2 Gözlük camı tutucunun fotoğrafı.....	44
6.3 Kapayıcı (shutter) ile birlikte elektron tabancası ve potanın fotoğrafı.....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.4	Reaktif TVA sisteminin şematik gösterimi..... 45
6.5	Ekleme ve geliştirmelerden sonra TVA sisteminin vakum odasının fotoğrafı..... 46
6.6	Tungsten filament..... 48
6.7	TVA'da oluşan deşarjın şematik gösterimi..... 48
6.8	Deney sonrası ZrO <sub>2</sub> 'nin fotoğrafı..... 49
6.9	Tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenlik spektrumu..... 50
6.10	Tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının kırılma indisi değerleri..... 51
6.11	ZrO <sub>2</sub> kaplı camların yansıma değerleri..... 52
6.12	Tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının AFM görüntüsü (800 nm *800 nm)..... 53
6.13	Tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 3 boyutlu AFM görüntüsü (800 nm *800 nm)..... 53
6.14	Tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 2000 büyütmede SEM görüntüsü..... 54
6.15	Deney sonrası SiO <sub>2</sub> 'nin fotoğrafı..... 55
6.16	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenlik spektrumu..... 57
6.17	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camları, tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camları ve kaplamasız mineral gözlük camlarının optik geçirgenlik spektrumları..... 57
6.18	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının kırılma indisi değerleri..... 58
6.19	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının yansıma değerleri..... 59
6.20	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının AFM görüntüsü (4000 nm *4000 nm)..... 60
6.21	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 3 boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm *4000 nm)..... 60
6.22	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 1500 büyütmede SEM görüntüsü..... 61

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
5.1	Çeşitli elementler ve gerekli pota materyali.....	28
5.2	TVA ile üretilen karbon ince filmlerin XRD sonuçları.....	40
6.1	Deneyde uygulanan çalışma parametreleri.....	48
6.2	ZrO <sub>2</sub> 'nin termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri.....	48
6.3	Tek katmanlı ZrO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının ortalama kalınlık, kırılma indisi ve yansıma değerleri.....	50
6.4	Deneyde uygulanan çalışma parametreleri.....	54
6.5	SiO <sub>2</sub> 'nin termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri.....	55
6.6	Tek katmanlı SiO <sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının ortalama kalınlık, kırılma indisi ve yansıma değerleri.....	57

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

A	Amper
° C	Santigrat derece
g	Gram
I <sub>f</sub>	Filament Akımı
° K	Kelvin derece
mbar	Milibar
mm	Milimetre
n	Kırılma indisi
nm	Nanometre
P	Basınç
R	Yansımaya değeri
T	Optik geçirgenlik değeri
t	Zaman
V	Volt

### Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AR	Anti – Refle
DC	Doğru Akım
et al.	Ve diğerleri
HV	Yüksek Voltaj
INFLPR	Natioanal Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics
RF	Radyo Frekans
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TV	Televizyon
TVA	Termiyonik Vakum Ark
UV	Ultraviyole
vd.	Ve diğerleri
vs.	Vesaire
XRD	X-ışınları Difraksiyonu

## 1. GİRİŞ

Gözlük camları yüzeyine, gözü zorlayan parlak ışığın azaltılması, gözlük camlarının çizilmesinin önlenmesi, göze gelen ışığın kontrastını arttırıp keskin görüş sağlanması, gerçek renklerin algılanmasının sağlanması, gözlerin güneşin zararlı ışınlarından korunması, gözlük camına gelen ışığın yansımalarının azaltılması gibi birçok nedenden dolayı birçok kaplama yapılır. Bu kaplamalardan biri de anti – refle (AR) kaplamalardır. Gözlük camlarına gelen ışıkların bir kısmı yansıma olarak geri döner. Bu yansımalar ve parlamalar, gözlük kullananlar için, camın hem iç yüzeyinde, hem de dış yüzeyinde olduğundan, son derece rahatsız edicidir. Camın yüzeyinde oluşan bu ışık parlamaları ve yansımalar, ışık geçirgenliği ve net görüşü oldukça azaltır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için gözlük camlarına yansıma önleyici (anti – refle) kaplama yapılır. AR kaplamaların fiziki özellikleri, ışığın, camın yüzeyinden yansımalarını en az düzeye indirmek veya karşı yansımaları tamamıyla yok etmek üzere hesaplanmıştır. Hiç kaplaması olmayan bir camda yaklaşık % 6 bir ışık yansıması meydana gelir, AR kaplı gözlük camlarında ise bu oran % 0,6 ya düşer. Camda ne kadar az yansıma varsa, o kadar da görüntü geçirgenliği vardır. AR kaplamalar optik sanayisinde vakumda buharlaştırma, elektron demetli (e – beam) buharlaştırma gibi tekniklerle yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında ise ilk kez gözlük camlarına AR kaplama yapmak için Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği kullanılmıştır.

TVA tekniği temel olarak anot materyalinin buharlaştırılmasına dayalı bir tekniktir. TVA’da dışarıdan ısıtılan katottan yayımlanan elektronlar, anot içine yerleştirilen materyal üzerine yüksek voltaj yardımıyla bombardıman edilerek, anot materyalinin ısınarak eriyip buharlaştırılmasıyla deşarj oluşturulmaktadır. Bu teknikte tampon gazı kullanılmadığı için oluşan deşarj gaz karışımı içermeyen saf materyal buharı deşarjlı olmaktadır (Akan; 2002). Aynı zamanda TVA ile ayrıca bir iyon hızlandırıcı cihazı kullanılmadan yalnızca çalışma parametrelerini kontrol edilmesiyle, üretilen metal iyonlarının enerjileri ayarlanabilmektedir (Musa et al., 1999). 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 çalışması kapsamında ilk kez, optik sektöründe yaygın olarak kullanılan kaplama cihazlarına alternatif olarak yeni bir sistem ve işlem geliştirilmiştir. Bu kapsamda TVA plazması üreten sisteme bir takım eklemeler yapılarak sektörde kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu geliştirmeler kapsamında TVA sistemine gaz girişi de eklenerek yeni bir sistem oluşturulmuş ve oluşan sistem “Reaktif TVA” olarak adlandırılmıştır. Geliştirilen bu sistem ile optik sektöründe AR kaplamalarda yaygın olarak kullanılan iki malzemenin ( $ZrO_2$  ve  $SiO_2$ ) mineral gözlük camları üzerine kaplaması yapılmış ve bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

## **2. GÖZLÜK CAMLARI VE GÖZLÜK CAMLARI ÜZERİNE UYGULANAN YÜZEY İŞLEMLERİ**

### **2.1 Gözlük Camı Nedir?**

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 kullanılan materyali, çok geniş bir spektrum gösteren merceklerden spesifik olarak ayırt etmek için gözlük camı terimi kullanılmıştır.

### **2.2 Gözlük Camı Çeşitleri**

Gözlük camları imal edildikleri hammaddeye göre üçe ayrılırlar;

1. Mineral gözlük camları
2. Organik gözlük camları
3. Polikarbonat gözlük camları

#### **2.2.1 Mineral gözlük camları**

Optik sanayisinde çok çeşitli cam hammaddesi ile gözlük camı üretilmektedir ancak en çok mineral cam kullanılmaktadır. 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. Mineral gözlük camları da doğal silis kumunun fabrikalarda eritilip dökülmesiyle oluşturulan camdır. Bu materyalin birçok önemli özelliği bulunmaktadır. Işık geçirgenliği yüksek, renksiz, kokusuz, sıcağa ve atmosferik etkilere karşı dayanıklı, kolay matlaşmayan, kolay çizilmeyen bir gözlük camı çeşididir. Kırılma indisi  $n= 1,523$  olan mineral gözlük camı, havanın kırılma indisine en yakın hammadde olduğundan abbe değeri en yüksek lenstir.

Mineral gözlük camlarının avantajları;



- Kolay çizilmez.
- Şeffaflığı zamanla azalmaz.
- Kolay toz tutmaz.
- Temizlemesi kolaydır.
- Birçok kimyasal maddelerden etkilenmez.

Mineral gözlük camlarının dezavantajları;

- Ağırdır (organik gözlük camına göre).
- Kalındır (organik gözlük camına göre).
- Kırılmandır.
- Yansıtıcılığı fazladır.
- Kolay buğulanır.
- Sadece fabrikada renklendirilir ( kahverengi).

### 2.2.2 Organik gözlük camları

Organik gözlük camları, akrilik bir reçine olan katı (polimetil metakrilat) Polimetacrilat hammaddesinden döküm metodu ile imal edilir. Likit formdaki plastik materyal, sertleştirilmiş cam kalıp arasına konulmakta ve ısıtılarak katılaştırılmaktadır. Renkli hammadde ile dökülebildiği gibi genellikle natürel (beyaz) renk ile üretilir. Talebe göre laboratuvar ortamında kolayca boyanır (Aksak ve Küçükler, 2005).

Organik gözlük camlarının avantajları;

- Hafiftir (mineral gözlük camlarına göre yarı yarıya).
- Kırılmaya dayanıklıdır.
- Yansıtıcılığı azdır.
- Kolay buğulanmaz.
- Kolay işlenebilir.

Organik gözlük camlarının dezavantajları;

- Daha kalındır (mineral gözlük camlarına göre).
- Kolay çizilir.

- Şeffaflığı azdır.
- Kolay toz ve kir tutar.
- Bazı kimyasal maddelerden etkilenir.
- Sıcaktan etkilenir.

### **2.2.3 Polikarbonat gözlük camları**

Enjeksiyonla kalıplar içine ısı ile ergimiş polikarbonat hammaddesinin yüksek basınç ile enjekte edilerek üretilirler. Darbelere karşı dayanıklı ve sert oldukları için bu gözlük camları genellikle koruyucu gözlük olarak kullanılır.

Polikarbonat gözlük camlarının avantajları;

- Çok hafiftir (mineral ve organik gözlük camlarına göre).
- Darbelere ve kırılmaya karşı oldukça dayanıklıdır.

Polikarbonat gözlük camlarının dezavantajları;

- Kolay çizilebilir.
- Fiyatı çok pahalıdır.

## **2.3 Gözlük Camları Üzerine Uygulanan Yüzey İşlemleri**

### **2.3.1 Gözlük yüzeyini sertleştirici kaplamalar**

Gözlük yüzeyini sertleştirici kaplamalar, organik gözlük camları 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 yüzeyine sert kaplama yapmaya gerek yoktur.

### **2.3.2 Renklendirme**

Gözlük camları, gözü zorlayan parlak ışığın azaltılması, göze gelen ışığın kontrastını arttırıp keskin görüş sağlanması, gerçek renklerin algılanmasının sağlanması, gözlerin güneşin zararlı ışınlarından korunması gibi sebeplerle farklı renklerde renklendirilebilir. Bu renklendirme işlemi üç farklı şekilde yapılabilir:

- Gözlük camının imalatı sırasında hamuru renklendirilebilir.
- Gözlük camının yüzeyi, değişik kaplama teknikleri ile kaplanarak renklendirilebilir.
- Sıvı haldeki boyama maddesine gözlük camının batırılıp çıkarılması ile renklendirilebilir.

### **2.3.3 Yansıma önleyici (anti – refle) kaplamalar**

Yansımaları azaltmak için uygulanan kaplamalardır. Bu tez çalışmasında gözlük camları üzerine anti – refle kaplama uygulanıp incelendiği için bu kaplamalar Bölüm 3’de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

### 3. ANTI – REFLE (AR) KAPLAMALAR

#### 3.1 Anti – Refle (AR) Kaplama Nedir?

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 görüşü oldukça azaltır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için anti-refle kaplamalar uygulanır. Anti-refle kaplama; gözlük camlarının yüzeyine kaplanan oldukça ince bir kaplamadır. Anti-refle kaplaması olan gözlük camı daha şeffaf gözükür. Televizyonda, resim çekilirken veya biri size bakarken gözlerinizin tam olarak görünmesini sağlar. Ayrıca anti-refle kaplamalı gözlük camları; bilgisayar ve araba kullanırken veya gece görüşlerinde farlardan ya da ışıklardan kaynaklanan yansımaları en aza indirir. Anti- refle kaplamalı camlar parlamaya yol açan ışık yansımalarını azaltarak göz yorgunluklarını en aza indirir ve iyi bir görüntü sağlar.

#### 3.2 Gözlük Camlarında Yansıma

Işık saydam ortamlardan geçerken bir kısmı kırılarak geçer, bir kısmı ise yansıma yolu ile saydam ortamdan geçemez. Işığın geldiği ortama göre geçeceği saydam ortamın kırılma indisi ne kadar fazla ise yansıma 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 yansıma 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).

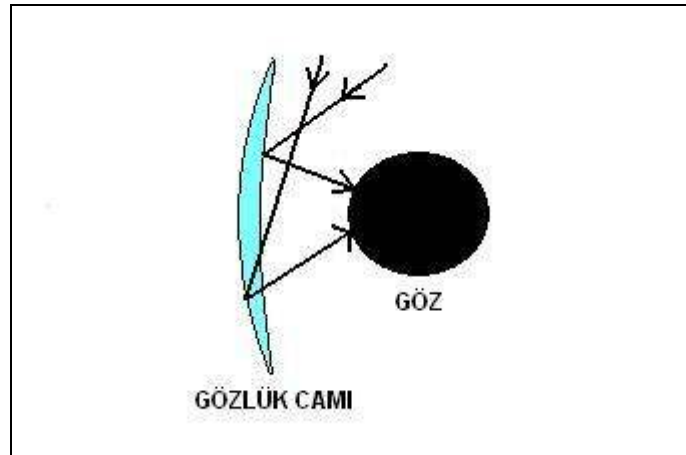
Gözlük camının yüzeyine gelen ışının normalle yaptığı açı, yansıyan ışının normalle yaptığı açıya eşittir.

Gözlük camlarında değişik şekillerde yansımalar oluşur. Bunlar;

1. Arka yansımalar
2. Korneadaki yansımalar
3. İç yansımalar
4. Ön taraftaki gözlemci tarafından görülen ön yansımalarıdır.

### 3.2.1 Arka yansımalar

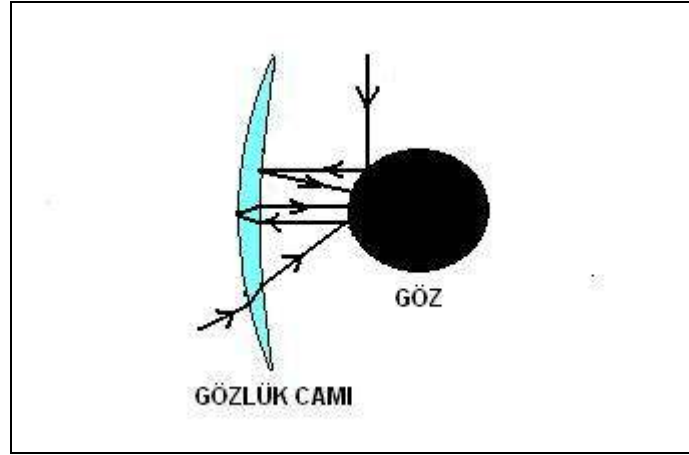
Gözlük kullanıcısının arkasından gelen ışığın bir bölümü gözlük camının arka yüzeyinden yansıma yapar. Genellikle gece araba kullananlarda bu durumla karşılaşılır. Şekil 3.1’de gözlük camı yüzeyinde arkadan yansıma gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gözlük camı yüzeyinde arkadan yansıma (Aksak ve Küçüker, 2005).

### 3.2.2 Korneadaki yansımalar

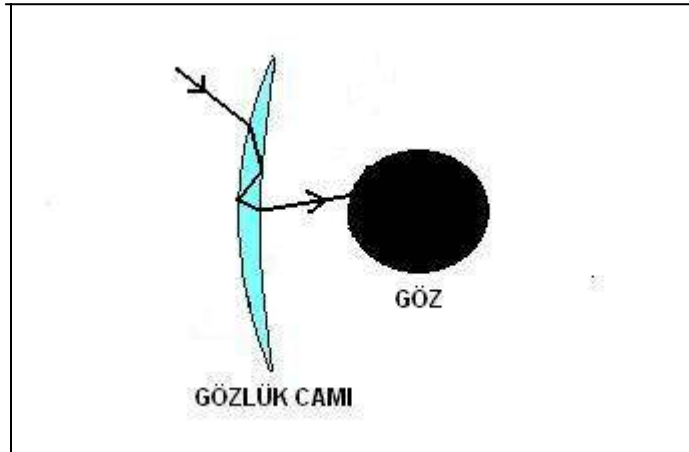
Kornea yüzeyinden yansıyıp gözlük camı yüzeyleri ile karşılaşan ışınların neden olduğu yansıma çeşididir. Şekil 3.2’de korneadan gözlük camına yansıyan ışınlar gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Korneadan gözlük camına yansıyan ışınlar (Aksak ve Küçüker, 2005).

### 3.2.3 İç yansımalar

Işık lensin ön ve arka yüzü arasında iç yansıma yapmaktadır. Şekil 3.3'de gözlük camı içerisinde meydana gelen yansımalar gösterilmiştir.

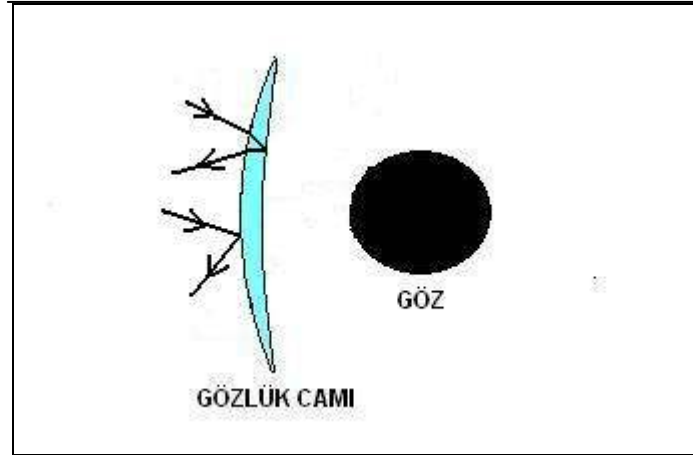


**Şekil 3.3.** Gözlük camı içerisinde meydana gelen yansımalar (Aksak ve Küçüker, 2005).

### 3.2.4 Ön yüzdeki yansımalar

Gözlük camının ön yüzüne (gözlüğü kullanan kişiye yakın olan yüz arka yüz, uzak olan yüz ön yüz olarak tanımlanmaktadır) çarpan ışınların bir bölümü dışarıdan

bakan bir gözlemciye doğru yansır. Bu tip yansımalar televizyon kamerası önünde gözlük takan bir kişinin gözlüğünde meydana gelen yansıma örnek gösterilebilir. Şekil 3.4’de gözlük camının ön yüzüne gelen ışınların ön ve arka yüzeyde yansıması gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Gözlük camının ön yüzüne gelen ışınların ön ve arka yüzeyde yansıması (Aksak ve Küçükler, 2005).

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

### 3.3 Gözlük Camının Kalınlığı ile Işık Geçirgenliği Arasındaki İlişki

Gözlük camlarında ışık geçirgenliği oranı, camın kalınlığı ile ters orantılı olarak değişir. Örneğin;

- 1 mm kalınlığındaki gözlük camının ışık geçirgenliği % 92
- 2 mm kalınlığındaki gözlük camının ışık geçirgenliği % 90
- 5 mm kalınlığındaki gözlük camının ışık geçirgenliği % 85
- 6 mm kalınlığındaki gözlük camının ışık geçirgenliği % 81

Görüldüğü gibi, gözlük camının kalınlığı arttıkça, ışık geçirgenliği azalmaktadır (Aksak ve Küçükler, 2005).

### 3.4 AR Kaplamaların Özellikleri

Anti-refle kaplamalar, gözlük camlarının ve optik cihazların yüzeyine yansımayı önlemek için uygulanan bir optik kaplama türüdür. Bu metot daha az ışık kaybolmasına sebep olduğundan sistemin verimliliğini artırır. Teleskop gibi karmaşık sistemlerde, yansımaların azaltılması ve kayıp ışığın yok edilmesiyle görüntünün kontrastı geliştirilir. Bu özelliği ile anti-refle kaplamalar astronomi için de önemlidir. Diğer uygulamalarında gözlük camlarının anti-refle kaplanması yansımanın ortadan kaldırılması ile gözlük takan kişinin daha iyi görmesini sağlar. Şekil 3.5, şekil 3.6, şekil 3.7 ve şekil 3.8’de anti – refle kaplamalı ve kaplamasız gözlük camları arasındaki farklar gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Anti-refle kaplamalı ve kaplamasız gözlük camları





**Şekil 3.6.** Anti-refle kaplamasız bir gözlük camından bakan gözlemcinin görüşü



**Şekil 3.7.** Anti-refle kaplamalı bir gözlük camından bakan gözlemcinin görüşü



**Şekil 3.8.** Anti-refle kaplamasız bir gözlük camının karşıdan görünüşü



**Şekil 3.9.** Anti-refle kaplamalı bir gözlük camının karşıdan görünüşü  
(<http://www.cem-fa.com.tr/3b.asp>)

Anti-refle 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 daha iyi ışığı 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 anti-refle özelliği göstererek temiz cama göre ışığı daha az yansıttığını keşfetmiştir.

Oluşan yansımaları engellemek için ilk olarak Zeiss firması tarafından 1936 yılında anti-refle kaplama yapılmıştır. Bu kaplama lensin her iki yüzeyine de bir veya birkaç kat yapılmıştır.

Günümüzde ise anti – refle kaplamalı gözlük camları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Anti-refle 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 kirlere kurtulmuş olmalıdır.

### **3.5 AR Kaplama Çeşitleri**

Gözlük camlarının yapımında yaygın olarak mineral camlar ve organik camlar olarak kabul edilen materyaller kullanılmaktadır. Mineral camların ışık geçirgenliği (T) %92'ler mertebesinde iken organik camların ise %85'ler mertebesinde. Bunun yanı sıra mineral camların renk ayırcılığı organik camlara göre daha iyidir. Bu nedenle mineral camlarda görüntü daha iyi oluşur. Organik camlar ise hafiflik ve estetik görünüm nedeni ile tercih edilebilmektedir. Her iki materyal tipinde de gözlük camları özellikle toprak alkali metallerin florürleri ( $MgF_2$  gibi) ile kaplanarak ışık geçirgenlik oranları (T) ve renk ayırcılıkları artırılır. Böylece camın yansıtma oranı küçüldüğünden geçirgenlik oranının artması yanında görüş niteliği de artmaktadır. Bu nedenle göz yorgunluğunu azaltma gibi bir etki görülmektedir. Anti-refle kaplamalar tek katmanlı AR kaplamalar, iki ve çok katmanlı AR kaplamalar ve emici AR kaplamalar olmak üzere isimlendirilirler.

#### **3.5.1 Tek katmanlı AR kaplamalar**

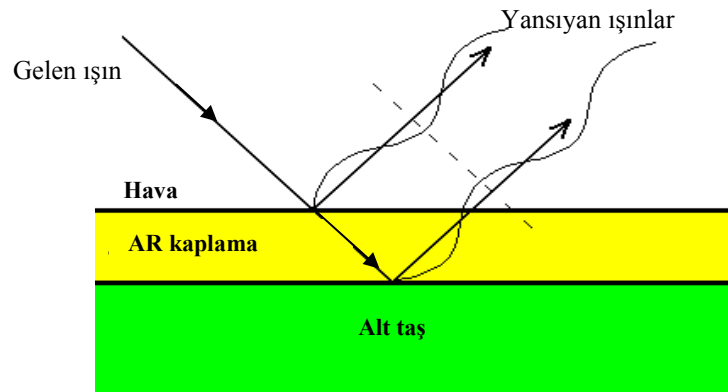
En basit anti-refle kaplamaları, taban malzemenin kırılma indisinin karekökü değerinde kırılma indisine sahip, tek katmanlı şeffaf kaplamadan oluşur.

Optik camların en yaygın türü mercek camıdır ve kırılma indisi 1,52' dir. En ideal tek katmanlı kaplama da kırılma indisi 1,23 olan malzemeden yapılmış olmalıdır.

Ancak bu kırılma indisine sahip, optik kaplamalar için kullanılabilecek bir malzeme yoktur. Bu kırılma indisi değerine en yakın kullanılabilecek 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.

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. Buna bağlı olarak UV bölgesindeki geçirgenlik de belirli bir miktar azaltılabilir.



**Şekil 3.10.** Geçirgen alt taş üzerine kaplanmış tek katmanlı AR kaplamanın şematik gösterimi (Thelen, 1988)

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.

### 3.5.2 İki ve çok katmanlı AR kaplamalar

Çok katmanlı AR kaplamalarda amaç, görünür bölgedeki ışık geçirgenliğinin tek katmanlı AR kaplamalara göre daha geniş bir bölgeye yaymaktır. 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 malzemedenden oluşan katmanlar kullanmak yansımayı % 1' e düşürmeyi sağlar.



**Şekil 3.11.** Çok katmanlı AR kaplı bir kamera merceği  
([en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective\\_coating](http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating))

Her bir AR kaplama tabakası belirli bir dalga boyundaki ışığın yansımalarını azaltmaktadır. Bu nedenle bütün görünür bölgelerin yansımalarını 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.

### 3.5.3 Emici AR kaplamalar

Anti – refle kaplamaların bir diğer çeşidi de emici AR kaplamalardır. Bu kaplamalar, düşük yansıma gereken ancak yüksek geçirgenliği bulunan malzemelerde

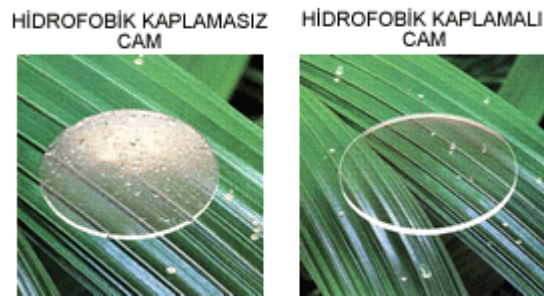
kullanılabilir. Çok az katman ile çok düşük yansıma sağlanabilir ve çok daha ucuzdur. Emici AR kaplamalar saçtırma tekniği ile depolanır. Örneğin, titanyum nitrit ve nitrit niobyum emici AR olarak kullanılır. Bu tür emici AR kaplamalar, kontrast geliştirme gerektiren uygulamalarda kullanılabilir.

### 3.6 AR Kaplamaların Optiksel Kullanımı

Optikçiler anti-refle kaplı camları, yansımanın azalmasından dolayı görüntünün çok daha iyi olması sebebiyle tercih ederler. Anti-refle kaplı camlar arabalarda, gece sürüşünde görüşü çok daha net kılarken bilgisayar monitörlerinin görünümünü kolaylaştırır. Anti-refle kaplı gözlük camları, gözlüğü takan kişinin gün boyunca gözlerini daha az yorar, görüntünün kontrastını ve görüş keskinliğini artırır.

Anti-refle kaplı gözlük camlarını, polarize gözlük camlarıyla karıştırmamak gerekir. Anti-refle terimi, gözlük camına gelen ışığın kaynağıyla değil gözlük camının kendi yüzeyinin yansıtıcılığı ile ilgilidir.

Birçok anti-refle kaplı camlarda su, yağ gibi maddelerin camın üstünde birikmesini engellemek ve daha temiz kalmasını sağlamak amacıyla anti-refle kaplamaların en üst katmanı hidrofobik (su tutmaz) malzeme ile kaplanır.



**Şekil 3.12.** Hidrofobik kaplamalı ve kaplamasız camlar  
(<http://www.ispartaoptik.com/prod04.htm>)

### 3.7 AR Kaplanmış Camların 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) sağlar. Görüntü ve sembollerin net ve ayrıntılı olarak algılanmasını sağlar.

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. Anti-refle kaplamalarla net bir görüntü sağlanır ve gece yolculuğu daha güvenli ve zevkli hale gelir. Otomobil sürücüleri tarafından, yol güvenliğini arttırdığı için tercih edilmektedir.



**Şekil 3.13.** Anti-refle kaplamasız (solda) ve kaplamalı (sağda) otomobil camları  
(<http://www.ispartaoptik.com/prod04.htm>)

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

4. Yüksek indisli gözlük camlarında yansımalar daha fazladır ve bu lenslerin mutlaka anti-refle kaplamalı olması gerekir.

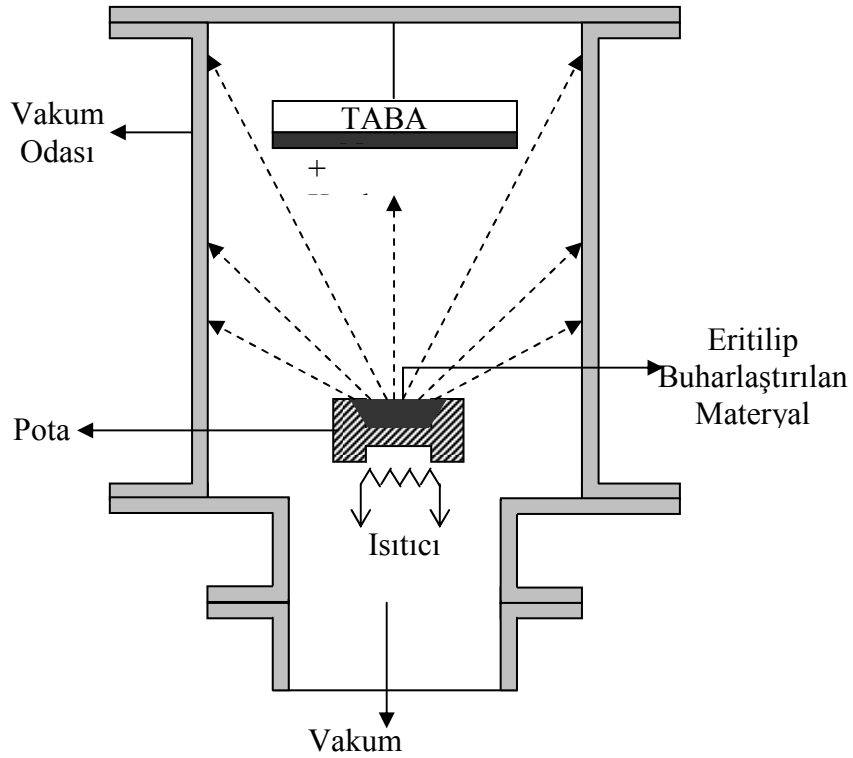
5. Anti-refle kaplamaları basit kimyasal solüsyonlara karşı dayanıklıdır. (Alkol, kolonya, aseton vs.)

#### 4. ANTI – REFLE KAPLAMA TEKNİKLERİ

Vakumda yapılan AR kaplamalar olarak, literatürde aşağıda belirtilen kaplama teknikleri verilmekte olup, imalata yönelik çalışmalarda da aşağıdaki teknikler kullanılmaktadır. Yaptığımız bu tez çalışmasında ise yeni bir AR kaplama tekniği tarafımızdan geliştirilmiş olup bölüm 5 ve 6’da detaylı olarak verilmektedir.

##### 4.1. Vakumda Buharlaştırma Tekniği

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

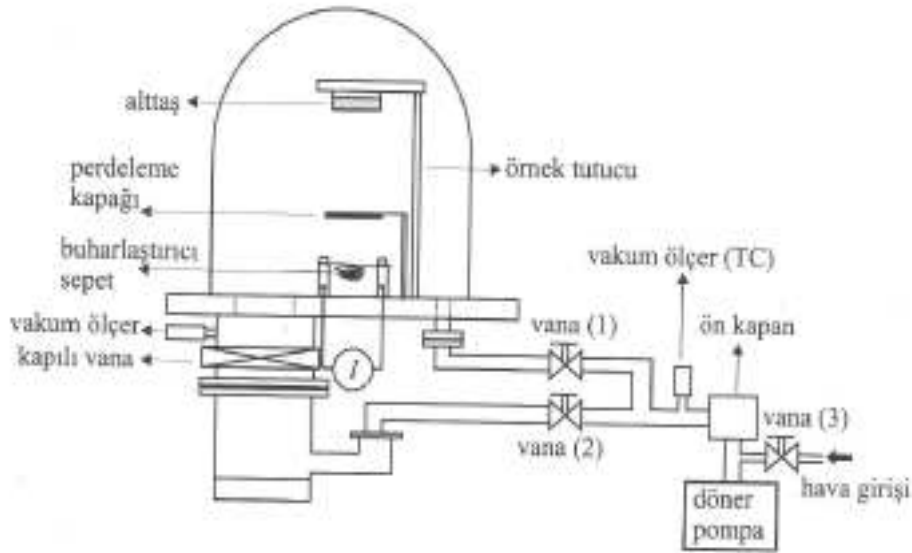


Şekil 4.1. Vakumda buharlaştırma sistemin şematik gösterimi (Balbağ, 2009).



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

Vakumda buharlaştırma sisteminde, buharlaştırılacak malzemeler genellikle erime sıcaklığı oldukça yüksek olan metalden, örneğin tungstenden yapılmış bir potaya konarak 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; Balbağ, 2009).

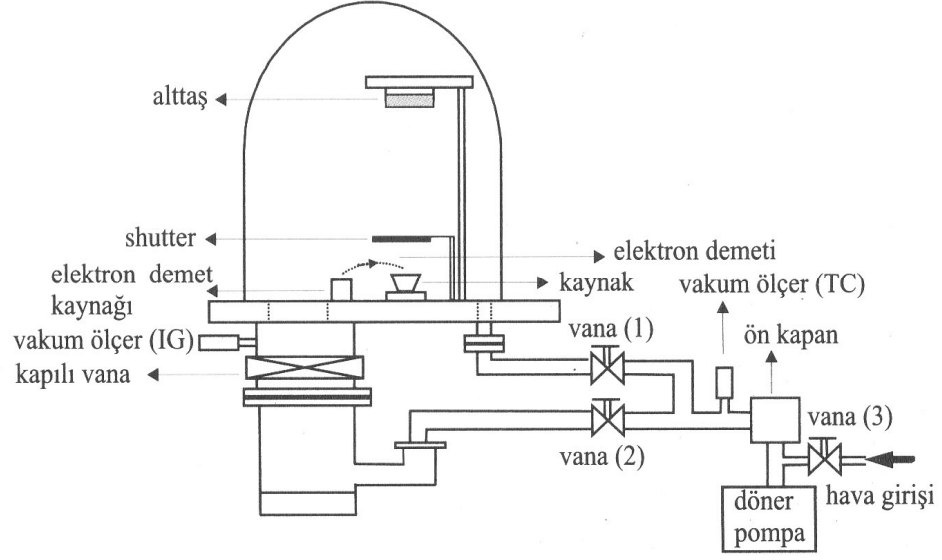


**Şekil 4.2.** Vakumda buharlaştırma sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı., 2006).

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

#### **4.2. Elektron Demetli (e - beam) Buharlaştırma Tekniği**

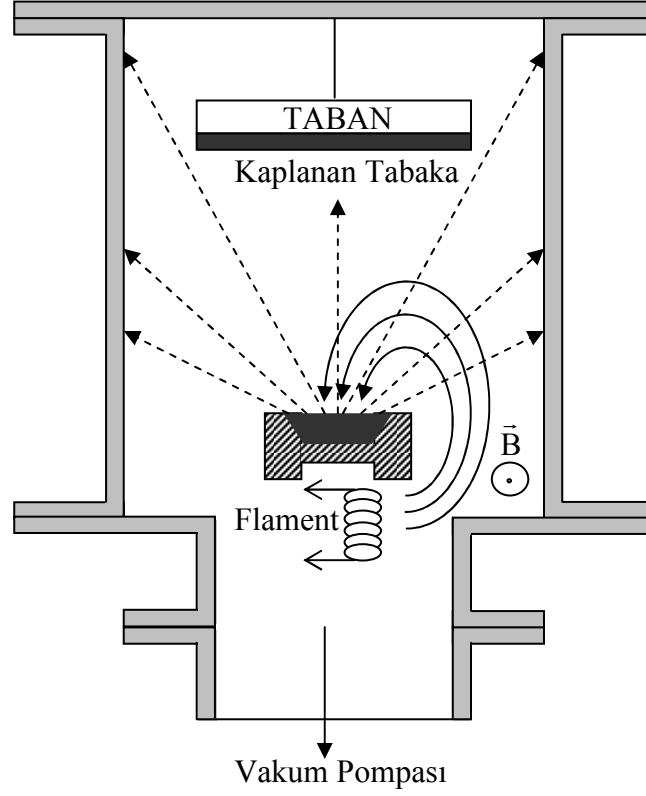
Metal kaplama işleminde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntem ilke olarak vakumda buharlaştırma yöntemi ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Bu yöntemin en belirgin farklılığı buharlaştırılacak kaynak dolaylı olarak değil de direk olarak ısıtılmasıdır. Bu yöntemde 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 yöneltilerek 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 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).

Vakumda buharlaştırma tekniğindeki gibi bu teknikte de buharlaştırılacak materyal, zor eriyen metalden yapılmış bir pota içine yerleştirilmiştir. Pota içindeki materyal, potanın altında bulunan filament tarafından yayınlanan ve bir manyetik alanla yönlendirilen enerji elektronlarla bombardıman edilerek ısıtılır ve buharlaştırılır. Potanın yanındaki yaklaşık 10 mT civarındaki bir manyetik indüksiyon, elektron demetinin filamentten  $270^\circ$ '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; Balbağ, 2009).

Vakum altında çalışan elektron demetli buharlaştırma ve kaplama sisteminin farklı bir dizaynı şekil 4.4.'de gösterilmiştir (Roth, 2001).



**Şekil 4.4.** Elektron demetli buharlaştırma sisteminin sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi (Balbağ, 2009).

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 kaynağı kirletmesi de olasıdır (Tarımcı ve Sarı., 2006).

## 5. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ

### 5.1. Giriş

Gazlarda elektriksel deşarjın incelenmesi ilk kez 1800'lü yılların başlarında 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. Bununla birlikte floresans lamba gibi civa 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 deşarjıdır. 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 üretilebilmesi için 1983 yılında INFLPR (National Institute For Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Romania; Ulusal Lazer Plazma ve Radyasyon Fiziği Enstitüsü, Bükreş, Romanya)in alt grubu olan Düşük Sıcaklık Plazma Fiziği Grubu çalışanlarından 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. Romanya'da iki araştırma grubu ve Türkiye'de bir araştırma grubu tarafından halen araştırma ve geliştirme çalışmaları sürmekte ve elde edilen sonuçlar uluslar arası literatürlerde

yayınlanmaktadır. TVA'nın araştırma ve geliştirme çalışmaları Türkiye'de Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Plazma Fiziği Laboratuvarları'nda 1998 yılından itibaren devam etmektedir. Bu laboratuvarlarda şuan iki adet TVA sistemi bulunmaktadır. TVA tekniği çok geliştirilerek artık sadece metal buharları üreten bir sistem olmaktan çıkmıştır. TVA tekniğinde 25 yıl içerisinde erime noktası düşük materyallerin (Cu, Au, Ag, SiO, Si gibi), erime noktası yüksek materyallerin (Re, B, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi) ve çeşitli gazların plazmaları üretilerek bu üretilen plazmalar yardımı ile pürüzsüz saf ince filmler üretilmektedir. ESOĞÜ Plazma Fiziği Laboratuvarlarında ise 10 yıl içerisinde ilk defa seramik, yarı iletken, bor ve süper iletken filmlerin üretilmesi ve gözlük camlarının anti-refle kaplanması gerçekleştirilmiştir (Balbağ, 2009). Şekil 5.1'de TVA sisteminin bir fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 5.1. TVA sisteminin bir fotoğrafı

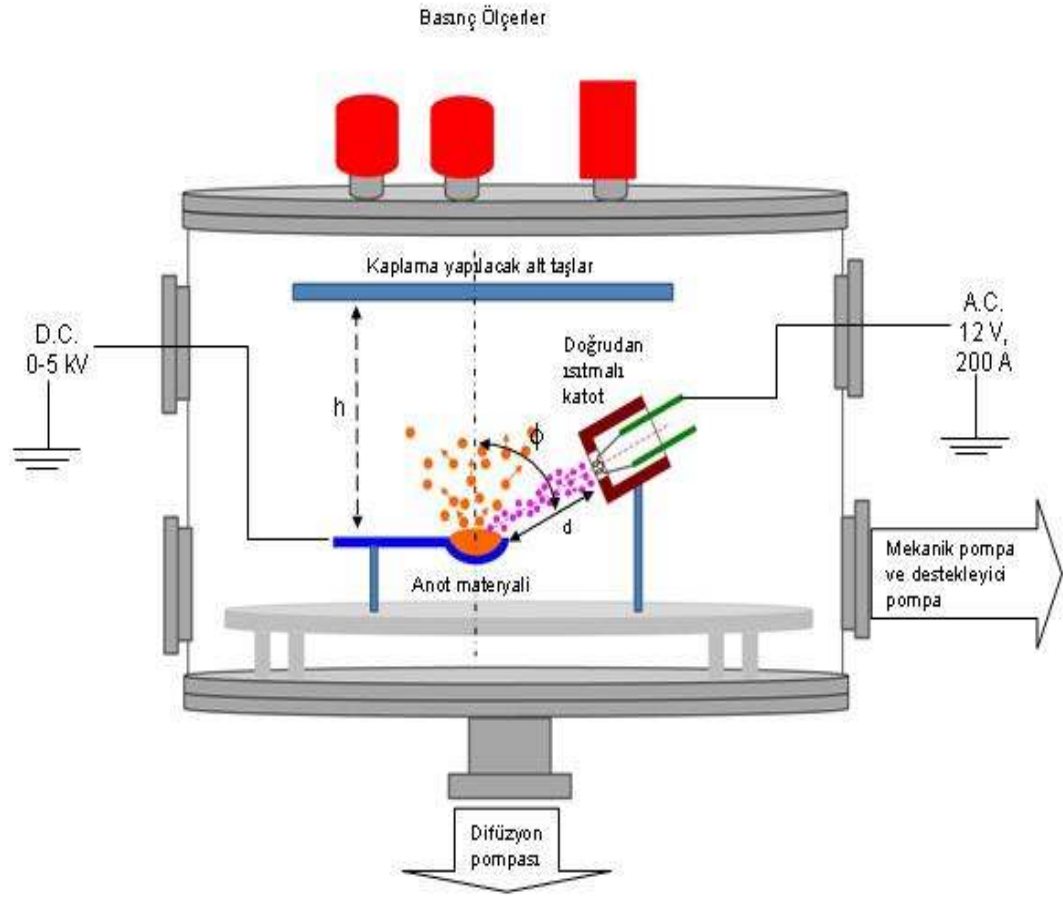
Termiyonik Vakum Ark (TVA); metal, seramik, yarıiletken gibi hemen hemen her materyalin plazmasını üretebilen yeni bir tekniktir. TVA sistemi temel olarak, vakum odası içinde, plazması oluşturulacak materyalin bulunduğu anot ve katottan oluşmaktadır. Katottan yayınlanan elektronlar ve elektrotlar arasına 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, pürüzlülüğü 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 Şekil 5.2'deki gibidir. TVA sistemi 9 ana 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 sistemlerinden oluşmaktadır.

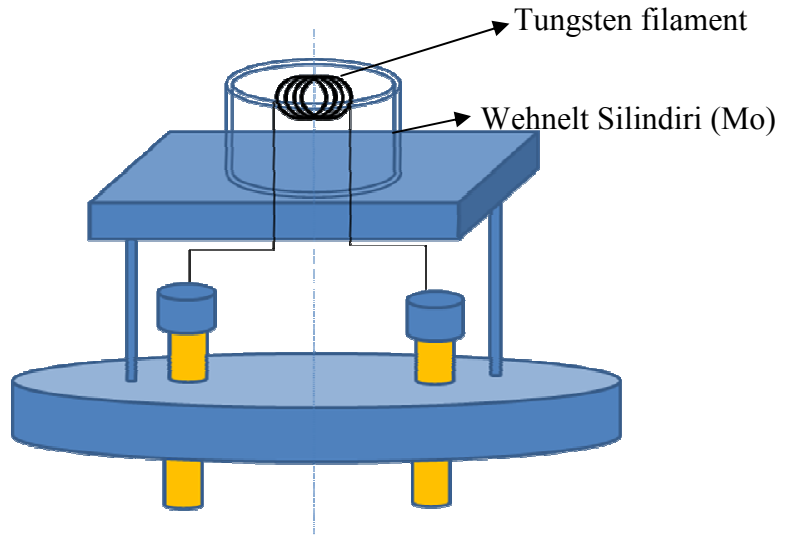
1. Vakum Odası: TVA sisteminin vakum odası,  $10^{-9}$  Torr'da çalışabilecek paslanmaz çelikten özel olarak imal ettirilmiştir.



**Şekil 5.2.** TVA sisteminin şematik çizimi (Balbağ, 2009)

2. Doğrudan ısıtmalı katot: Bir elektron tabancasıdır. Tungsten telden özel olarak yapılmaktadır ve üzerinden akım geçirilerek elektron emisyonu oluşturulur. Oluşturulan bu elektron emisyonu bir Wehnelt silindiri içerisinde geçirilerek odaklanmaktadır. Odaklanma genellikle plazması oluşturulacak olan malzemenin üzerinde olacak şekilde yerleştirilir. Wehnelt silindirinin ucu ile materyal arasındaki mesafe TVA sisteminde bir parametredir ve  $d$  ile simgelenir. Şekil 5.2’deki  $\phi$  ise elektron tabancasından çıkan elektron demetinin doğrultusu ile düşey eksen arasındaki açıdır. Şekil 5.3’te doğrudan ısıtmalı katodun şematik çizimi gösterilmektedir.





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



**Şekil 5.4** Doğrudan ısıtmalı katodun (elektron tabancası) fotoğrafı (Balbağ, 2009)

3. Anot materyali tutucusu: Yüksek erime sıcaklığına sahip malzemelerden yapılmış potadır. Çalışma esnasında alaşım yapma olasılığı olduğundan çeşitli elementler için çeşitli potalar kullanılması gerekir. Çizelge 5.1'de plazması üretilecek için kullanılan çeşitli pota materyalleri gösterilmiştir.

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

Buharlaşacak Materyal	Form	Pota Materyali	Gözlem
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 sistemi: Bir adet mekanik pompa ve bir adet difüzyon pompasından oluşmaktadır. Bu iki pompa sayesinde  $10^{-6}$  Torr basınca kadar düşmekte ve deneyler bu vakumda gerçekleştirilmektedir.

6. Vakum ölçüm sistemleri. Düşük basınçölçer sistemleri ve daha düşük basınç ölçüm sistemleri olmak üzere iki adet basınç ölçüm cihazından oluşmaktadır.

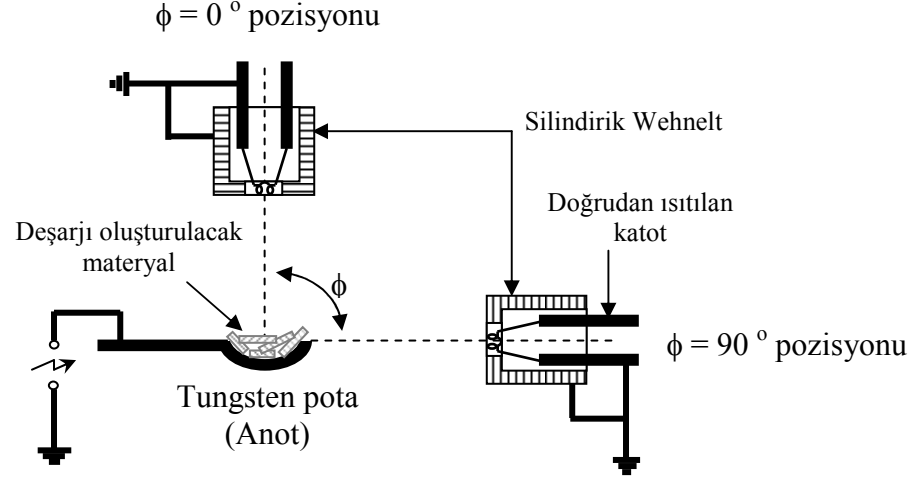
7. Ampermetreler ve Voltmetreler sistemi: Ampermetre ve voltmetreler ile termiyonik vakum arklarının oluşturduğu akım ve oluşma potansiyelleri ile potansiyel düşümleri ölçülebilmektedir. Bu cihazlar ile 0–2 A ve 0–5000 V DC ölçülebilmektedir.

8. İnce film kalınlık ölçüm sistemleri: 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

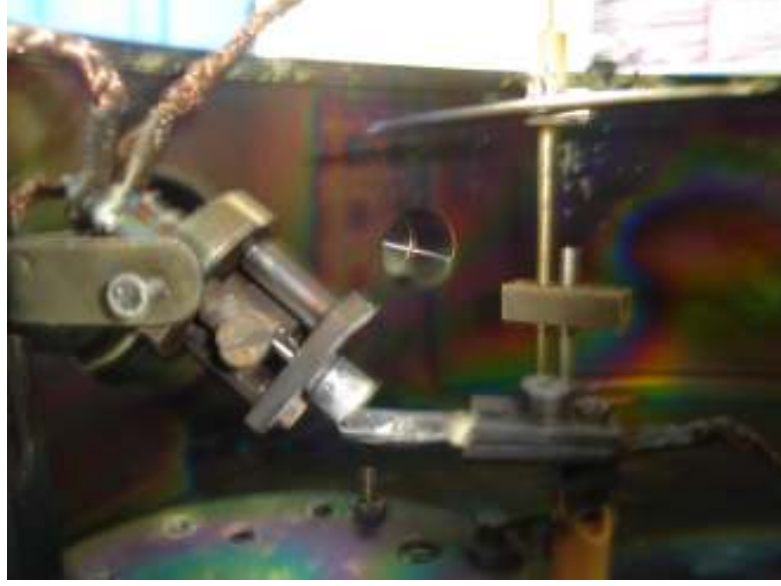
### **5.2.1 TVA'nın elektrotlar sistemi**

TVA'nın elektrotlar sistemi, katot ve anot olarak isimlendirilen ve birbirlerine göre farklı konumlara getirilebilen iki elektrottan oluşur. Şekil 5.5'te elektrotlar sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



**Şekil 5.5.** Doğrudan ısıtılan katot ile TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi (Akan, 2003)

Katot, değişik kalınlıklardaki tungsten tellerden değişik çaplarda sarılarak elde edilen bir tungsten filamenttir. Katot filamentini molibden bir Wehnelt silindiri içine yerleştirilir. Anot ise, içine buharlaştırılarak plazması oluşturulacak materyalin konduğu kaşık şeklinde bir potadır. Katodun içine yerleştirildiği elektron tabancası ile anot, paslanmaz çelikten yapılmış bir tabla üzerine monte edilmiştir. Şekil 5.6. '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 basınç ölçer ile ölçülebilen bir vakum odası içine yerleştirilmiştir. Bu vakum odasının üst kısmında bulunan kapak, bir kaldıraç yardımıyla açılıp kapanmakta ve elektrotların bulunduğu tabla vakum odasının içine kolayca yerleştirilebilmektedir. Vakum odasının ön kısmında ise cam ile kapatılmış bir pencere yapılmıştır. Buradan vakum odasının içi gözlenebilmekte ve TVA deşarj oluştuktan sonra deşarj izlenebilmektedir.



**Şekil 5.6.** TVA'nın elektrotlarının deneylerde kullanıldığı biçimdeki fotoğrafı.

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi TVA' da elektron emisyonu sağlayıcısı olarak kullanılan elektron tabancası ile anot, paslanmaz çelikten yapılmış dört ayaklı tabla üzerine monte edilmiştir. Bu şekilde elektrotlar sistemi vakum odası içine kolayca yerleştirilip, istenildiğinde çıkarılabilmektedir.

### 5.3 TVA Deşarj

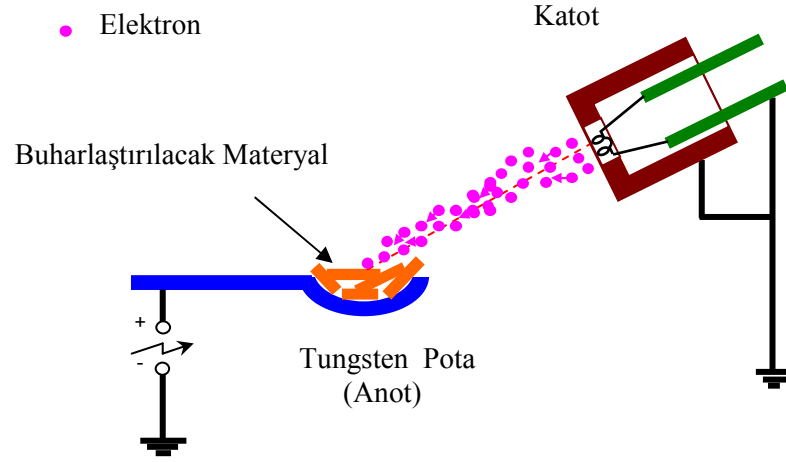
Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniğinde; dışarıdan ısıtılan katottan yayınlanan elektronlar, anot içine yerleştirilen materyal üzerine yüksek voltaj yardımıyla bombardıman edilerek, anot materyalinin ısınarak eriyip buharlaştırılmasıyla deşarj oluşturulmaktadır yani anot materyalinin plazması oluşturulmaktadır.

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,

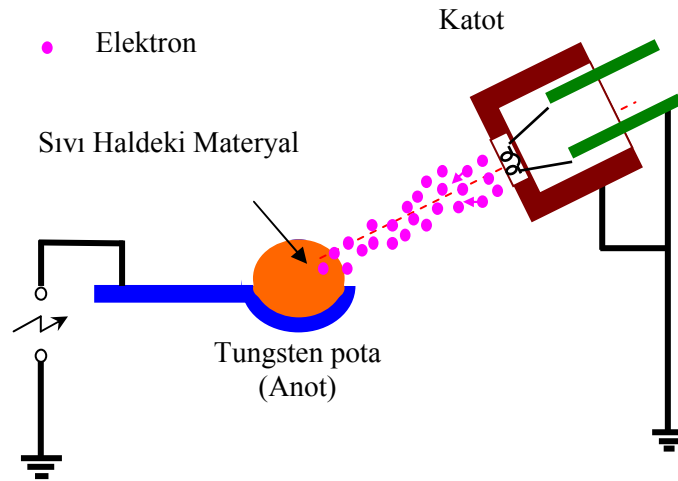
deşarj oluştuktan sonra da korunmak zorundadır. Başka bir deyişle TVA,deşarj boyunca hemdeşarjın oluşacağı gazı hem de bu gazın iyonlarını oluşturmaktadır.

TVAdeşarjın oluşturulması için katot filamenti, 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 kaynarak 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 birdeşarj oluşur.

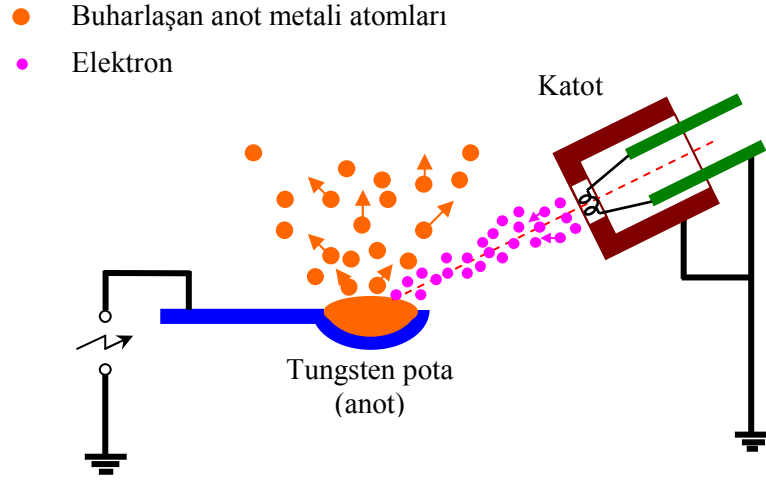
Şekil 5.7, şekil 5.8, şekil 5.9 ve şekil 5.10'da ise TVAdeşarjın nasıl gerçekleştiği şematik biçimde gösterilmektedir.



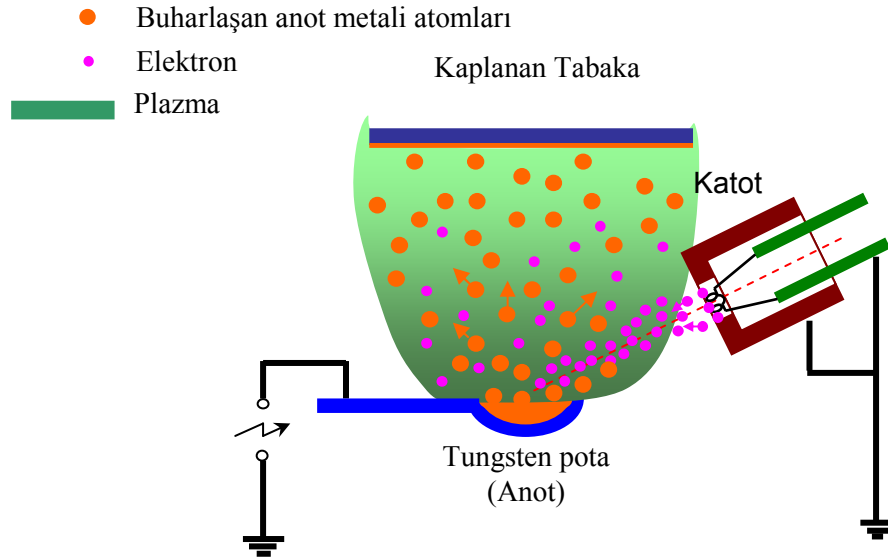
Şekil 5.7. TVA’da deşarj öncesinde tungsten potadaki katı haldeki materyal. (Karakaş, 2006)



Şekil 5.8. TVA’da katı haldeki materyalin elektron bombardımanı yardımıyla sıvı hale geçmesi. (Karakaş, 2006)



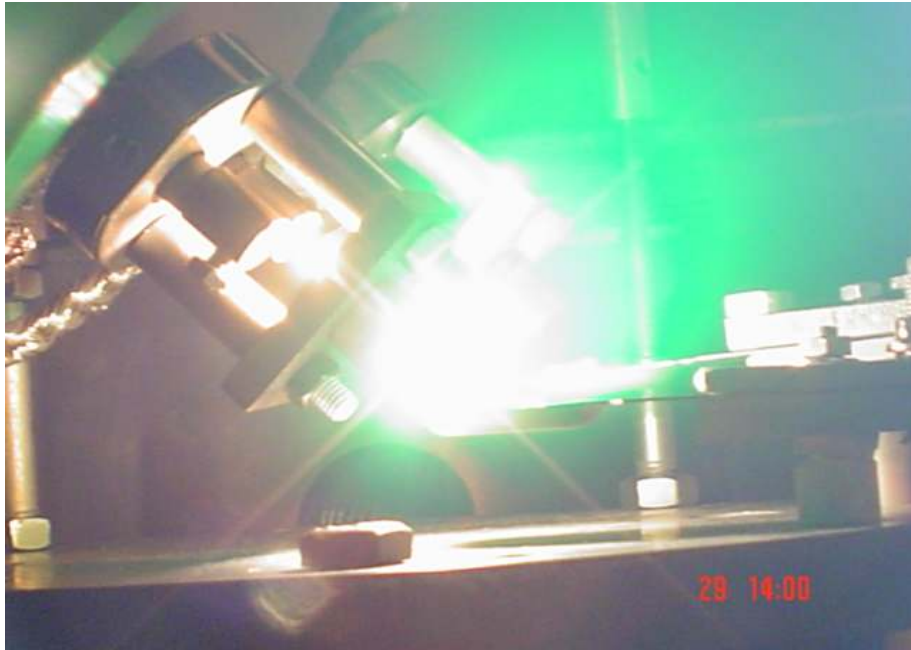
Şekil 5.9. TVA' da oluşan sıvı materyalin elektron bombardımanı ile gaz haline geçmesi. (Karakaş, 2006)



Şekil 5.10. TVA' da gaz haline geçen materyalin elektron bombardımanının devam etmesiyle plazma haline geçmesi. (Karakaş, 2006)

Şekil 5.11 ve şekil 5.12'de TVA'da bazı malzemelerin deşarj oluşturularak plazma haline geçişlerinin fotoğrafları verilmektedir.





**Şekil 5.11.** TVA' da magnezyum' un plazması (Balbağ, 2009)



**Şekil 5.12.** TVA' da bor' un plazması (Balbağ, 2009)

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.

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 yapılabilmifitir. 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 dahi kaplamalar yapılmıştır (Si, Cam, Kumaş, Plastik gibi) gerçekteşirilmifitir.

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 işlenmesinde 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 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 laboratuvarlarında, bir tanesi düşük erime sıcaklığına sahip materyaller diğeri ise yüksek erime sıcaklığına sahip materyaller için olmak üzere iki adet bulunmaktadır.

#### **5.4. Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri**

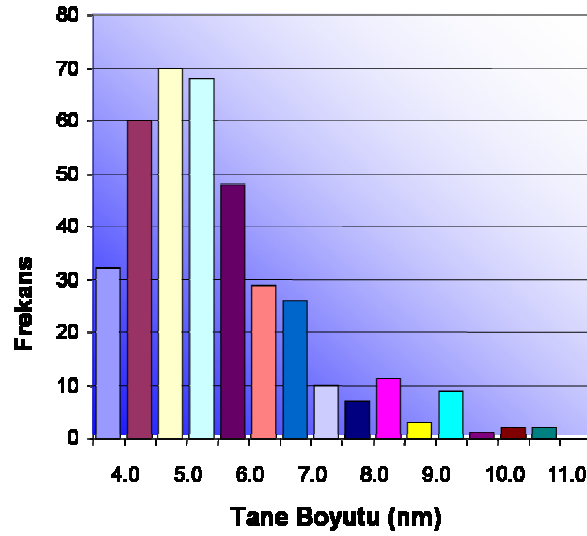
TVA sistemi ile bugüne kadar üretilen ince film kaplamaların incelenmesi sonucunda aşağıdaki özellikler bulunmuştur;

- 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).

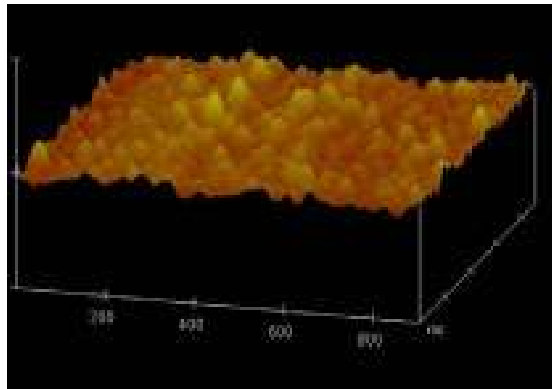
- TVA sistemi ile üretilen ince filmlerin yüzey pürüzlülüğünün düşük olduğu gözlenmiştir. (amorf suni karbon ince filmlerde yüzey pürüzlülüğü 0,7nm bulunmuştur) (Ekem et al., 2008).
- TVA ile üretilen ince filmlerin oldukça sıkı yapıda olduğu gözlenmiştir.
- TVA ile üretilen ince filmlerin TEM analizleri sonucunda üretilen ince filmlerin nano desenler şeklinde olduğu gözlenmiştir (Akan et al., 2007; Balbag 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; Vladoiu et al., 2007; Lungu et al., 2006; Vladoiu 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 taş üzerine difüzyon derinliği isteğe bağlı olarak değişebilmektedir (Vladoiu 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 taşlar 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.

Şekil 5.13' de 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.



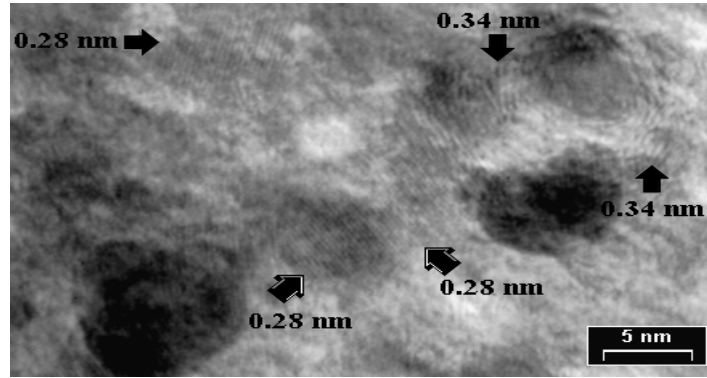
Şekil 5.13. TVA ile üretilen ince filmlerin tane boyutu grafiği (Surdu et al., 2007)

Şekil 5.14' de verilen TVA ile üretilen amorf suni karbonun AFM görüntüsünde(1000nm x1000nm) 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 5.14. TVA ile üretilen karbon ince filmin AFM görüntüsü (Ekem et al., 2008)

Şekil 5.15’ de verilen, TVA ile üretilen amorf suni karbonun TEM görüntüsünde karbon ince filmin bölgesel olarak yönelimlere sahip olduğu görülmektedir.



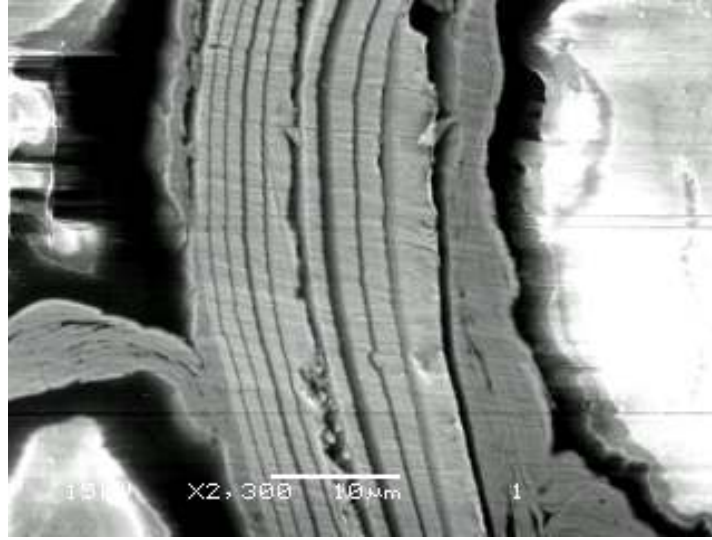
**Şekil 5.15.** TVA ile üretilen karbon ince filmin TEM görüntüsü (Ciupina et al., 2007)

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)

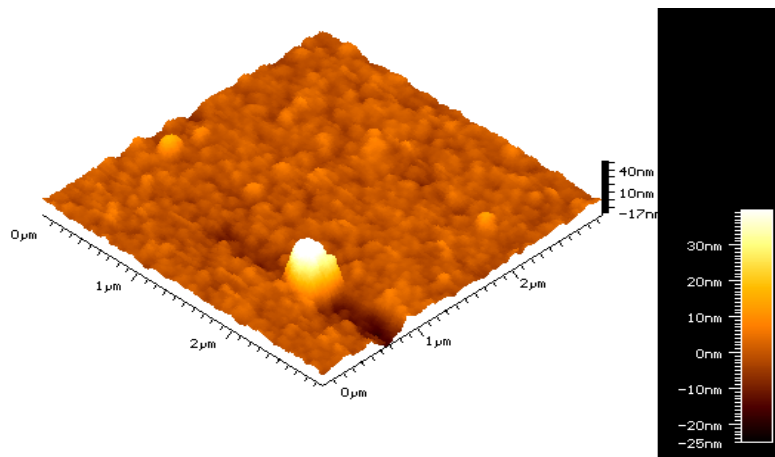
Material	Form	a	b	c
Graphite	Hexagonal	2.47000	2.47000	6.80000
Diamond	Cubic	3.56000	3.56000	3.56000
WC	Hexagonal	2.99704	2.99704	4.72790

Şekil 5.16’da TVA ile üretilen Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano katmanlı kompozitin SEM görüntüsü gösterilmiştir. Bu görüntüden de görüldüğü gibi ara kesit yüzeyleri oldukça düzenli bir şekildedir.



**Şekil 5.16.** TVA ile üretilen Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano katmanlı kompozitin SEM görüntüsü (Akan(b), 2006)

TVA tekniği ile erime noktası yüksek olan materyallerin kaplanması gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 5.17’ de TVA’ da üretilen tungsten ince filmin AFM görüntüsü yer almaktadır. AFM görüntülerinden de anlaşılacağı gibi TVA tekniği ile kaplanan tungstenin yüzeyi oldukça pürüzsüzdür.



**Şekil 5.17.** TVA’ da üretilen tungsten ince filmin AFM görüntüsü (Musa(b) et al., 2005)

## 6. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ KULLANILARAK MİNERAL GÖZLÜK CAMLARININ ANTİ - REFLE KAPLANMASI

Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi anot plazması üreten bir sistemdir. Bu sistem ile daha önce çeşitli ince filmler üretilmiştir (Ekem et al., 2005). Bu tez çalışması kapsamında ise TVA sistemine yapılan eklemeler ile bu sistem gözlük camlarına anti – refle (AR) kaplama yapabilen ticari bir sisteme dönüştürülmüştür. Bu dönüşümden sonra ise AR kaplamalar yapılmış ve bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

TVA sistemine yapılan eklemeler:

1. Sıcaklık ölçer: Deney esnasında, vakum odasının ve gerekli durumlarda alttaşların sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır. Sıcaklık ölçerin fotoğrafı şekil 6.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.1.** Sıcaklık ölçerin fotoğrafı.

2. Gözlük Camı Tutucu: Kaplanacak olan gözlük camlarını tutmak için kullanılır. İşlem esnasında sabit bir hızla sürekli olarak dönmektedir. Böylece, homojen ve çoklu kaplama yapılabilmektedir. Şekil 6.2’de gözlük camı tutucunun fotoğrafı gösterilmiştir.





**Şekil 6.2.** Gözlük camı tutucunun fotoğrafı.

3. Kapayıcı (Shutter): Deney esnasında, deşarj oluşmadan önce elektron tabancası ve potanın üzerini kapatarak plazması oluşturulacak materyalin buharının gözlük camları üzerine yönelmesini engeller. Böylece, deşarj başladığı anda gözlük camlarının yüzeyinde oluşabilecek kararsızlıkları engeller ve kalınlık kontrolü için kullanılır. Şekil 6.3’de kapayıcı (shutter) ile birlikte elektron tabancası ve potanın fotoğrafı gösterilmektedir.



**Şekil 6.3.** Kapayıcı (shutter) ile birlikte elektron tabancası ve potanın fotoğrafı.





**Şekil 6.5.** Ekleme ve geliştirmelerden sonra TVA sisteminin vakum odasının fotoğrafı.

Bu ekleme ve geliştirmeler ilk kez bu tez çalışması kapsamında gözlük camlarını anti – refle kaplamak için yapılmış ve sistem gözlük camlarını kaplamaya hazır hale getirilmiştir.

Gözlük camlarının anti – refle ile kaplanmasında yaygın olarak kullanılan  $ZrO_2$  ve  $SiO_2$  mineral gözlük camları üzerine Termiyonik Vakum Ark Tekniği (TVA) ile tek katmanlı olarak kaplanmış, kaplanan gözlük camlarının UV spektrum ölçümleri alınarak geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Ayrıca Filmetrics F20 kalınlık ölçüm sisteminde kalınlık, kırılma indisi ve yansıma ölçümleri yapılarak anti – refle ile kaplanan mineral gözlük camlarının bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bunların yanı sıra gözlük camlarının AFM ve SEM ölçümleri de gerçekteştirilerek kaplanan gözlük camlarının yüzey özellikleri belirlenmiştir.

## 6.1. TVA Tekniği ile Mineral Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı ZrO<sub>2</sub> Kaplanması

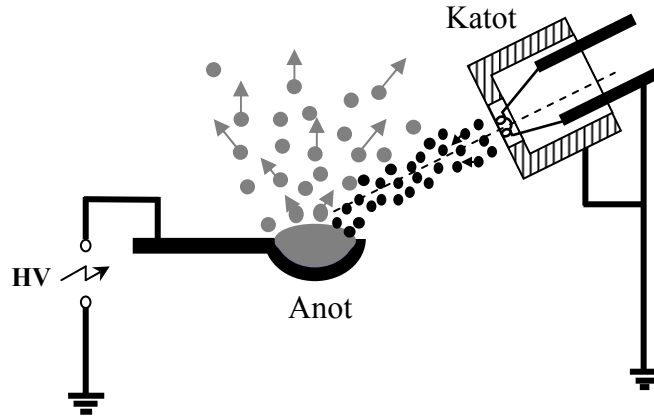
ZrO<sub>2</sub>, anti – refle kaplama maddesi olarak optik sanayinde de sıkça kullanılan malzemelerden biridir. Kaplandığı gözlük camının yansıma değerini azaltarak gözlük kullanıcısının daha net bir görüşe sahip olmasını sağlar. Bu çalışmada, sanayideki tekniklerden farklı olarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde, Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarları'nda bulunan Termiyonik Vakum Ark tekniği geliştirilerek, mineral gözlük camları üzerine tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> kaplanarak bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Deney öncesinde, gözlük camları önce saf su, daha sonra alkol ve son olarak yine saf su ile Ultrasonik Temizleme Cihazında her bir işlem için 5'er dakika yıkanmıştır. Kaplamanın kaliteli olabilmesi için kaplanacak gözlük camlarının üzeri ıslaklıktan, su buharından arındırılmış ve tamamen kuru olmalıdır, bu nedenle temizlenen gözlük camları 30 dakika kurumaya bırakılmıştır. Tamamen kuruyan gözlük camları steril bir şekilde TVA sisteminin vakum odası içine yerleştirilmiştir. TVA sisteminde gözlük camları üzerine ZrO<sub>2</sub> kaplamak için malzeme tutucu pota (anot) olarak tungsten pota kullanılmıştır. Elektron tabancasının ucuna 0,5 mm'lik tungsten tel filament (katot) olarak yerleştirilmiş ve pota içerisine ZrO<sub>2</sub> konularak sistem kapatılmıştır. Elektron tabancasının ucuna yerleştirilen tungsten filament, şekil 6.6'da gösterilmiştir. 10<sup>-5</sup> Torr'a kadar vakumlanan sistemimizin içine ilk önce gaz girişinden argon gazı verilerek argon gazının plazması oluşturulmuş ve gözlük camları argon gazı plazması ile tozlaştırılmıştır. Daha sonra deşarj oluşturulmuştur. Oluşan deşarjın sematik gösterimi şekil 6.7.'de verilmiştir.



Şekil 6.6. Tungsten filamentin fotoğrafı.

- Buharlaşan anot metali atomları
- Elektron



Şekil 6.7. TVA'da oluşan deşarjın şematik gösterimi (Balbağ, 2009).

TVA'da deşarj ile  $ZrO_2$ 'nin plazması oluşturulmuş ve sistem içerisindeki dönen gözlük camı tutucusu üzerindeki gözlük camlarının yüzeyine tutunması sağlanmıştır. Böylece mineral gözlük camları üzerine tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplanmıştır. Deneyde uygulanan çalışma parametreleri çizelge 6.1.'de verilmiştir. Şekil 6.8'de deney sonrası potadan alınan  $ZrO_2$ 'nin fotoğrafı görülmektedir.

**Çizelge 6.1.** Deneyde uygulanan çalışma parametreleri

	<b>Sembol</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
<b>Filament akımı</b>	$I_f$	19,5	Amper
<b>Uygulanan voltaj</b>	U	2000	Volt
<b>Ark akımı</b>	$I_{ark}$	$200 \times 10^{-3}$	Amper
<b>Basınç</b>	P	$3 \times 10^{-5}$	Torr
<b>Zaman</b>	t	30	Saniye



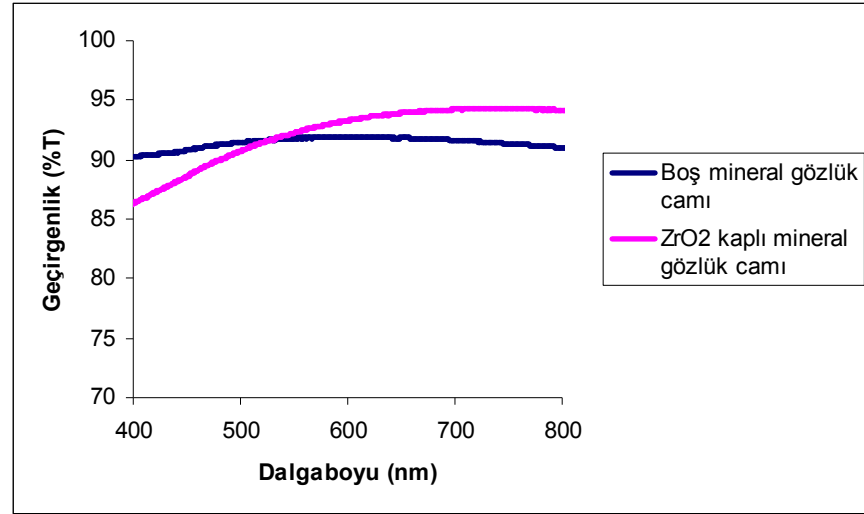
**Şekil 6.8.** Deney sonrası  $ZrO_2$ 'nin fotoğrafı.

**Çizelge 6.2.**  $ZrO_2$ 'nin termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri.

<b>Termal iletkenlik</b>	<b>Buhar Basıncı</b>	<b>Erime Sıcaklığı</b>
1.8–2.2 (W/m.°K)	$8 \times 10^{-12}$ Torr (1371 °C'de)	2715 °C

Literatüre göre, TVA plazması üretmek için materyallerin buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri önemli bir parametredir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bu değerlerin yanında malzemelerin termal iletkenliklerinin de önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır.  $ZrO_2$ 'nin termal iletkenlik değeri (<http://www.azom.com/details.asp?articleid=133>) adresinden, buhar basıncı değeri de (<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=3088>) adresinden alınmıştır.  $ZrO_2$ 'nin termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri çizelge 6.2'de verilmiştir.

$ZrO_2$  ile kaplanan gözlük camlarının optik özelliklerini belirlemek için önce oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmektedir. Bu ölçümler 400 – 800 nm dalga boyu aralığında Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmaktadır. UV spektrum ölçümleri alınan  $ZrO_2$  kaplı gözlük camlarının geçirgenlik sonuçları şekil 6.9'da gösterilmiştir.



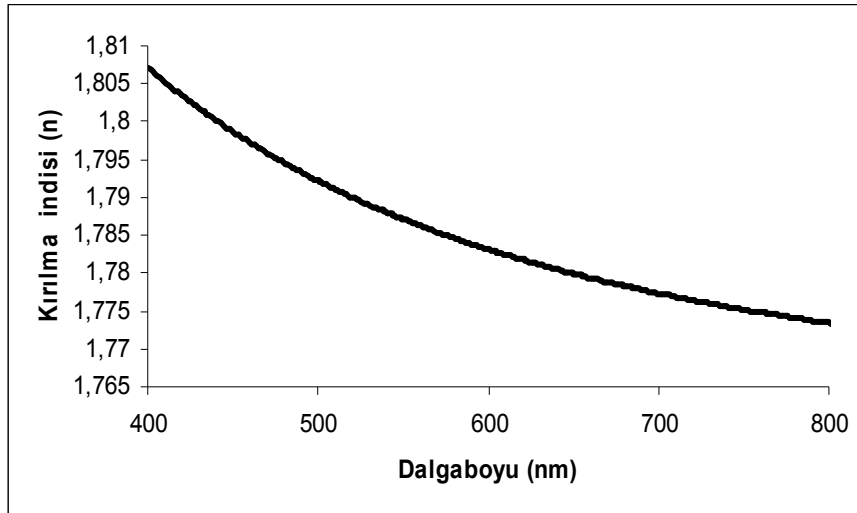
**Şekil 6.9.** Tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenlik spektrumu.

Tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı mineral gözlük camlarının 520 – 800 nm aralığında optik geçirgenliğinin kaplanmamış mineral gözlük camın geçirgenliğine göre daha yüksek olduğu yukarıdaki grafikten görülmektedir. Anti – refle kaplamalarda elde edilmek istenen yüksek geçirgenlik hedefine tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplama ile ulaşılmıştır.

ZrO<sub>2</sub> kaplı camların kalınlık, kırılma indisi ve yansımaya ölçümleri Filmetrics F20 kalınlık ölçüm sisteminde ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonucunda camların üzerindeki kaplamanın kalınlığının ortalama 82 nm olduğu görülmüştür. Kaplı camların ortalama kırılma indisi değeri ise 550 nm’de 1,78 olarak ölçülmüştür. Çizelge 6.3’de tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının ortalama kalınlık, kırılma indisi ve yansımaya değerleri verilmektedir.

**Çizelge 6.3.** Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının ortalama kalınlık, kırılma indisi ve yansımaya değerleri.

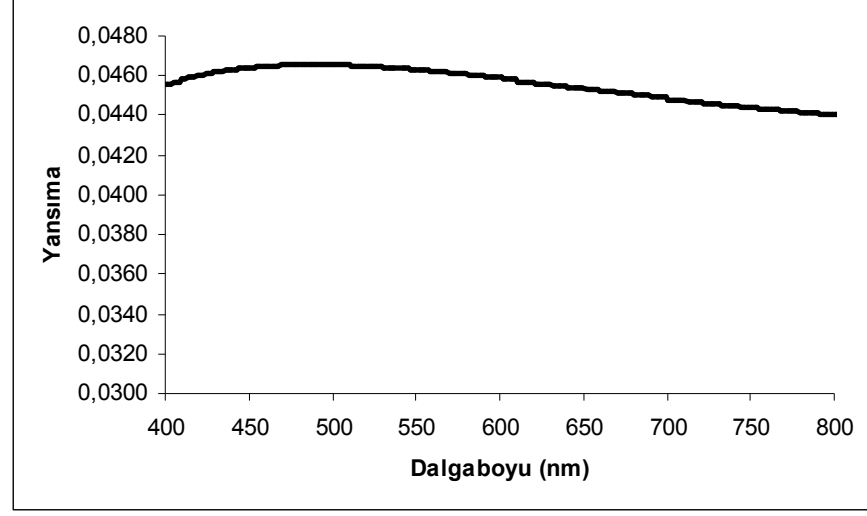
Kalınlık	Kırılma İndisi	Yansımaya
82 nm	1,78	0,046



**Şekil 6.10.** Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının kırılma indisi değerleri.

400 – 800 nm aralığında Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının kırılma indisinin değişimi şekil 6.10’da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, kırılma indisi değerinin dalgaboyunun artmasıyla azaldığı görülmektedir.





**Şekil 6.11.** ZrO<sub>2</sub> kaplı camların yansımaya değerleri.

Şekil 6.11'de verilen grafikten, ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının yansıma değerlerinin oldukça küçük olduğu ve dalgaboyunun azalması ile daha da küçüldüğü görülmektedir. ZrO<sub>2</sub>, üzerine kaplandığı gözlük camına yüksek geçirgenlik ve düşük yansıtıcılık özelliği kazandırmıştır, böylece ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camları anti – refle özelliği kazanmıştır.

Ayrıca literatürde ışığın yansımalarını veren bağıntı da (6.1)'de verilmiştir.

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \dots\dots\dots(6.1)$$

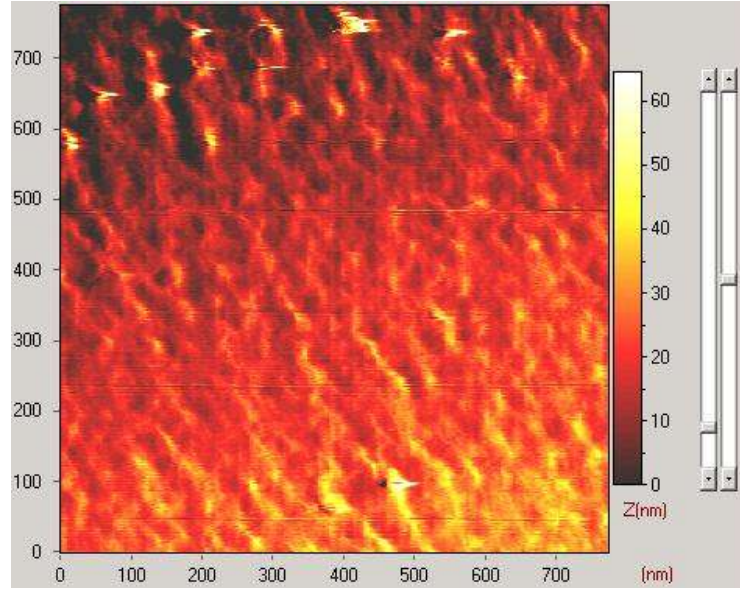
Burada,

n: Kaplanan camın kırılma indisi

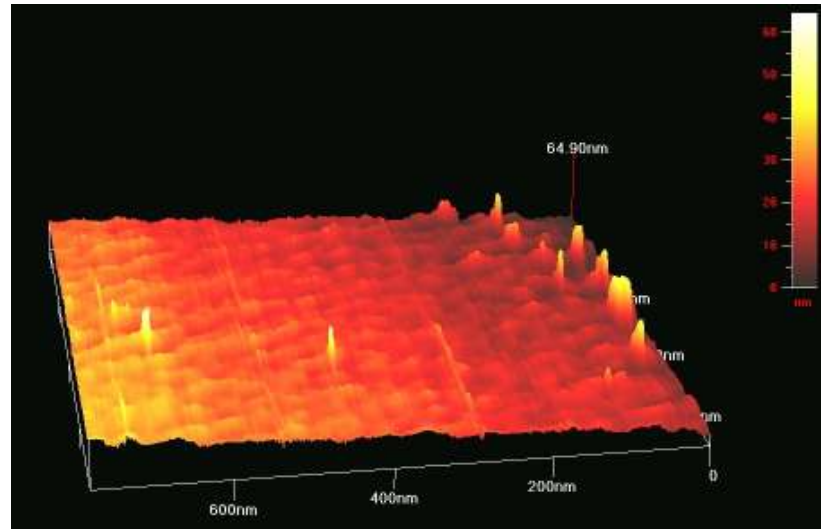
k: Sönüm katsayısı

ZrO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının yüzey görüntülerini ve pürüzlülüğünü almak için Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 6.12 ve şekil 6.13'de 800x800 nm'de tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ile

kaplanan mineral gözlük camlarının AFM görüntüleri gösterilmiştir. Görüntülerden görülebileceği gibi kaplanan gözlük camları oldukça homojen yapıdadır. Yüzey pürüzlülükleri oldukça düşüktür.

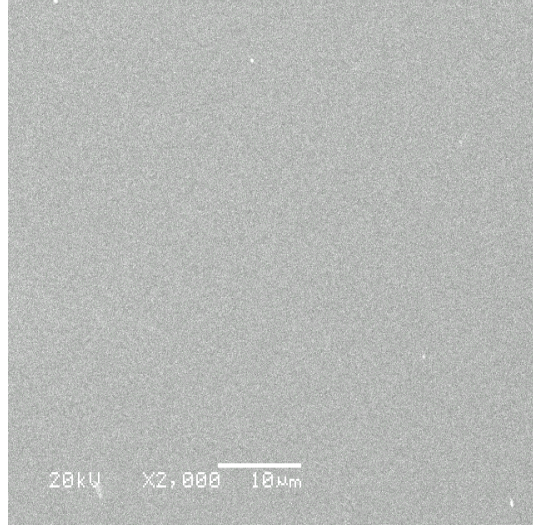


**Şekil 6.12.** Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının AFM görüntüsü (800 nm \*800 nm)



**Şekil 6.13.** Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 3 boyutlu AFM görüntüsü (800 nm \*800 nm)

Ayrıca Jeol SEM cihazında tek katmanlı  $ZrO_2$  ile kaplanan mineral gözlük camlarının SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.14’de görüleceği gibi kaplanan gözlük camlarının yüzeyi oldukça pürüzsüzdür.



**Şekil 6.14.** Tek katmanlı  $ZrO_2$  ile kaplanan mineral gözlük camlarının 2000 büyütmede SEM görüntüsü.

## **6.2. TVA Tekniği ile Mineral Gözlük Camları Üzerine Tek Katmanlı $SiO_2$ Kaplanması**

$SiO_2$ , anti – refle kaplama maddesi olarak optik sanayinde sıkça kullanılan malzemelerden biridir. Bu çalışmada, sanayideki tekniklerden farklı olarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde, Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarları’nda bulunan Termiyonik Vakum Ark tekniği ile mineral gözlük camları üzerine tek katmanlı  $SiO_2$  olarak kaplanmış ve bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Deney öncesinde, gözlük camları önce saf su, daha sonra alkol ve son olarak yine saf su ile Ultrasonik Temizleme Cihazında her bir işlem için 5’er dakika yıkanmıştır. Kaplamanın kaliteli olabilmesi için kaplanacak gözlük camlarının üzeri ıslaklıktan, su buharından arındırılmış ve tamamen kuru olmalıdır, bu nedenle

temizlenen gözlük camları 30 dakika kurumaya bırakılmıştır. Tamamen kuruyan gözlük camları steril bir şekilde TVA sisteminin vakum odası içine yerleştirilmiştir. TVA sisteminde gözlük camları üzerine SiO<sub>2</sub> kaplamak için malzeme tutucu pota (anot) olarak tungsten pota kullanılmıştır. Elektron tabancasının ucuna 0,5 mm'lik tungsten tel filament (katot) olarak yerleştirilmiş ve pota içerisine SiO<sub>2</sub> konularak sistem kapatılmıştır. 10<sup>-5</sup> Torr'a kadar vakumlanan sistemimizin içine ilk önce gaz girişinden argon gazı verilerek argon gazının plazması oluşturulmuş ve gözlük camları argon gazı plazması ile tozlaştırılmıştır. Daha sonra deşarj oluşturulmuştur. Deneyde uygulanan çalışma parametreleri çizelge 6.4'de verilmiştir. Deney sonrası potadan alınan SiO<sub>2</sub>'nin fotoğrafı şekil 6.15'de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.4.** Deneyde uygulanan çalışma parametreleri

	<b>Sembol</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
<b>Filament akımı</b>	I <sub>f</sub>	19	Amper
<b>Uygulanan voltaj</b>	U	2500	Volt
<b>Ark akımı</b>	I <sub>ark</sub>	800x10 <sup>-3</sup>	Amper
<b>Basınç</b>	P	5x10 <sup>-5</sup>	Torr
<b>Zaman</b>	t	120	Saniye



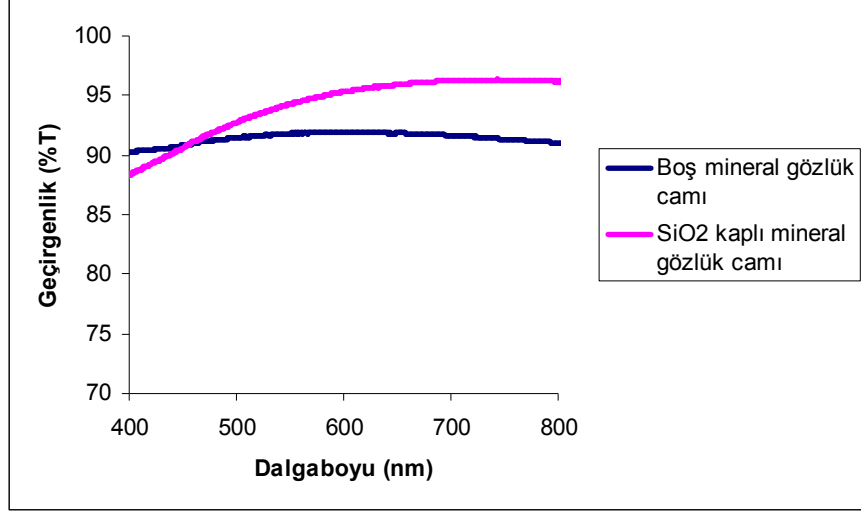
**Şekil 6.15.** Deney sonrası SiO<sub>2</sub>'nin fotoğrafı.

**Çizelge 6.5.** SiO<sub>2</sub>'nin termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri.

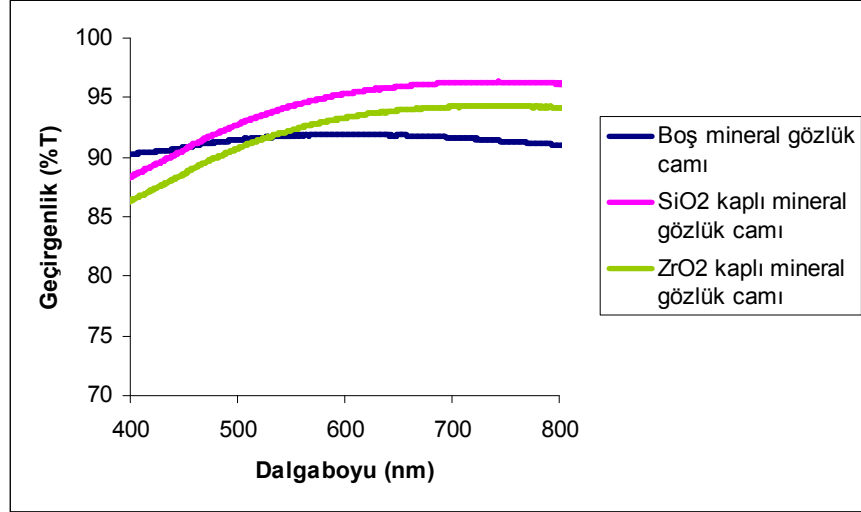
<b>Termal iletkenlik</b>	<b>Buhar Basıncı</b>	<b>Erime Sıcaklığı</b>
1,3 (W/m.°K)	7,5x10 <sup>-9</sup> Torr (900 °C)	1650 °C

Literatüre göre, TVA plazması üretmek için materyallerin buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri önemli bir parametredir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bu değerlerin yanında malzemelerin termal iletkenliklerinin de önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır. SiO<sub>2</sub>'nin termal iletkenlik değeri (<http://www.azom.com/details.asp?articleid=1114>) adresinden, buhar basıncı değeri de (<http://www.virginiasemi.com/pdf/generalpropertiesSi62002.pdf>) adresinden alınmıştır. SiO<sub>2</sub>'nin termal iletkenlik, buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri çizelge 6.5'de verilmiştir.

Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi içerisinde 5.10<sup>-5</sup> Torr basınçta, 120 saniye süreyle deşarjı gerçekleştirilen SiO<sub>2</sub>'nin mineral gözlük camları üzerine tek katmanlı kaplaması yapılarak 400 ve 800 nm aralığında UV spektrum ölçümleri alınmış ve geçirgenlik sonuçlarına ulaşılmıştır.



**Şekil 6.16.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenlik spektrumu.



**Şekil 6.17.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camları, tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camları ve kaplamasız mineral gözlük camlarının optik geçirgenlik spektrumları.

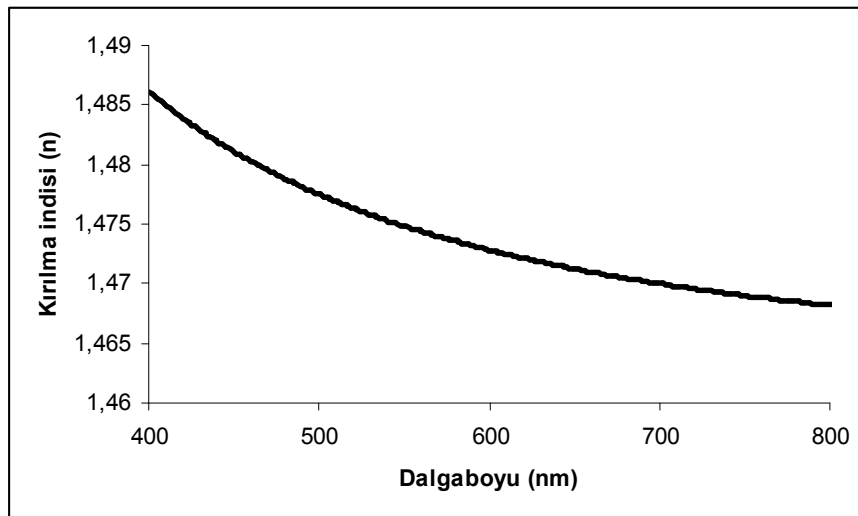
Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenliği Şekil 6.16'da gösterilmektedir. Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenliğinin, tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının ve kaplamasız mineral gözlük camlarının geçirgenliğinden daha yüksek olduğu Şekil 6.17'den görülmektedir.

Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplama ile mineral gözlük camlarında, anti – refle kaplamalarda hedeflenen yüksek geçirgenliğe ulaşılmıştır.

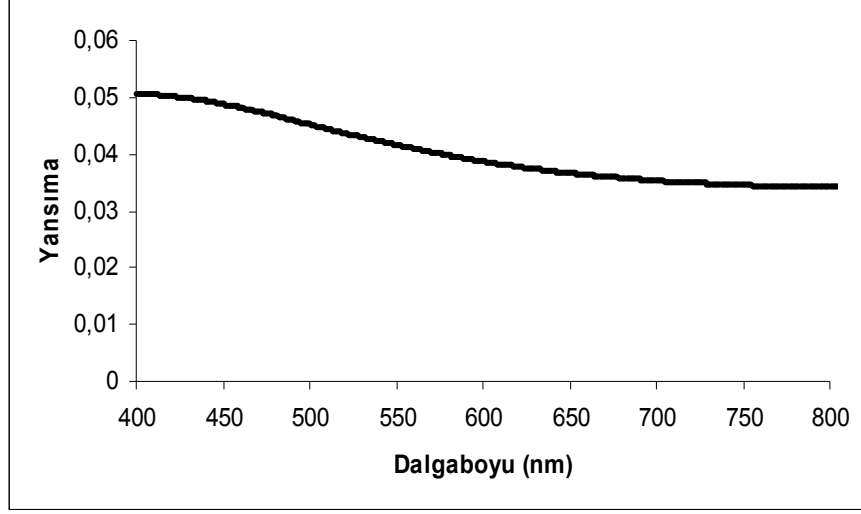
SiO<sub>2</sub> kaplı camların kalınlık, kırılma indisi ve yansımaya ölçümleri Filmetrics F20 kalınlık ölçüm sisteminde ölçülmüştür. Bu ölçümlerin sonucunda camların üzerindeki kaplamanın kalınlığının ortalama 110 nm olduğu görülmüştür. Kaplı camların ortalama kırılma indisi değeri ise 550 nm’de 1,47 olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 6.6.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının ortalama kalınlık, kırılma indisi ve yansımaya değerleri.

Kalınlık	Kırılma İndisi	Yansımaya
110 nm	1,47	0,041



**Şekil 6.18.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının kırılma indisi değerleri.



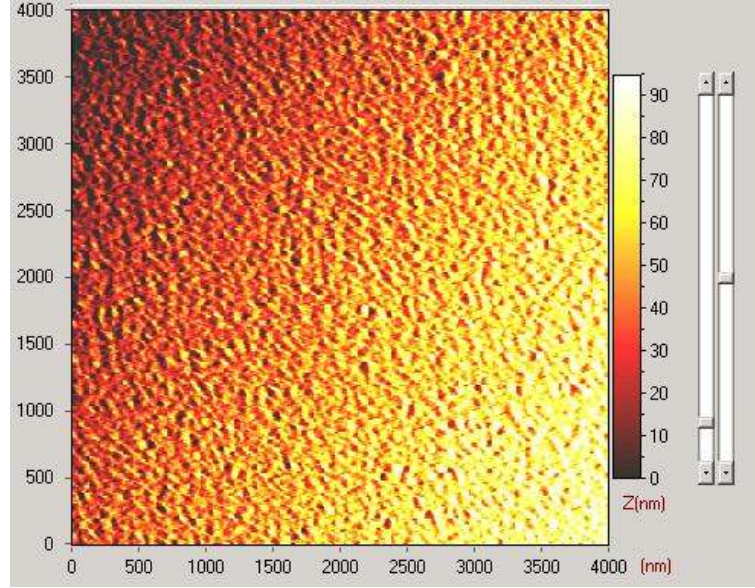
**Şekil 6.19.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının yansımaya değerleri.

400 – 800 nm aralığında Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının kırılma indisinin değişimi şekil 6.18'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, kırılma indisi değerinin dalgaboyunun artmasıyla azaldığı görülmektedir.

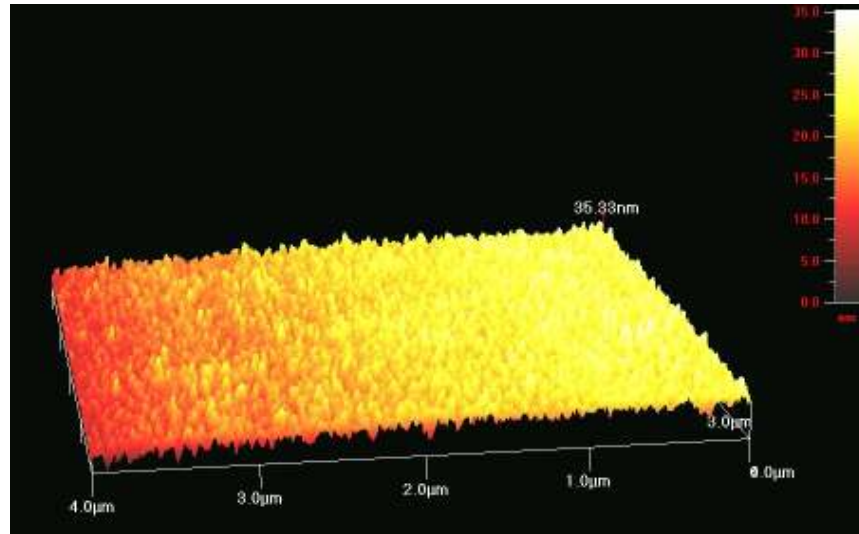
Şekil 6.19'dan görüldüğü gibi SiO<sub>2</sub> kaplı camların yansımaya değerlerinin oldukça küçüktür. SiO<sub>2</sub> ile kaplanan gözlük camları, yüksek geçirgenlik ve düşük yansıtıcılık özelliği kazanmıştır.

SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının yüzey görüntülerini ve pürüzlülüğünü almak için Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 6.20 ve şekil 6.21'de 4000x4000 nm'de tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının AFM görüntüleri gösterilmiştir. Görüntülerden görülebileceği gibi kaplanan gözlük camları oldukça homojen yapıdadır. Ayrıca şekil 6.21'den görüldüğü gibi yüzeydeki maksimum tepelerin yüksekliği 35,33 nm'dir. Dolayısıyla pürüzlülük değeri oldukça küçüktür.



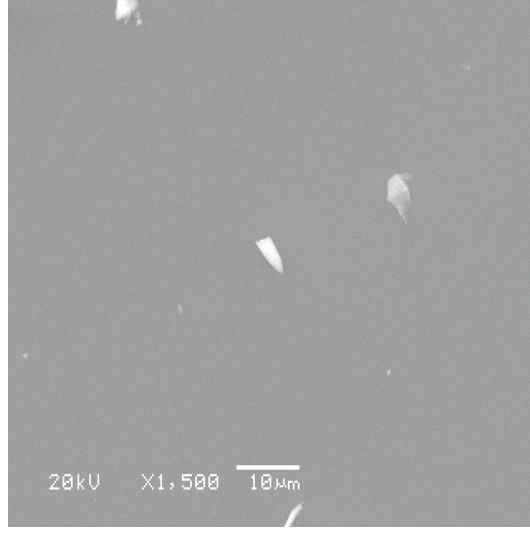


**Şekil 6.20.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının AFM görüntüsü (4000 nm \*4000 nm).



**Şekil 6.21.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 3 boyutlu AFM görüntüsü (4000 nm \*4000 nm).

Jeol SEM cihazında tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının SEM görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.22’de görüleceği gibi kaplanan gözlük camlarının yüzeyi oldukça pürüzsüzdür.



**Şekil 6.22.** Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının 1500 büyütmede SEM görüntüsü.

## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Mineral gözlük camları üzerine, AR kaplamalarda, optik sektöründe yaygın olarak kullanılan  $ZrO_2$  ve  $SiO_2$ , ilk kez bu tez çalışması için geliştirilen bir teknik olan Reaktif TVA tekniği ile kaplanmıştır. Bu işlem için bizim izlediğimiz süreç aşağıdaki gibidir:

### 1. Gözlük camlarının temizlenme süreci;

- Gözlük camları vakum odası içine yerleştirilmeden önce, ultrasonik temizleme cihazında ilk önce 5 dakika saf su ile daha sonra 5 dakika alkol ile ve son olarak da yine 5 dakika saf su ile temizlenir ve 30 dakika kurumaya bırakılır (Toplam 45 dakika).
- Gözlük camları dışarıda temizlendikten sonra vakum odasının içine yerleştirilir ve vakum odası pompa yardımı ile vakumlanmaya başlanır. Vakum odasının basıncı  $10^{-4}$  Torr olana kadar beklenir (20 dakika). Daha sonra vakum odası içerisine gaz girişleri yardımı ile argon gazı verilerek argon gazının plazması oluşturulur. Gözlük camları bu şekilde de 5 dakika argon gazı plazması ile temizlenir (Toplam 25 dakika).

### 2. Kaplama süreci: Vakum odası içerisinde gözlük camları argon gazı plazması ile temizlendikten sonra sistem 5 dakika daha vakumlanır. Basınç $10^{-5}$ Torr olduktan sonra kaplaması yapılacak olan malzemenin uygun plazma parametreleri belirlenir ve istenilen kalınlıkta kaplamalar gerçekleştirilir (Toplam 10 dakika).

### 3. Soğutma süreci: Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra 5 dakika argon gazı veya azot gazının plazması oluşturularak vakum odasının içi soğutulur (Toplam 5 dakika).

Tüm bu işlemlerden sonra toplam çalışma süresi 85 dakika olarak belirlenmiştir. 85 dakikada TVA sistemi içerisinde 31 adet gözlük camı aynı anda kaplanabilmektedir.

TVA tekniği ile bugüne kadar yapılan deneylerde üretilen kaplamaların, yüksek saflıkta, düşük streste, düşük pürüzlülükte, sıkı yapıda ve yüzeye tutunmalarının oldukça iyi olduğu görülmüştür. Bu özellikleri ile TVA tekniği, AR kaplamalar için uygun bir tekniktir. Ayrıca kaplama esnasında kalınlık kontrolü de yapılabildiği için AR kaplama yapan diğer tekniklerden daha avantajlıdır.

TVA tekniği ile AR kaplama yapabilmek için, ilk kez bu tez çalışması kapsamında TVA sistemine bazı ekleme ve geliştirmeler yapılmıştır. Deney esnasında vakum odasının ve gerekli durumlarda alttaşların sıcaklığını kontrol etmek için sisteme sıcaklık ölçer eklenmiştir. Kaplanacak olan gözlük camlarını tutmak için, işlem esnasında sabit bir hızla sürekli olarak döndürülen ve 31 adet gözlük camının aynı anda kaplanmasını sağlayan gözlük camı tutucusu da sistem içine yerleştirilmiştir. Böylece, homojen ve çoklu kaplama yapılabilmektedir. Deney esnasında, deşarj oluşmadan önce elektron tabancası ve potanın üzerini kapatarak plazması oluşturulacak materyalin buharının gözlük camları üzerine yönelmesini engellemek için de sisteme kapayıcı (shutter) eklenmiştir. Böylece, deşarj başladığı anda gözlük camlarının yüzeyinde oluşabilecek kararsızlıklar engellenir ayrıca kalınlık kontrolü için de kullanılır. Ayrıca kaplama işlemi başlamadan önce vakum odası içerisinde gözlük camlarının argon gazı ile temizlenebilmesi ve deney sonunda vakum odasının argon veya azot gazı ile soğutulabilmesi için sisteme iki adet gaz girişi eklenmiştir. İlk kez bu tez çalışması için geliştirilen bu sistem “Reaktif TVA” olarak adlandırılmıştır.

TVA sistemine yapılan eklenti ve geliştirmelerden sonra bu tez çalışması için, mineral gözlük camları üzerine  $ZrO_2$  ve  $SiO_2$  tek katmanlı olarak kaplanmıştır. Literatüre göre, TVA plazması üretmek için materyallerin buhar basıncı ve erime sıcaklığı değerleri önemli bir parametredir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bu değerlerin yanında malzemelerin termal iletkenliklerinin de önemli bir etken olduğu

sonucuna varılmıştır ve bu tez çalışmasında  $ZrO_2$  ve  $SiO_2$  için bu değerler göz önünde bulundurularak çalışılmıştır.

Kaplanan mineral gözlük camlarının UV spektrum ölçümleri alınarak geçirgenlik değerleri belirlenmiştir. Bu ölçümler 400 – 800 nm dalga boyu aralığında Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmıştır.

- Tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı mineral gözlük camlarının 520 – 800 nm aralığında optik geçirgenliğinin kaplanmamış mineral gözlük camın geçirgenliğine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Tek katmanlı  $SiO_2$  kaplı mineral gözlük camlarının optik geçirgenliğinin, tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı mineral gözlük camlarının ve kaplamasız mineral gözlük camların geçirgenliğinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlara göre, anti – refle kaplamalarda hedeflenen yüksek geçirgenliğe tek katmanlı  $ZrO_2$  ve tek katmanlı  $SiO_2$  ile ulaşılmıştır.

Tek katmanlı olarak  $ZrO_2$  ve  $SiO_2$  kaplanan mineral gözlük camlarının, Filmetrics F20 kalınlık ölçüm sisteminde kalınlık, kırılma indisi ve yansıma ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonucunda;

- Tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı camların üzerindeki kaplamanın kalınlığının ortalama 82 nm olduğu görülmüştür. Kaplı camların ortalama kırılma indisi değeri ise 550 nm’de 1,78 olarak ölçülmüştür.
- Tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı mineral gözlük camlarının yansıma değerlerinin oldukça küçük olduğu (0,046) ve dalgaboyunun azalması ile daha da küçüldüğü görülmüştür.  $ZrO_2$ , üzerine kaplandığı gözlük camına yüksek geçirgenlik ve düşük yansıtıcılık özelliği kazandırmıştır, böylece tek katmanlı  $ZrO_2$  kaplı mineral gözlük camları anti – refle özelliği kazanmıştır.

- Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı camların üzerindeki kaplamanın kalınlığının ortalama 110 nm olduğu görülmüştür. Kaplı camların ortalama kırılma indisi değeri ise 550 nm’de 1,47 olarak ölçülmüştür.
- Tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camlarının yansıma değerlerinin oldukça küçük olduğu (0,041) ve dalgaboyunun azalması ile daha da küçüldüğü görülmüştür. SiO<sub>2</sub>, üzerine kaplandığı gözlük camına yüksek geçirgenlik ve düşük yansıtıcılık özelliği kazandırmıştır, böylece tek katmanlı SiO<sub>2</sub> kaplı mineral gözlük camları da anti – refle özelliği kazanmıştır.

Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının yüzey görüntülerini ve pürüzlülüğünü almak için Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılmıştır. Tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ile kaplı mineral gözlük camlarının 800x800 nm’de, tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ile kaplı mineral gözlük camlarının 4000x4000 nm’de AFM görüntülerine bakılmıştır. AFM görüntülerinden, kaplanan gözlük camlarının oldukça homojen yapıda olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kaplı mineral gözlük camlarının yüzey pürüzlülükleri oldukça düşüktür fakat gözlük camları üzerine çoklu kaplama yapmak istendiğinde diğer katların yüzeye tutunabilmesi için yüzey pürüzlülüğü yeterlidir.

Son olarak, Jeol SEM cihazında tek katmanlı SiO<sub>2</sub> ve tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan SEM görüntülerinden de gözlük camlarının yüzeyinin oldukça pürüzsüz olduğu gözlenmiştir.

AR kaplamaların kalitesini, öncelikle kaplamanın kristal yapısı olmak üzere, yüzey sertliği, kaplama kalınlığı, difüzyon derinliği, homojenliği, pürüzsüzlüğü, kaplamanın kırılma indisi, geçirgenlik ve yansıma değerleri belirler. Bu tez çalışması kapsamında tek katmanlı ZrO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> ile kaplanan mineral gözlük camlarının yapılan ölçümlerinde bu parametrelerde alınan verilerin oldukça iyi değerlerde olduğu görülmüştür. Böylece yeni geliştirilen TVA tekniğinin optik sektöründe AR kaplamalarda başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## 8. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akan, T., 2002, Bakır Buharı Termiyonik Deşarjın Karakteristikleri, İTÜ 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)., Balbag 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., Balbag M.Z., Cenik M.İ., Deligoz H., Musa G., 2006, Studies on Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano-layer composite produced by Thermionic Vacuum Arc Methode (TVA), 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26, Istanbul,Türkiye
- Akan T., Ekem N., Pat S., Issever U.G., Balbag M.Z., Cenik M.I., Vladoiu R., Musa G., 2007, Boron Thin Film Deposition By Using Thermionic Vacuum Arc(TVA) Technology, Materials Letters, 61, p. 23–26
- Aksak E., Küçük T., 2005, Gözlükçülük, Eskişehir
- Balbag M. Z., Pat S., Cenik M.I., 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
- Balbağ M. Z., 2009, Termiyonik Vakum Ark(Tva) Tekniği İle Magnezyum, Bor Ve Magnezyum Di Bor İnce Filmlerinin Üretilmesi Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Ciupina V., Musa G., Vladoiu 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

### KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Çalışkan H., 2009, SiO<sub>2</sub> ve ZrO<sub>2</sub> 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., Vladou 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., Vladou 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
- 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



### KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- 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. 24<sup>th</sup> 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
- Musa G., Vladioiu 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
- Pat S., Ekem N., Akan T., Küsmüş Ö., Demirkol S., Vladioiu 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
- Roth, J. R., 2001, Industrial plasma engineering, volume II, IOP publishing, Bristol and Philadelphia
- Surdu-Bob, C; Musa, G; Vladioiu, 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

**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)**

Tarımcı Ç., Sarı H., 2006, Ankara, Vakum Tekniği, Seçkin Yayıncılık 1. Baskı, 168 s.

Thelen A., 1988, Design of the Optical Interference Coatings, McGraw Hill Company, New York, USA

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

<http://www.internetoptik.com/cam.htm>

<http://www.berkoptik.com/bunlari2.php?no=10>

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

[http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective\\_coating](http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-reflective_coating)

<http://www.ispartaoptik.com/prod04.htm>

<http://www.azom.com/details.asp?articleid=133>

<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=3088>

<http://www.azom.com/details.asp?articleid=1114>

<http://www.virginiasemi.com/pdf/generalpropertiesSi62002.pdf>