



**TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ  
KULLANARAK BOR KARBÜR (B<sub>4</sub>C) İNCE FİLMLERİN  
OLUŞTURULMASI VE BAZI FİZİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özgün AĞAR**

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Ocak 2017

Bu tez çalışması 15.FEN.BİL.07 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ KULLANARAK  
BOR KARBÜR (B<sub>4</sub>C) İNCE FİLMLEİN OLUŞTURULMASI VE  
BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Özgün AĞAR**

**Danışman**  
**Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**Ocak, 2017**

## TEZ ONAY SAYFASI

Özgün Ağar tarafından hazırlanan “Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği Kullanarak Bor Karbür (B<sub>4</sub>C) İnce Filmlerin Oluşturulması ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Özkan

**Başkan** : Doç. Dr. Suat Pat  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Özkan  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Bekir Oruncak  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**16/01/2017**  
**Özgün Ağar**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ KULLANARAK BOR KARBÜR  
(B<sub>4</sub>C) İNCE FİLMLERİNİN OLUŞTURULMASI VE BAZI FİZİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özgün AĞAR  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Bu çalışma kapsamında, saf materyal plazması üreten bir teknik olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği kullanılarak erime sıcaklığı oldukça yüksek ve sert bir malzeme olarak bilinen bor karbür (B<sub>4</sub>C) bileşiğinin plazmasını üreterek, ilk defa cam taban üzerine ince film oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ince filmlerin bazı fiziksel özelliklerinin incelenmiştir.

İnce filmlerin yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağınım (dispersive) spektrometresi (EDS) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) cihazları ile incelenmiştir. Yarıiletken filmlerin kristal yapılarını incelerken X-Işını kırınım cihazı (XRD) kullanılmıştır. Üretilen ince filmlerin optik özelliklerini ise spektroskopik elipsometre (SE) ve Uv-Vis spektrofotometri cihazı kullanılarak incelenmiştir.

**2017, x + 62 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Bor Karbür (B<sub>4</sub>C), Termiyonik Vakum Ark Tekniği, İnce Film.

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

**BORON CARBIDE (B<sub>4</sub>C) THIN FILMS PRODUCED AND INVESTIGATION OF  
SOME PHYSICAL PROPERTIES BY USING THERMIONIC VACUUM ARC  
(TVA) TECHNIQUE**

Özgün Ağar

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

**Supervisor:** Asst. Prof. Mehmet Özkan

According to this research; first time in physics history, a thin film is composed on structures of bottle by producing a plasma of boron carbide (B<sub>4</sub>C) known as its melting temperature is quite high and a hard material by using Thermionic Vacuum Arc (TVA) technique which produces pure material plasma. Some physical features of these thin films composed are researched.

Surface properties of produced thin films were investigated with scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), atomic force microscopy (AFM). Crystallographic data were collected by x-ray diffractometer (XRD). To characterized of optical properties of thin films were used spectroscopic ellipsometer (SE) and Uv-Vis spectrophotometer.

**2017, x + 62 pages**

**Keywords:** Boron Carbide (B<sub>4</sub>C), Thermionic Vacuum Arc Technique, Thin Films.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında 15.FEN.BİL.07 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine yaptıkları maddi destekten dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince, derslerimde ve deneysel çalışmalarım da danışman hocam olarak beni yönlendiren, ulusal ve uluslararası bilimsel konferanslarda yer alabilmem için her türlü imkânı sağlayan, ilgisini esirgemeyen danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim süresince, TÜBİTAK projesi yardımı ile bana burs sağlayan, farklı bilimsel çalışmaları öğrenmemi sağlayan, her türlü desteğini ve ilgisini benden esirgemeyen hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ' e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların esnasında her türlü yardım, ilgi ve sabırlarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Suat PAT' a ve hocamın doktora öğrencisi olan Sayın Soner ÖZEN' e teşekkür ederim.

Aldığım lisans ve yüksek lisans eğitimin süresince birlikte zaman geçirdiğim, iyi günde kötü günde hep beraber olduğum arkadaşlarımdan Niyazi BALÇIN, Ali ALPERGÜN ve Ufuk AKÇAALAN' a teşekkür ederim.

Hayatımın her noktasında bana maddi manevi hiçbir şekilde desteklerini esirgemeyen, her yaptığım şeyin arkasında duran başta hayatımı kaybeden babam Halil AĞAR' a olmak üzere annem Nurten AĞAR' a, abim Çağlar AĞAR' a ve üniversite hayatıma başladığımdan beri her zaman benim yanımda duran, desteklerini benden esirgemeyen Ümran ATMACA' ya teşekkür ederim.

Özgün AĞAR

AFYONKARAHİSAR, 2017

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Bor Elementi .....	3
2.1.1 Bor Elementinin Kristal Yapısı ve Bileşikleri .....	3
2.1.2 Bor Elementinin Atomik Yapısı .....	5
2.1.3 Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri .....	5
2.1.4 Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri .....	6
2.2 Karbon Elementi .....	6
2.2.1 Karbon Elementinin Kristal Yapısı ve Bileşikleri .....	7
2.2.2 Karbon Elementinin Atomik Yapısı .....	7
2.2.3 Karbon Elementinin Fiziksel Özellikleri .....	8
2.2.4 Karbon Elementinin Kimyasal Özellikleri .....	9
2.3 Bor Karbür Bileşeninin Özellikleri .....	9
2.4 Bor Karbür (B <sub>4</sub> C) İnce Film Özellikleri .....	12
2.5 Bor Karbür (B <sub>4</sub> C) Kullanım Alanları.....	13
2.6 Vakum Altında Plazma İnce Film Kaplama Yöntemleri.....	14
2.6.1 Elektron Demeti Buharlaştırma Yöntemi (e-Beam Evaporation) .....	15
2.6.2 Termal Buharlaştırma Yöntemi .....	16
2.6.3 Moleküler Demetli Epitaksi Yöntemi .....	17
2.6.4 Saçtırma (Sputtering) Tekniği .....	20
2.6.4.1 Radyo Frekansı (RF) Saçtırma Tekniği .....	21
2.6.4.2 Radyo Frekanslı (RF) Magnetron Saçtırma Tekniği .....	22
2.6.4.3 Doğru Akım (DC) Saçtırma Tekniği .....	23
2.6.4.4 Doğru Akım (DC) Magnetron Saçtırma Tekniği.....	24
2.7 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapor Deposition, CVD).....	24

3. MATERYAL ve METOT .....	26
3.1 Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği .....	26
3.1.1 TVA Sistemi .....	26
3.1.2 TVA Deşarj .....	32
3.1.3 TVA Tekniğinin Bilimsel Özellikleri ve Faydaları .....	35
3.1.4 TVA Tekniği ile Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri.....	36
3.2 Deneyde Kullanılan Parametreler .....	37
3.3 Deney Materyallerinin Hazırlanışı.....	37
3.4 B <sub>4</sub> C İnce Film Üretimi .....	38
3.5 Cam Taban Üzerine Üretilen B <sub>4</sub> C İnce Film .....	39
4. BULGULAR .....	41
4.1 XRD Analiz Sonuçları .....	41
4.2 SEM ve EDS Analiz Sonuçları .....	43
4.3 AFM Analiz Sonuçları .....	44
4.4 Yüzey Pürüzlülük Analiz Sonuçları .....	47
4.5 Kalınlık ve Kırılma İndisi Analiz Sonuçları .....	50
4.6 Uv-Vis Geçirgenlik Analiz Sonuçları .....	50
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	53
6. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	60

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

A	Absorbans
°A	Angstrom
B <sub>4</sub> C	Bor karbür
λ	Dalga boyu
°F	Fahrenheit
d	Film kalınlığı
T	Geçirgenlik
gr	Gram
GPa	Giga paskal
°K	Kelvin derece
μ	Mikron
μm	Mikrometre
mbar	Milibar
nm	Nanometre
cm	Santimetre
°C	Santigrad derece

### Kısaltmalar

---

AC	Alternatif akım
Ra	Aritmetik ortalama pürüzlülük
dk	Dakika
DC	Doğru akım
eV	Elektron volt
2D	İki boyutlu
CVD	Kimyasal buhar depolama
MBE	Moleküler demetli epitaksi
INFLPR	National institute for laser, plasma and Radiation physics
RF	Radyo frekansı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TVA	Termiyonik vakum ark
Uv-Vis	Mor ötesi ve görünür bölge
3D	Üç boyutlu
<i>et al.</i>	Ve diğerleri
vd.	Ve diğerleri
XRD	X-ışınları difraktometre
EDX	X-ışını spektroskopisi

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Bor elementinin kristal yapısı (İnt.Kyn.1). .....	4
Şekil 2.2 Karbon elementinin kristal yapısı (İnt.Kyn.2). .....	7
Şekil 2.3 Proses Sonucu Oluşan B <sub>4</sub> C. ....	10
Şekil 2.4 Bor karbür 'ün (B <sub>4</sub> C) kristal yapısı. Ön yüzdeki ikosahedronlar mor renkle, arka yüzdekiler ise mavi renkle gösterildi (Aydın 2010). ....	11
Şekil 2.5 Elektron Demeti ile Buharlaştırma Yöntemi. ....	16
Şekil 2.6 Termal Buharlaştırma Yöntemi. ....	16
Şekil 2.7 Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi (Tarımcı ve Sarı 2006). ....	18
Şekil 2.8 Moleküler Demetli Epitaksi (MBE). ....	19
Şekil 2.9 Saçtırma (Sputtering) tekniğinin şematik gösterimi. ....	20
Şekil 2.10 RF saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi (Özkan 2010). ....	22
Şekil 2.11 RF magnetron saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson 2005). ....	23
Şekil 2.12 DC saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi (Kokkokoğlu 2010). ....	23
Şekil 2.13 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi. ....	24
Şekil 2.14 Kimyasal Buhar Biriktirme Çalışma Mekanizması. ....	25
Şekil 3.1 TVA sisteminin şematik gösterimi. ....	27
Şekil 3.2 TVA sisteminin fotoğrafı. ....	28
Şekil 3.3 Doğrudan ısıtılmalı katodun şematik gösterimi. ....	29
Şekil 3.4 Doğrudan ısıtılmalı katodun fotoğrafı. ....	29

Şekil 3.5 a) Tungsten pota b) Karbon pota.....	30
Şekil 3.6 Katot akımı güç kaynağı ve anot potansiyeli güç kaynağı panosu. ....	31
Şekil 3.7 Ampermetre ve voltmeter sistemleri a) anot katot arası iyon akımı ve ateşleme potansiyeli ölçümü için ampermetre ve voltmeter b)Flaman akımını kontrol etmek için kullanılan askı ampermetre.....	32
Şekil 3.8 TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi. ....	33
Şekil 3.9 TVA' da plazması oluşturulan bazı element ve bileşikler. a) Bakır (Cu), b) Bor (B), c) Magnezyum (Mg), d) Çinko oksit (ZnO).....	34
Şekil 3.10 a) 50 nm boyutunda toz haldeki B <sub>4</sub> C b) Pres cihazı ile palet haline getirilmiş B <sub>4</sub> C. ....	37
Şekil 3.11 Pota üzerine yerleştirilen B <sub>4</sub> C paleti. ....	38
Şekil 3.12 Vakum odası içerisinde palet ve cam malzeme. ....	38
Şekil 3.13 Anot metalinin buharlaştırılması.....	39
Şekil 3 14 B <sub>4</sub> C Kaplama öncesindeki cam tabanlar. ....	40
Şekil 3.15 B <sub>4</sub> C kaplama sonrasındaki cam tabanlar.....	40
Şekil 4.1 Cam 1 numunesine ait XRD analiz sonucu.....	41
Şekil 4.2 Cam 2 numunesine ait XRD analiz sonucu.....	42
Şekil 4.3 Cam 3 numunesine ait XRD analiz sonucu.....	42
Şekil 4.4 Cam 3 ince filmin 10 kx büyütmede SEM görüntüsü.....	43
Şekil 4.5 Cam 3 ince filmin 30 kx büyütmede SEM görüntüsü.....	43
Şekil 4.6 Cam 3 ince filmin 50 kx büyütmede SEM görüntüsü.....	44
Şekil 4.7 Cam 3 ince filmin 100 kx büyütmede SEM görüntüsü.....	44
Şekil 4.8 Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 1 için iki boyutlu AFM görüntüsü.....	45

<b>Şekil 4.9</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 1 için üç boyutlu AFM görüntüsü. ....	45
<b>Şekil 4.10</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 2 için iki boyutlu AFM görüntüsü.....	45
<b>Şekil 4.11</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 2 için üç boyutlu AFM görüntüsü. ....	46
<b>Şekil 4.12</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 3 için iki boyutlu AFM görüntüsü.....	46
<b>Şekil 4.13</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 3 için üç boyutlu AFM görüntüsü. ....	46
<b>Şekil 4.14</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 1 için histogram ve yüzey pürüzlülüğü AFM görüntüleri. ....	47
<b>Şekil 4.15</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 2 için histogram ve yüzey pürüzlülüğü AFM görüntüleri. ....	48
<b>Şekil 4.16</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 3 için histogram ve yüzey pürüzlülüğü AFM görüntüleri. ....	49
<b>Şekil 4.17</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 1 için dalga boyu-geçirgenlik grafiği. ....	51
<b>Şekil 4.18</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 2 için dalga boyu-geçirgenlik grafiği. ....	51
<b>Şekil 4.19</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmin cam 3 için dalga boyu-geçirgenlik grafiği. ....	52
<b>Şekil 4.20</b> Üretilen B <sub>4</sub> C ince filmlerin dalga boyu-geçirgenlik grafiği.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Endüstriyel açıdan önemli olan bor bileşikleri, kimyasal formülleri ve buldukları yerler (Bor Enstitüsü 2005).....	4
<b>Çizelge 2.2</b> Bor elementinin atomik yapısı (Bor Enstitüsü 2005).....	5
<b>Çizelge 2.3</b> Bor elementinin fiziksel özellikleri (Bor Enstitüsü 2005). ....	5
<b>Çizelge 2.4</b> Bor elementinin kimyasal özellikleri (Bor Enstitüsü 2005).....	6
<b>Çizelge 2.5</b> Karbon elementinin atomik yapısı. ....	8
<b>Çizelge 2.6</b> Karbon elementinin fiziksel özellikleri.....	8
<b>Çizelge 2.7</b> Karbon elementinin kimyasal özellikleri. ....	9
<b>Çizelge 2.8</b> Bor Karbür Teknik Özellikleri.....	11
<b>Çizelge 3.1</b> Çeşitli elementler ve bileşikler için erime sıcaklıkları ve uygun pota materyali (Edwards 2005).....	29
<b>Çizelge 3.2</b> Deneyde kullanılan parametreler. ....	37
<b>Çizelge 4.1</b> Cam taban üzerine üretilen B <sub>4</sub> C ince filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri. ....	50
<b>Çizelge 4.2</b> Cam taban üzerine üretilen B <sub>4</sub> C ince filmlerinin kalınlık ve kırılma indisi sonuçları.....	50

## 1. GİRİŞ

Yüzyıllar önce soy metallerin ince filmleri cam ve seramik tabakalar üzerine dekorasyon yapmak için kullanılmış olmasđ, 1940'lı yıllardan itibaren ince film teknolojisi üzerinde olan ilgi artarak günümüz teknolojisinin tam ortasında yerini almıştır. Mikro ve nano yapılı optoelektronik malzeme endüstrisinin temelini oluşturan, teknolojik ve bilimsel araştırmalarda önemli bir yer tutan ince filmler, son zamanlarda en çok çalışılan güncel araştırma konularından biridir. İnce filmler, farklı üretim teknikleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmi destekleyerek filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan ve katman kalınlıkları 1µm'nin altında olan malzemelerdir. İnce film formatındaki nanokristal materyaller, bu materyaller ile yapılan malzeme ve araçların optik, mekanik ve elektriksel gibi temel karakteristik özelliklerinin müthiş oranlarda artırılmasına imkân vermektedir. Bu tip malzemelerde, materyali oluşturan parçacık sayısının artmasından dolayı katı yapıdan moleküler yapıya doğru aşamalı bir geçiş gözlenmektedir. Ayrıca bir ince filmin nanokristal büyüklüğü, malzemenin bant yapısını etkilediği için malzemeyi oluşturan parçacıkların yeterince küçük olması yük taşıyıcılarının kuantum sınırında bulunmasını ve bant yapılarının kesikli enerji seviyelerine ayrışmasına neden olmaktadır (Pejova and Grozdanov 2006). İnce filmlerin çeşitli özellikleri dikkate alınarak farklı teknolojik uygulamalarda kullanılabilirler. Örneğin, optiksel özelliklerinden dolayı yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalarda girişim filtrelerinde, elektriksel özellikleri sayesinde yarıiletken cihazlarda, yalıtım ve iletim kaplamalarında, manyetik özelliklerinden dolayı hafıza disklerinde ve bunlar gibi daha birçok uygulamada ince filmler kullanılmaktadır. Ayrıca ince filmlerin boyutlarının diğer malzemelere oranla çok daha küçük olması elektronik devre tasarımlarında büyük kolaylık sağlamaktadır (Bilgin 2003).

Yarıiletken ince film üretim teknikleri sürekli olarak geliştirilmekte ve yeni teknikler oluşturulmaktadır. Bunlardan endüstriyel alanda ve bilimsel çalışmalarda kimyasal tabanlı olarak yaygın olarak kullanılanlar, elektrolit ve termokimyasal kaplamalar, sprey pyrolysis, sol-gel ve bir iyon buharlaştırma tekniği olan moleküler demetli kristal büyütme tekniği (MBE) kullanılmaktadır. Fakat ileri teknolojik uygulamalar bakımından yüksek ürün kalitesi gerektiğinden dolayı ve üretim parametrelerinin kontrol edilebilmesi

açısından vakum altında plazma ince film kaplama teknikleri ve vakum altında plazma destekli ince film kaplama teknikleri son yıllardaki teknolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Vakum altında plazma ince film kaplama tekniklerinden bazıları; termal buharlaştırma, elektron demeti buharlaştırma, RF ve DC saçırma, RF ve DC magnetron saçırma, termiyonik vakum ark tekniği vb. dir. Ayrıca ince film kaplama teknikleri arasında vakum ve plazma olmadan ince film kaplama tekniği olarak kimyasal buhar biriktirme (CVD) tekniği teknolojik çalışmalarda kullanılabilir.

Termiyonik Vakum Ark (TVA) ilk kez 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 Fiziği Grubu tarafından önerilmiştir (Musa *et al.* 1983). Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği diğer ince film kaplama tekniklerine oranla yapılan kaplama sonucunda elde edilen ince filmlerin kalitesi yönünden oldukça avantajlı bir tekniktir. Bu çalışmada vakum plazma ince film kaplama tekniklerinden Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği kullanılarak ilk kez Bor Karbür ( $B_4C$ ) ince filmlerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bor karbür tozlardan sıcak-pres yöntemiyle bor karbür hedef malzeme üretilmiş ve üretilen hedef malzeme kullanılarak Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile bor karbür ince filmleri biriktirilmiştir. Elde edilen ince filmlerin mikro yapıları ve yüzey morfolojisi X-ışınları difraktometre (XRD), atomik kütle mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Uv-Vis spektrofotometri cihazı ile optiksel geçirgenliklerine bakılmıştır ve filmlerin kalitatif analizleri için enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) kullanılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

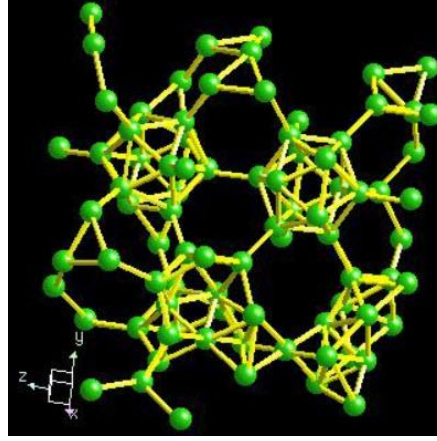
### 2.1 Bor Elementi

Ülkemiz, dünya üzerindeki görünür bor rezervlerinin %64'üne sahiptir. Bununla birlikte Uluslararası Bor Araştırma Enstitüsü verilerine göre 2014 yılı sonu itibari ile 1.950 milyon ton konsantre bor cevheri üretilmiş olup dünya borat piyasasında %47,2'lik bir Pazar payına sahiptir. Bor minerallerinden üretilen bor türevi ve bileşiğinin getirisi oldukça yüksektir. Bor mineralinden hammadde girdisi olarak başlayan uygulamalar birçok sektör ve teknoloji alanını doğrudan ilgilendiren bir “teknolojik-ekonomik” unsur haline gelmiştir (Demir 2006). Ancak ülkemiz dünya bor rezervlerinin önemli bir kısmını elinde bulundurmasına rağmen ileri teknoloji açısından bor ürünlerinin üretimini gerçekleştirmediği için dünya bor kullanımı ve üretimi açısından küçük bir yüzdeye sahiptir. Bu yüzdenin artması ileri teknoloji bor ürünlerinin üretilmesine ve ihracatının yapılmasına bağlıdır. Örneğin BN, TiB<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C gibi malzemeler endüstri alanında teknik uygulamaları olan ve ileri teknolojiye kullanılan önemli seramiklerden birkaçıdır. Bu malzemelerin içerisinde B<sub>4</sub>C'ün çok önemli fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı özel bir yeri vardır. Bu yüzden savunma sanayi, nükleer endüstri, refrakter sektörü, uzay ve havacılık sanayisinde geniş bir uygulama alanına sahiptir (Alaca 1999).

Türkiye’de ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizamnamesi uyarınca 1865 yılında bir Fransız şirketine işletme imtiyazı verilmesiyle başladığı bilinmektedir. Bor üretimi 1970’li yıllara kadar büyük ölçüde yabancılar tarafından yapılmıştı. Bor mineralleri, kamu yararı ve ulusal çıkarları korumak adına 4 Ekim 1978 tarihli 2172 sayılı yasa ile Etibank’a devredilmiştir (Ölçen 2001).

#### 2.1.1 Bor Elementinin Kristal Yapısı ve Bileşikleri

Bor elementi, periyodik tabloda III A grubunda yer alan, B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,8 gr/mol olan yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Tabiatta hiçbir zaman saf element halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor mineralinin olduğu bilinmektedir (Bor Enstitüsü 2005). Şekil 2.1’de bor elementinin kristal yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bor elementinin kristal yapısı (İnt.Kyn.1).

Endüstriyel açıdan önemli bor bileşikleri arasında boraks (tinkal, sodyum kökenli bor bileşikleri), kolemanit (kalsiyum kökenli bor bileşikleri), üleksit (sodyumkalsiyum kökenli bor bileşikleri) ana gruplaması altında kernit, probertit, szyabelit, datolit, sasolit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks, borik asit, sodyum per borat, susuz borik asit, hidroborasit sayılabilir (Bor Enstitüsü 2005). Çizelge 2.1’de endüstriyel açıdan önemli olan bor bileşikleri hakkında bazı bilgiler yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Endüstriyel açıdan önemli olan bor bileşikleri, kimyasal formülleri ve buldukları yerler (Bor Enstitüsü 2005).

Mineral	Formülü	% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Bulunduğu yer
Boraks (Tinkal)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O	36,6	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit (Razorit)	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .+H <sub>2</sub> O	51,0	Kırka, A.B.D., Arjantin
Üleksit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .8H <sub>2</sub> O	43,0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
Probertit	NaCaB <sub>5</sub> O <sub>9</sub> .5H <sub>2</sub> O	49,6	Kestelek, Emet, A.B.D
Kolemanit	Ca <sub>2</sub> B <sub>6</sub> O <sub>11</sub> .5H <sub>2</sub> O	50,8	Emet, Bigadiç, Küçükler, A.B.D
Pandermit (Priseit)	Ca <sub>4</sub> B <sub>10</sub> O <sub>19</sub> .7H <sub>2</sub> O	49,8	Sultançayır, Bigadiç
Borasit	Mg <sub>3</sub> B <sub>7</sub> O <sub>13</sub> Cl	62,2	Almanya
Szaybelit	MgBO <sub>2</sub> (OH)	41,4	B.D.T.
Hidroborasit	CaMgBO <sub>11</sub> .6H <sub>2</sub> O	50,5	Emet

### 2.1.2 Bor Elementinin Atomik Yapısı

Bor elementinin atomik yapısına bakıldığı zaman rhombohedral bir kristal yapısının olduğu görülmektedir. Atom çapının ise 1,17 °A olduğu görülmektedir. Çizelge 2.2’de bor elementinin atomik yapısının ve elemente ait bazı özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Bor elementinin atomik yapısı (Bor Enstitüsü 2005).

Atomik Çapı	1,17 °A
Atomik Hacmi	4,6 cm <sup>3</sup> /mol
Kristal yapısı	Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>
İyonik Çapı	0,23 °A
Elektron Sayısı (yüksüz)	5
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	5
Valans Elektronları	2s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>

### 2.1.3 Bor Elementinin Fiziksel Özellikleri

Bor elementinin fiziksel özelliklerine baktığımız zaman 2573°K’lik yüksek bir erime noktasına sahip olduğunu görüyoruz. Oda sıcaklığında katı halde olduğunu ve görünüş olarak sarı-kahverengi arası bir renge sahip olduğunu görüyoruz. Aynı zamanda da bor elementinin atomik kütlelerinin 10,811 g.mol<sup>-1</sup> olduğunu görüyoruz. Çizelge 2.3’de bor elementinin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

**Çizelge 2.3** Bor elementinin fiziksel özellikleri (Bor Enstitüsü 2005).

Atomik Kütle	10,811 g.mol <sup>-1</sup>
Kaynama Noktası	4275°K - 4002°C - 7236°F
Termal Genleşme Katsayısı	0.0000083 cm/cm/°C (0°C)
Kondüktivite	Elektriksel: 1.0E <sup>-12</sup> 10 <sup>6</sup> /cm
Yoğunluk:	2,34 g/cc @ 300K

**Çizelge 2.3** (Devam) Bor elementinin fiziksel özellikleri (Bor Enstitüsü 2005).

Görünüş	Sarı-Kahverengi ametal kristal
Elastik Modülü	Bulk: 320/GPa
Atomizasyon Entalpisi	573,2 kJ/mole @ 25°C
Füzyon Entalpisi	22,18 kJ/mole
Buharlaşma Entalpisi	480 kJ/mole
Sertlik	Mohs: 9,3
Buharlaşma Isısı	489,7kJ/mol
Ergime Noktası	2573°K - 2300°C - 4172°F
Molar Hacmi	4,68 cm <sup>3</sup> /mole
Fiziksel Durumu	(20°C & 1 atm): Katı
Spesifik Isısı	1,02 J/gK
Buhar Basıncı	0,348 Pa@2300°C

#### 2.1.4 Bor Elementinin Kimyasal Özellikleri

Bor elementinin kimyasal özelliklerine bakıldığında iyonizasyon potansiyelleri; sırasıyla 8,298 eV; 25,154 eV ve 37,93 eV olarak görülmektedir. Çizelge 2.4’de bor elementinin kimyasal özelliklerinden bazıları gösterilmiştir.

**Çizelge 2.4** Bor elementinin kimyasal özellikleri (Bor Enstitüsü 2005).

Elektrokimyasal Eşdeğer	0,1344 g/amp-hr
Elektronegativite (Pauling)	2,04
Füzyon Isısı	50,2 kJ/mol
İyonizasyon potansiyeli	Birinci: 8,298 İkinci:25,154 Üçüncü: 37,93
Valans elektron potansiyeli (-eV)	190

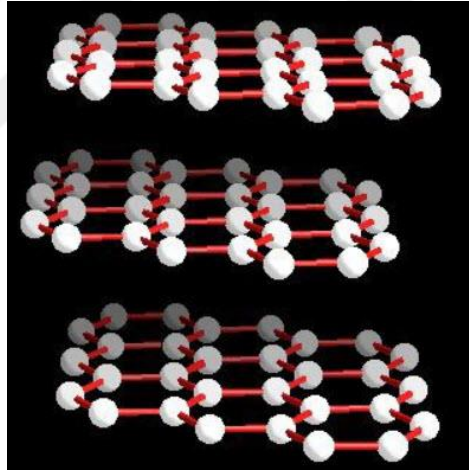
#### 2.2 Karbon Elementi

Karbon elementi doğada yaygın olarak bulunan ametal kimyasal bir elementtir. Bilinen elementlerin en çok yönlü olanıdır. Doğada bulunan bileşiklerin %94’ü karbon içermektedir. Yeterli çeşitlilikte düzenlemeler oluşturarak başka elementler ile birleşme yeteneği, yalnızca karbondadır. Karbonun en bol bulunan izotopu, doğal karbonun %

98,89' unu oluşturan karbon-12'dir. Tam olarak 12 dalton (atom kütlesi birimi) değerinde olan bu izotop, atom ağırlığı konusunda uluslararası standart olarak kullanılır. Kalkınmış ülkelerin ekonomilerinin büyük bir bölümü, karbon içeren yakıtların, plastiklerin, kimyasal maddelerin, dokumaların ve ilaçların işlenmesine ve üretimine dayanır. Karbon temelli sentetik bileşiklerin üretilmesi ve kullanılması, birçok ülkede yaşama düzeyini derinlemesine etkilemiştir.

### 2.2.1 Karbon Elementinin Kristal Yapısı ve Bileşikleri

Simgesi C, atom numarası 6, atom ağırlığı 12,011 olan karbon, periyodik tablonun IVA grubunda silisyum, germanyum, kalay ve kurşun elementleriyle birlikte yer alır. Bu elementlerin en hafifi ve en az metalik olanıdır. Periyodik çizelgedeki başka birçok grubun tersine, IVA grubu elementleri, kimyasal bakımdan birbirinden çok farklıdır. Şekil 2.2'de karbon elementinin kristal yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Karbon elementinin kristal yapısı (İnt.Kyn.2).

Doğada en bol bulunan karbon bileşikleri, karbon dioksit, tebeşir, kömür ve kalsiyum karbonat gibi metal karbonatları ve karbonun hidrojenle birleşerek oluşturduğu hidrokarbonlardır.

### 2.2.2 Karbon Elementinin Atomik Yapısı

Karbon elementinin atomik yapısına bakıldığında zaman hekzagonal bir kristal yapısının olduğu görülmektedir. Atom çapının ise 0,98 Å olduğu görülmektedir. Çizelge 2.5'de

karbon elementinin atomik yapısının ve elemente ait bazı özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.5** Karbon elementinin atomik yapısı.

Atomik Çapı	0,98 °A
Atomik Hacmi	4,58 cm <sup>3</sup> /mol
Kristal yapısı	Hekzagonal
Elektron Konfigürasyonu	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>2</sup>
Elektron Sayısı	6
Nötron Sayısı	6
Proton sayısı	6
Valans Elektronları	2s <sup>2</sup> p <sup>2</sup>

### 2.2.3 Karbon Elementinin Fiziksel Özellikleri

Karbon elementinin fiziksel özelliklerine baktığımız zaman 3773°K'lık yüksek bir erime noktasına sahip olduğunu görüyoruz. Oda sıcaklığında katı halde olduğunu ve görünüş olarak grafit yapısının siyah, elmas yapısının ise renksiz olduğunu görüyoruz. Aynı zamanda da karbon elementinin atomik kütlelerinin 12,0107 g.mol<sup>-1</sup> olduğunu görüyoruz. Çizelge 2.6'da karbon elementinin fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

**Çizelge 2.6** Karbon elementinin fiziksel özellikleri.

Atomik Kütle	12,0107 g.mol <sup>-1</sup>
Kaynama Noktası	5100°K - 4827°C - 8721°F
Termal Genleşme Katsayısı	0,0000021 cm/cm/°C (0°C)
Kondüktivite	Elektriksel: 0,00061 10 <sup>6</sup> /cmΩ
Yoğunluk:	2,26 g/cc @ 300K
Görünüş	Grafit-siyah, elmas-renksiz
Elastik Modülü	Bulk: 33/GPa
Sertlik	Mohs: 0,5
Ergime Noktası	3773°K - 3500°C - 6332°F
Molar Hacmi	5,34 cm <sup>3</sup> /mole

**Çizelge 2.6** (Devam) Karbon elementinin fiziksel özellikleri.

Fiziksel Durumu	(20°C & 1 atm): Katı
Spesifik Isısı	0,71 J/gK
Buhar Basıncı	0,348 Pa@2300°C

### 2.2.4 Karbon Elementinin Kimyasal Özellikleri

Karbon elementinin kimyasal özelliklerine bakıldığında iyonizasyon potansiyelleri; sırasıyla 11,26 eV, 24,383 eV ve 47,887 eV olarak görülmektedir. Çizelge 2.7’de bor elementinin kimyasal özelliklerinden bazıları gösterilmiştir.

**Çizelge 2.7** Karbon elementinin kimyasal özellikleri.

Kabuk sayısı	2,4
Elektronegativite (Pauling)	2,55
Elektron İlgisi	153,9 kJ/mol
İyonizasyon potansiyeli	Birinci: 11,26 İkinci:24,383 Üçüncü: 47,887

### 2.3 Bor Karbür Bileşenin Özellikleri

Bor karbür bilinen en kararlı bileşiklerden birisidir, asitler ve bazlar ile kolaylıkla reaksiyona girmez (Emrulloğlu 1999). Bilinen diğer birçok karbür ve nitrürlerin erimeden buharlaşma yolu ile bozulma eğilimi gösterirken bor karbür; 2450°C’de eriyerek sıvı faz oluşumu gösteren nadir bileşiklerden birisidir (Kuşoğlu 2004).

Bor Karbür (B<sub>4</sub>C)’ün sahip olduğu yüksek sertliği, yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı, düşük yoğunluğu, yüksek elastik modülü (460 gpa) ve düşük kırılma tokluğu(3,3mpa.m<sup>-1/2</sup>) gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel açıdan çok önemli bir malzemedir. Ergime noktası yaklaşık olarak 2500°C’dir. Sertlik ve dayanıklılık açısından da çok üstün özelliklere sahip olması B<sub>4</sub>C’ün önemini arttırmaktadır. Özellikle sertlik ve dayanıklılık/yoğunluk oranının çok önemli olduğu askeri amaçlı uygulamalarda önemli bir yere sahiptir ve zırh malzemesi olarak kullanılan alüminadan daha iyi özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Shi *et al.* 2003). Aynı zamanda aşınmaya karşı dayanıklılık gerektiren makine parçalarının üretiminde ve bor atomları geniş nötron absorblama kesit

alanına sahip olduğundan nükleer endüstride ideal bir kontrol ve koruyucu kalkan malzemesidir.

B ve C elementlerinin direkt reaksiyona sokulmasıyla bor karbür üretilmektedir ancak bu elementlerin yüksek maliyetleri bu üretimi ekonomik açıdan olumsuz hale sokmaktadır. Bunun haricinde birçok B<sub>4</sub>C üretim yöntemi bulunmaktadır. Bor karbür; Borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) veya Bor oksiti (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), elektrik ark fırınlarında yaklaşık olarak 2200 – 2500°C sıcaklık ortamında karbon ile redükleyerek üretilmektedir. Bu üretim yöntemi genelde endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Reaksiyon prosesi şöyledir:



**Şekil 2.3** Proses Sonucu Oluşan B<sub>4</sub>C.

Proses sonucu oluşan bor karbür;

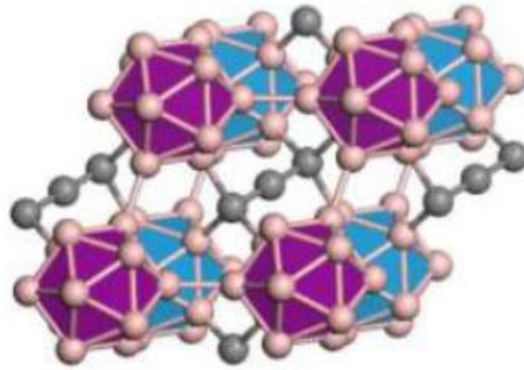
Görünüm olarak sertliğini yansıtmasa da bor karbür en sert malzemelerden birisidir. Sertlik, katı maddeler ve malzemeler için ayırt edici mekanik özelliklerdendir. Öyle ki, metal ve metal olmayan maddeler için sertlik birimleri her zaman kullanılmıştır. Metaller için Brinell, Vickers ve Rockwell sertlik belirtirken, metal olmayan katılar için genellikle Mohs sertlik birimi kullanılmaktadır. Sertlik, malzemelerin birbirleri üzerinde yarattıkları deformasyonun boyutu açısından oldukça önemlidir. Hiçbir malzeme, yüksek kütle ya da yüksek enerjiye sahip değilse kendinden daha sert bir malzemeyi çizemez ya da

deformasyona uğratamaz. Bu açıdan bakıldığı zaman bor karbür “9,5 mohs” sertliği ile üstün sertlik özelliği sergilemektedir.

Bir başka yöntem ise SHS (Self-Propagating High Temperature Synthesis)'dir. Kendiliğinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi, diğer adı yanma sentezi, ileri teknoloji seramikleri ve intermetalik malzemelerin üretiminde kullanılan basit bir yöntemdir. Sistemde yer alan bileşenler arasında meydana gelen ekzotermik reaksiyon sonucu istenilen ürün toz ince film şeklinde üretilmektedir. Bu yöntem ile B<sub>4</sub>C üretimi için gerekli olan sıcaklık 1200°C civarındadır. Bundan dolayı da enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Sıcaklığın diğer yöntemlere göre düşük olması endüstriyel alanda bu yöntemin yaygın kullanılmasını cazip kılmaktadır (He *et al.* 2007). Çizelge 2.8'de bor karbür' ün teknik bazı özellikleri gösterilmiştir. Şekil 2.4'de ise bor karbür' ün kristal yapısı gösterilmiştir.

**Çizelge 2.8** Bor Karbür Teknik Özellikleri.

Kimyasal Formül	B <sub>4,9</sub> C ve B <sub>4,3</sub> C
Kristal Yapısı	Rombobedrik
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,510
Ergime Noktası (0 °C)	2450
Sertlik Mohs Skala	9,5
Isı Geçirgenliği (W/MK)	35



**Şekil 2.4** Bor karbür 'ün (B<sub>4</sub>C) kristal yapısı. Ön yüzdeki ikosahedronlar mor renkle, arka yüzdekiler ise mavi renkle gösterildi (Aydın 2010).

Ülkemizin %100 yerli sermaye ve %100 Türk mühendisliğiyle OTOKAR tarafından üretilen ALTAY tankı önümüzdeki günlerde seri üretime başlayacağını duyurdu. ALTAY tankı, yeni nesil tüm teknolojilere sahip olarak üretilen ve uzun süre bu özelliğini koruyacaktır. Fakat onu diğer tanklardan ayıran bir özelliği var ki, onu dünyada ilk olma başarısına ulaştıracak. Bu özellik “Bor Karbür – Boron Carbide” ile üretilen yeni zırh teknolojisi (İnt.Kyn.3).

#### **2.4 Bor Karbür (B<sub>4</sub>C) İnce Film Özellikleri**

Bor karbür, elmas ve bor nitrürden sonra bilinen en sert malzemedir ve üstün mekanik, tribolojik, elektronik, optik özellikleri, düşük yoğunluğu, yüksek elastik modülü, yüksek termal ve kimyasal kararlılığının yanı sıra yüksek nötron absorblama özelliği ile de teknolojik açıdan çok önemli bir malzemedir (Lattemann and Ulrich 2007, Lousa *et al.* 1999, Chen *et al.* 2006). Bu özellikleri ile B<sub>4</sub>C ince filmler; kesici takımların, fren balatalarının, sabit disklerin ve çeşitli makine parçalarının kaplanması gibi mekanik, tribolojik uygulamaların yanı sıra, yüksek sıcaklık ortamları gibi zorlayıcı şartlarda çalışacak transistörler vb. elektronik ve optik uygulamalarda da kullanılmaktadır (Ulrich *et al.* 1997, Han *et al.* 2002).

Bor karbür malzemeler ve ince filmler farklı fazlarda ve dolayısıyla farklı bileşimlerde üretilirler (Jacobsohn and Nastasi 2005). Bu sebeple literatürde bor karbür terimi ve kimyasal formülü olan B<sub>4</sub>C kararlı fazlar için olduğu kadar kararsız fazları temsil etmek için de kullanılmaktadır. Bor karbür %8 ila %20 arasında karbon bileşiminde ideal olarak 12 atomun ikozahedral dizildiği ve 3 atomdan oluşan bir zincirin ikozahedraları birbirine bağladığı rombohedral kafes yapısıyla tanımlanır (Thevenot 1990, Jacobsohn and Nastasi 2005). Özellikle ince film formunda ve sıçratma tekniğiyle üretilen çoğu örnekte elde edilen bor karbür filmler amorf yapıdadır ve bu amorf filmlerin %50’den az karbon içerdiği durumlarda düzensiz rombohedral yapıda olduğu düşünülmektedir (Han *et al.* 2002; Zhou *et al.* 2007).

Literatürde ince film bor karbür üretimi için farklı yöntemler kullanılmışlardır. Bunlara örnek olarak; Sezer ve Brand (2001) kimyasal buhar biriktirme, Kosinova vd. (2003)

plazma-destekli kimyasal buhar biriktirme, Vast vd. (2000) plazma püskürtme, Pascual vd. (1999) RF (Radyo Frekans) manyetik alanda sıçratma ve Wu vd. (2003) DC (Doğru Akım) manyetik alanda sıçratma verilebilir. Bu tekniklerden özellikle DC ve RF manyetik alanda sıçratma, yüksek biriktirme hızları ve düşük işlem sıcaklıkları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda tercih sebebi olmaktadır (Ahn *et al.* 2005).

## 2.5 Bor Karbür (B<sub>4</sub>C) Kullanım Alanları

Bor karbür bileşeni yüksek sertliğe sahip olup kimyasal ve mekanik korozyona karşı mükemmel bir dirence sahip, çok düşük yoğunluğu (2,5 g/cm<sup>3</sup>) sebebi ile mükemmel güç/ağırlık oranına ve yüksek ısı dayanımına sahip bor karbür zırh plakaları üretilmektedir.

İleri teknoloji seramik hammaddesi olan bor karbürden yapılmış zırh plakaları, diğer geleneksel zırh malzemeleri ile karşılaştırıldığında %70'e varan oranda hafiftir, bu nedenle hafifliğin çok önemli olduğu koruyucu yelek ve zırh imalatında bor karbür hammaddesi yoğun olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, hafifliğin ve mobilitenin önemli olduğu taktik araçlar, hafif zırhlı araçlar ve helikopterlerde de bor karbür zırh plakaları kullanılmaktadır. Zırh çözümlerinde amaç minimum yük, maksimum koruma sağlamaktır. Yüksek sertlik, kimyasal ve mekanik korozyona karşı mükemmel direnç, çok düşük yoğunluk, mükemmel güç/ağırlık oranı ve yüksek ısıya dayanım özellikleri, B<sub>4</sub>C' nin başlıca tercih edilme sebepleridir. Bor karpit diye de adlandırılan hammaddeden yapılan seramik zırhlar, yeni nesil kurşun geçirmez yelek plakalarında temel malzeme olarak kullanılmaktadırlar. Bor karbür aşındırıcı zımpara taneleri veya tozu olarak kullanılır. Bor karbür ve bor nitür; döküm çeperlerinde yüksek sıcaklığa dayanıklı (refrakter) malzeme, püskürtme memelerinde de aşınmaya dayanıklı (abrasif) malzeme olarak kullanılan önemli bileşiklerdir (İnt.Kyn.4).

Bor karbür tozları çelik ve diğer demir malzemelerin yüzeyini sertleştirmek için kullanılır. Bu işlem borun metal yüzeyine difüzyonu ile olmaktadır. Bor bileşikleri Tungsten karbüre göre daha yüksek kesme oranına ve sürekli ağır iş görme yeteneğine sahiptir.

Bor karbürün en yaygın kullanım alanlarından biriside nükleer enerji santrallerinde radyasyondan korunma amaçlı ve yakıt yükleme çubuğu olarak kullanımınıdır. Günümüz nükleer santrallerinin çok büyük bir kısmında bor karbür yükleme çubukları kullanılmaktadır. Bor karbürün nötron soğurma yeteneği yapısındaki bor izotopundan kaynaklanmaktadır. Nükleer teknolojinin kullanımının arttığı günümüzde bor karbürün bu alanda olan kullanımını da önemini daha da arttırmaya devam edecektir. Nükleer reaktörlerde borlu çelikler, bor karbür ve titan bor alaşımları kullanılır. Paslanmaz bor katkılı çelik, nötron absorbanı olarak tercih edilmektedir. Yaklaşık her bir bor atomu bir nötron absorbe etmektedir. Bu nedenle, atom reaktörlerinin kontrol sistemleri ile soğutma havuzlarında ve reaktörün alarm ile kapatılmasında kullanılmaktadır. Bor, termal nötronları soğurma kabiliyeti açısından tektir. Sadece hafif bir gama ışını çıkarmakta ve alfa parçacıklarını kolayca soğurmaktadır. Tüketim miktarı yönünden önemli olmamasına rağmen teknolojik ilerleme açısından büyük önemi olan bir kullanım alanına sahiptir (İnt.Kyn.4).

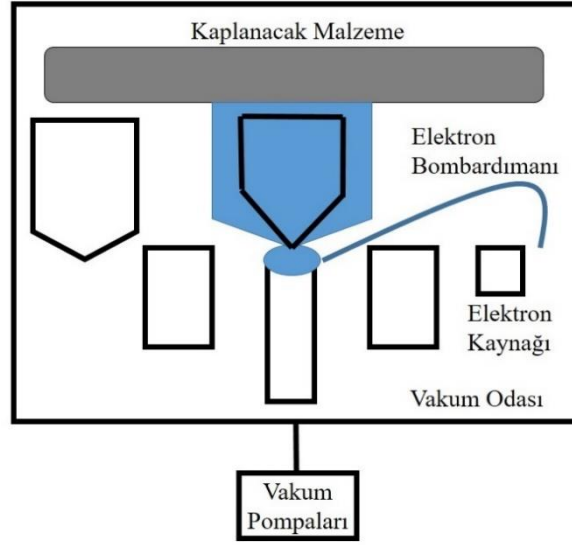
## **2.6 Vakum Altında Plazma İnce Film Kaplama Yöntemleri**

Teorik olarak 19. yy'in başlarından beri ince film kaplama yöntemleri bilinmesine rağmen teknolojik gereksinimlerden dolayı son 50 yıldır endüstride kullanılmaya başlanan çeşitli ince film üretim yöntemleri mevcuttur. Endüstriyel uygulamalarda ve yapılan bilimsel çalışmalarda, elektrokimyasal kaplama, sprey püskürtme gibi çeşitli ince film üretim yöntemleri bulunmaktadır. Ancak günümüz ileri teknoloji uygulamalarında yüksek ürün kalitesi gerektiği için ürün için gerekli olan parametrelerin kontrol edilebilmesi açısından vakum içinde plazma oluşturularak ince film kaplama teknikleri son yıllardaki teknolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Vakum altında plazma ince film kaplama yöntemlerinden bazıları; elektron demeti buharlaştırma, termal buharlaştırma, moleküler demetli epitaksi (MBE), RF ve DC saçırma, RF ve DC magnetron saçırma, termiyonik vakum ark (TVA) vb. gibi ince film kaplama yöntemleri bulunmaktadır. Aynı zamanda vakum ve plazma ortamına gerek duymadan ince film kaplama gerçekleştirilebilen kimyasal buhar biriktirme yöntemi bulunmaktadır.

### 2.6.1 Elektron Demeti Buharlaştırma Yöntemi (e-Beam Evaporation)

Yaygın olarak metal kaplama işlemlerinde kullanılan bir başka teknikte elektron demeti buharlaştırma tekniğidir. Bu teknik termal buharlaştırma tekniği ile yakın özelliklere sahiptir. Bu tekniğin en belirgin farklılığı ise buharlaştırılacak malzemenin direk olarak ısıtılmasıdır.

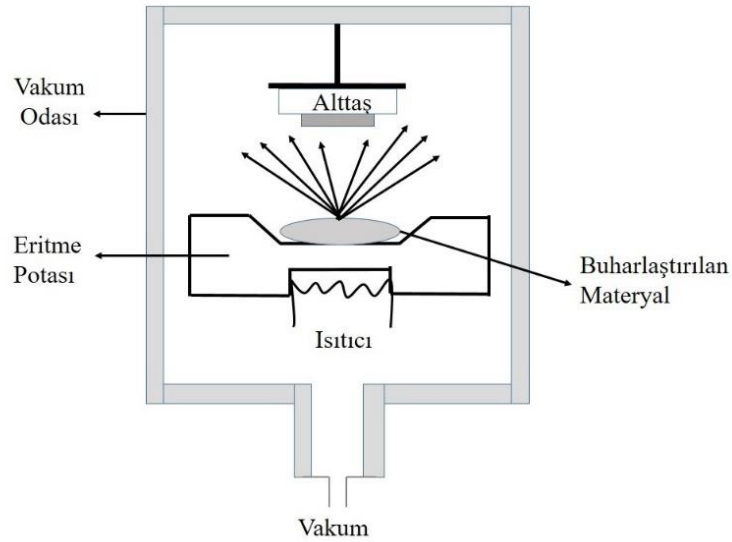
Elektron demeti ile buharlaştırma tekniği, bir elektron kaynağı vasıtası ile sağlanan yüksek enerjili elektronların ( $\sim 15$  keV), hedef malzemeye yönlendirilmesi sonucunda açığa çıkan enerjinin malzemeyi buharlaştırması prensibine dayanmaktadır. Yüksek ergime sıcaklıklarına sahip ( $4000^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar) malzemelerin buharlaştırılabilmesine imkân veren bu yöntemde elektronların yönlendirilebilmesinin getirdiği avantajla düzenli buharlaştırma oluşturabilen bir bombardıman söz konusudur. Elektronlar, elektron tabancası veya oyuk katot kullanılarak üretilmektedir. Elektron tabancası ile elektronların üretimi, bir flamanın akım geçirilmesi neticesinde flamanın ısınarak elektron yayması prensibine dayanmaktadır. Elde edilen elektronlar bir manyetik alan yardımı ile hızlandırılır ve yönlendirilir. Bu tekrarlanarak buharlaştırma işlemi gerçekleşir. Oyuk katot kullanımı ile elektron üretimi ise oyuk bir silindir içerisinde soy gazların kullanılması ile oluşturulan plazma sayesinde gerçekleşir. Şekil 2.5'de elektron demeti ile buharlaştırma tekniğinin basit şematik görünümü gösterilmiştir. Bu teknikte malzemeyi ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilmiş olur. Ayrıca oyuk katot su ile soğutulabildiği için oyuk katot'un yapıldığı metalin buharlaşması önlenerek kaplanan ince film üzerinde oluşacak safsızlıkta iyileştirilmiş olur.



Şekil 2.5 Elektron Demeti ile Buharlaştırma Yöntemi.

### 2.6.2 Termal Buharlaştırma Yöntemi

Termal buharlaştırma tekniği, genelde metal malzemelerin bir ısıtıcı yardımı ile yüksek vakum altında buharlaştırılması işleminin yapıldığı ince film kaplama yöntemlerinden birisidir. Şekil 2.6' da termal buharlaştırma sistemi basit bir şema şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Termal Buharlaştırma Yöntemi.

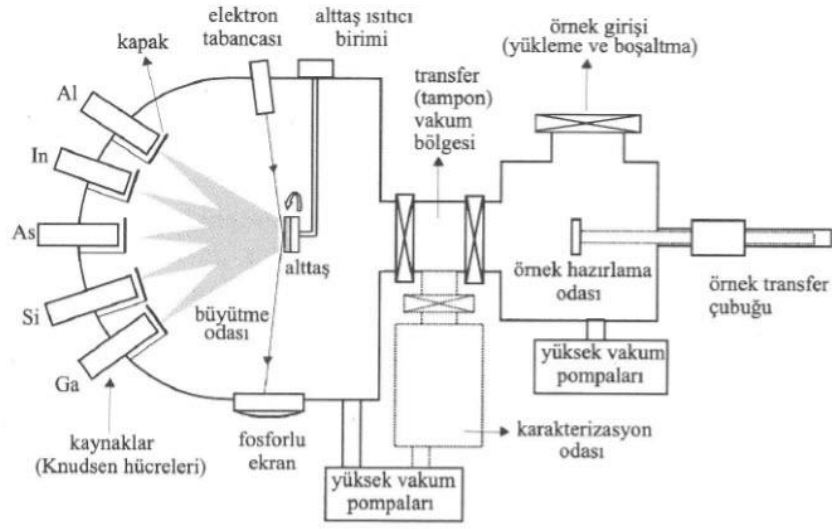
Termal buharlaştırma yönteminde buharlaştırılacak malzemeler genellikle tungsten gibi çok yüksek sıcaklığa dayanabilen metallere yerleştirilir.

Isıtma işlemi termal bir ısıtıcı ile sağlanmaktadır. Potada termal ısıtıcı aracılığı ile ısınan malzeme bir süre sonra buharlaşarak her doğrultuda yayılır. Vakum odası içerisinde kaplanması istenilen malzemenin uygun bir yere konulması sonucunda buharlaştırılan malzeme kaplanacak malzeme üzerine istenilen kalınlıkta kaplama yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kaplama yönteminin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar;

- Buharlaşma sıcaklıkları çok yüksek olan bazı malzemeleri (Wolfram(W), Molibden(Mo), vb.) buharlaştırmak oldukça zordur.
- Kaplanacak malzemeler açısından yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmayan malzemeleri kaplarken kullanışlı olmamaktadır. Çünkü bu yöntemde potanın ısınması ile birlikte, vakum odası içerisinde de oldukça yüksek bir sıcaklık olacaktır.
- Bir başka olumsuzluğu ise potanın ısınması ile buharlaştırılacak malzemenin reaksiyona girebilmesi riskini göz önünde bulundurursak kaplanan ince filmin safsızlığında artış olacaktır.

### **2.6.3 Moleküler Demetli Epitaksi Yöntemi**

Moleküler demeti ile epitaksiyel kristal büyütme yöntemi, çok yüksek vakum ( $<10^{-11}$  mbar) ortamında bir kristal yüzey ile atom veya moleküllerin termal demetlerinin reaksiyona girmesi sürecini içerir. Ayrıca film kalınlığının çok hassas bir şekilde kontrol edilebildiği ve oldukça gelişmiş tek kristal büyütme tekniğidir. Tek kristal çok tabakalı (atomik tabaka) yapılar MBE kullanılarak elde edilmektedir. MBE yöntemi ile yarıiletken çoklu yapılı ince filmleri çok hassas bir şekilde elde edilebilmektedir. Epitaksi, kelime anlamı ile üzerinde büyütülme işlemi yapılan kaplanacak malzemenin kristal yapısını ve yönelimini koruyacak şekilde yapılan ince film büyütme işlemi ifade etmektedir. Şekil 2.7' de bir MBE düzeneğinin basit şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.7 Bir MBE düzeneğinin şematisel gösterimi (Tarımcı ve Sarı 2006).

Bu yöntemde büyütülecek filmi içeren materyallerin her biri (As, Ga, Al, Si vb.), knudsen hücreleri olarak bilinen silindirik kaplar içerisine ayrı ayrı yerleştirilmektedir. Yerleştirilen materyallerin uygun sıcaklık altında ısıtılması ile buharlaştırılan atomlar kaplanacak malzeme üzerine ulaşarak istenilen içerikteki filmleri büyütebilmektedir. Materyallerin önlerinde çok kısa süreye ayarlanmış (milisaniye mertebesinde) açılıp kapatılabilen kapakçıklar bulunmaktadır. Büyütme işlemi gerçekleşirken büyütülmesi istenen filmin içeriğini oluşturan kaynakların önündeki kapakçıklar açılarak sadece bu kaynaktan gelen materyaller kaplanacak malzeme üzerine ulaşır ve bunun sonucunda filmi oluşturmaya başlar (Tarımcı ve Sarı 2006).

Moleküler epitaksi tekniğinde kaplanacak malzemenin sıcaklığının oluşacak olan filmin istenilen bileşimde olmasında etkisi büyüktür. Bu sebepten dolayı kristal büyütme esnasında kaplanacak malzeme, büyütülecek filmin türüne bağlı olarak, 450 °C ile 700 °C arasında ısıtılarak filmin epitaksiyel olarak büyümesi sağlanır. Filmin büyütülmesi sırasında altta belli hızda döndürülerek filmlerin homojen bir şekilde büyümesi sağlanır (Tarımcı ve Sarı 2006). Ülkemizde ilk olarak Gazi Üniversitesi Fizik Bölümünde kurulan MBE şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Moleküler Demetli Epitaksi (MBE).

Moleküler demetli epitaksi (MBE) yönteminin sahip olduğu avantaj ve dezavantaj bulunmaktadır:

Avantajları;

- Tek sıralı moleküller mertebesinde film büyütme hassasiyetine sahip olması,
- Oldukça hassas film kalınlıklarının kontrol edilebilmesi,
- Büyütme işlemi gerçekleştirilirken film kalınlığının ölçülebilmesi,
- Katkılama ve özellikle filmin çok küçük bir bölgesinin katkılanması işlemi (delta katkılama) yapılabilmesidir.

Dezavantajları;

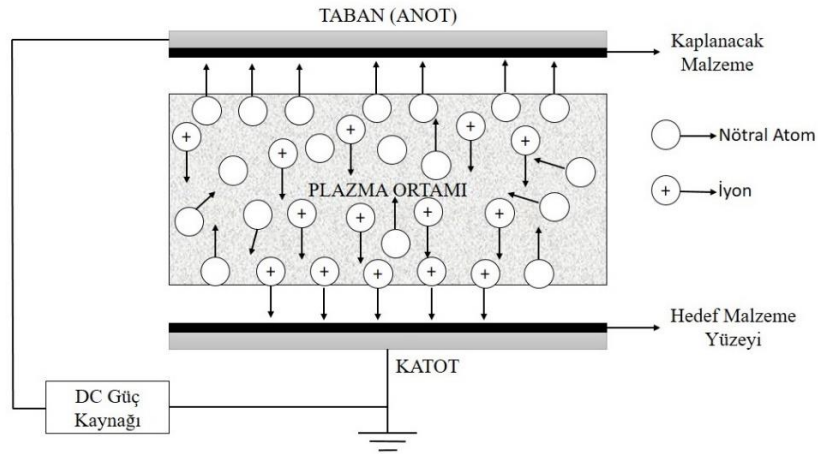
- Büyütme işlemi çok yüksek vakum altında yapılmadığı durumlarda istenmeyen atomları büyütülen filmin içine karışabilmektedir.
- Büyütülme işlemi yapılacak malzemelerin saflığının çok yüksek (%99,9) olması gerekmektedir.
- Sistemde film büyütme işleminin yapılmadığı durumlarda da MBE düzeneklerinde kullanılan yüksek vakum pompalarının sürekli çalışması gerekmektedir. Bu durum da düzeneklerin hem kurulmasının hem de işletilmesinin oldukça masraflı olmasına neden olmaktadır.

- Kristal büyütme işleminin hızının çok yavaş olması da seri üretim için uygun olmayan bir durumdur.

## 2.6.4 Saçtırma (Sputtering) Tekniği

Saçtırma (sputtering) tekniği ile biriktirme, bir hedef malzemenin yüzey atomlarının iyonize olmuş gaz atomları tarafından sökülerek, fırlatılması ve bu fırlatılan atomların, ince bir tabaka ile kaplanması istenilen taban malzeme üzerine biriktirme olayıdır. Burada yüzey atomları, bir plazma ya da iyon tabancasından çıkan enerji yüklü parçacıklar (hız kazandırılmış iyon, atom, elektron vb.) kullanılarak momentum transferi ile fiziksel olarak koparılmakta ve bu kopan parçacıkların kaplanacak taban malzeme üzerine biriktirilmesi ile kaplama gerçekleşmektedir.

Saçtırma tekniğinde, malzemeler ile reaksiyona girmeyecek gazların kullanılması gerekmektedir. Bu teknikte, kaplama işlemi kullanılan soy gazın plazma ortamında yapılmaktadır. Saçtırma tekniğinin basıncı diğer benzer tekniklere göre daha yüksektir (Tarımcı ve Sarı 2006).



Şekil 2.9 Saçtırma (Sputtering) tekniğinin şematik gösterimi.

Şekil 2.9'da saçtırma işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Saçtırma işlemi için öncelikle elektrotlar arasına bir soy gaz doldurulur. Daha sonra bu elektrotlar arasına uygulanan potansiyel ile elektrotlar arasındaki soy gazın plazması oluşturulur. Bu elektrotlar arasındaki plazmanın oluşması ile birlikte akımda artış meydana gelir ve buna bağlı olarak da bir potansiyel düşümü gerçekleşir. Akımın ani artışı, plazma içerisinde oluşan

pozitif iyonların katoda çarparak ikincil elektron emisyonu yapması nedeni ile yüklü parçacık sayısının çok hızlı bir şekilde artmasından kaynaklanır. Plazma içerisindeki pozitif iyonlar, gerçekleşen potansiyel düşümü sonucunda katoda doğru hızlanırlar ve bu hızla katoda çarparlar. Katot yüzeyinin bu bölgelerinden bir süre sonra nötral materyal atomları sökülmeğe başlar. Sökülen bu nötral atomlar katodun hemen karşısındaki anodun üzerinde bulunan kaplanacak malzeme üzerine birikmesi ile bu malzeme kaplanmış olur.

Saçtırma tekniği ile birçok malzeme başarılı bir şekilde kaplanmasına rağmen, kaplanacak malzeme üzerinde birikme hızı ve oluşturulan plazma içerisinde iyonlaşma etkisinin düşük olması ve aynı zamanda taban sıcaklığının yükselmesi sistemin kullanımını sınırlamıştır.

İki tür saçtırma tekniği bulunmaktadır. Bunlar, radyo frekans (RF) ve doğru akım (DC) saçtırma teknikleridir. Saçtırma tekniğinin adı, sistemde kullanılan güç kaynağının cinsine göre farklılık göstermektedir. Örneğin, elektrotlar arasına uygulanan voltaj radyo frekans güç kaynağı yardımı ile elde ediliyorsa buna RF saçtırma, elektrotlar arasına uygulanan voltaj doğru akım üreten bir güç kaynağı yardımı ile elde ediliyorsa buna DC saçtırma adı verilmektedir. Ayrıca elektrotlar arasında oluşturulan pozitif iyon sayısını arttırmak için katodun arka kısmında mıknatıs eklenerek de kullanılmaktadır. Bu şekilde yapılan sistemlerdeki saçtırma işlemlerine Magnetron Saçtırma (Magnetron Sputtering) Tekniği adı verilmektedir.

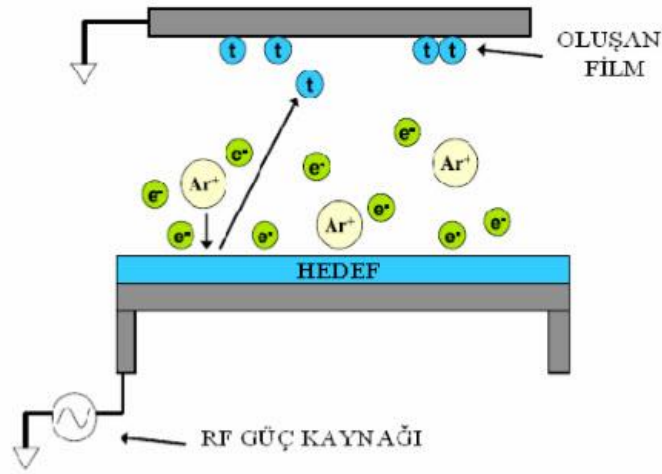
#### **2.6.4.1 Radyo Frekansı (RF) Saçtırma Tekniği**

Bu tekniğin önemli olan tarafı saçtırma işleminde elektrotlar arasına uygulanan voltajın RF güç kaynağı ile elde ediliyor olmasıdır. RF saçtırma tekniği; vakum odası, vakum pompası, radyo frekansı güç kaynağı ve eşleştirme ünitesi olmak üzere dört ana kısımdan oluşmaktadır (Johnson 2005).

Vakum pompasının amacı vakum odasının basıncını düşürmektir. Bunun nedeni ise vakum odasını havadaki diğer gazlardan temizlemek ve iyonize olmuş parçacıkların alacakları ortalama serbest yolunu arttırmak ve bu sayede yüksek enerjili çarpışmalar elde

etmektir (Grill 1994).

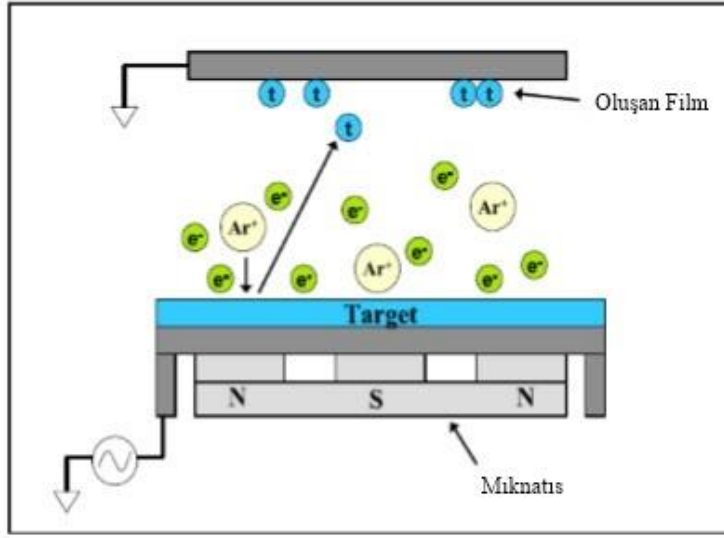
Radyo frekansı güç kaynağı ile elektromanyetik dalgalar oluşturulur. Bu dalgalar eşleştirme ünitesi sayesinde vakum odası içerisinde titreşim frekansı oluşturularak hedef materyalin iyonize olmasını sağlar. Frekansın yüksek olması, ortamda oluşturulan plazma deşarjını sürekli hale getirir (Johnson 2005). Şekil 2.10'da RF saçtırma sisteminde film oluşumunun şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 2.10 RF saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi (Özkan 2010).

#### 2.6.4.2 Radyo Frekanslı (RF) Magnetron Saçtırma Tekniği

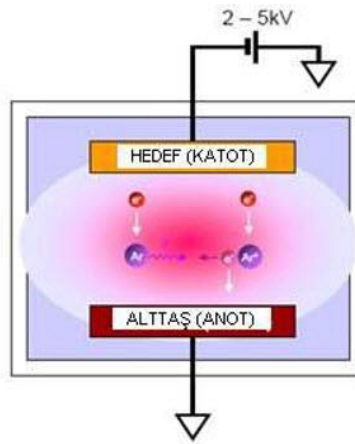
Bu teknikte, iyonlaşmış soy gaz (Argon) atomlarını hızlandırmak amacıyla kullanılan elektriksel alana ek olarak bu elektriksel alana dik doğrultuda bir de manyetik alan uygulanmaktadır. Uygulanan bu manyetik alan sayesinde elektronlar sarmal yörünge boyunca hareket ederler. Elektronların bu sarmal yörünge sebebiyle yolları uzadığı için hareketleri boyunca daha çok sayıda nötr soy gaz atomları ile çarpışma yaparak hedef üzerindeki konsantrasyonu arttırırlar. Bundan dolayı da hedeften atom koparma işlemi daha yoğun bir şekilde gerçekleşir ve aynı zamanda daha düşük basınçlarda plazma oluşturulabilir. Hedeften kopan elektronların tabana ulaşması oluşturulan manyetik alan sayesinde önleniği için taban üzerindeki filmin ısınması da bir dereceye kadar önlenmiş olur. Isıya duyarlı örnekler için bu yöntem özellikle tercih edilmektedir (Tarımcı ve Sarı 2006, Johnson 2005). RF magnetron saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 RF magnetron saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson 2005).

### 2.6.4.3 Doğru Akım (DC) Saçtırma Tekniği

Bu teknikte saçtırma işleminde elektrotlar arasında uygulanan potansiyel fark DC güç kaynağı ile elde edilmektedir. Şekil 2.12’de DC saçtırma sistemi ile film oluşumunun şekli gösterilmiştir. DC saçtırma tekniği metal malzemelerin kaplanması için kullanılmaktadır. Yalıtkan malzemelerin kaplanması için uygun olmayan bir tekniktir. Bu teknikte homojen ve iyi tutunmuş filmler üretilmektedir. Bu kaplama tekniğinde kaplama işlemi sırasında oluşturulan plazmanın yoğunluğu düşüktür. Oluşan plazma yoğunluğunun düşük olması katotta daha düşük iyon akımları oluşturur. Bundan dolayı da depolama oranı düşüktür (Tüzemen 2007).



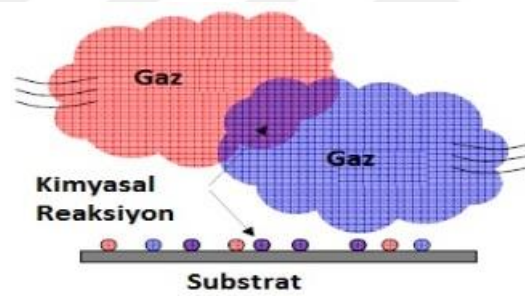
Şekil 2.12 DC saçtırma sistemi ile film oluşumunun şematik gösterimi (Kokkokoğlu 2010).

#### 2.6.4.4 Doğru Akım (DC) Magnetron Saçtırma Tekniği

Bu teknikte saçtırma işleminde elektrotlar arasına uygulanan potansiyel fark DC güç kaynağı ile elde edilmektedir. DC saçtırma tekniği ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Ek olarak mıknatıslar yardımı ile bir manyetik alan oluşturulmaktadır. Bu teknikte düşük basınçlarda plazma ortamı oluşturulabilmektedir. Kaplanması istenilen film özelliğine göre uygulanabilecek bir tekniktir (Tüzemen 2007).

#### 2.7 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapor Deposition, CVD)

Ortalama kapalı bir kap içinde ısıtılmış malzeme yüzeyinin buhar halindeki bir taşıyıcı gazın kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan katı bir malzeme ile kaplanması “kimyasal buhar biriktirme” yöntemi olarak tanımlanır. Şekil 2.13’de kimyasal buhar biriktirme yönteminin şekli gösterilmiştir.

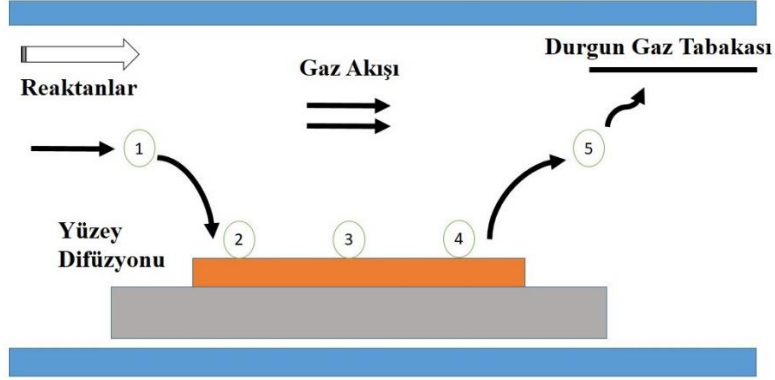


Şekil 2.13 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi.

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi; buhar fazından ve basıncı istenilen değerlere ayarlanmış bir ortamda kimyasal yöntemle katı kaplama malzemesi üretmeyi temel alır. Kaplama kalınlığı 10  $\mu\text{m}$ 'den daha incedir. Kaplama sıcaklığı, yapılan kaplamanın türüne bağlıdır ve genellikle 500-1100°C arasındadır. İşlem süresi yapılan tabaka kalınlığına bağlı olarak 2-4 saat arasında değişir. Kaplama stokiometresi, morfolojisi, kristal yapısı ve yönü, kaplama parametreleri değiştirilerek kontrol altına alınabilir (Evcin 2006).

Kimyasal buhar biriktirme sistemi başlıca üç kısımdan oluşur. Bu kısımlar; buhar haldeki reaksiyon bileşenlerini besleyen kısım, kimyasal buhar biriktirme reaktörü ve çıkış gazlarını atan kısımdır (Geçkinli 1992). Şekil 2.14’de CVD tekniğinin çalışma

mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Kimyasal Buhar Biriktirme Çalışma Mekanizması.

Kimyasal buhar biriktirme tekniğinin sahip olduğu avantaj ve dezavantaj bulunmaktadır:

Avantajları;

- Genellikle kullanılan tabanlar ile uyum içerisindedir ve bundan dolayı da karmaşık şekilli parçalara uygulanabilmektedir.
- Çok yüksek saflıkta depolama yapılabilmektedir.
- Bazı durumlarda santimetre kalınlığında depolama olmasına rağmen yüksek depolama oranı avantajı vardır.
- Diğer kaplama tekniklerine göre yüksek vakum ortamına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Dezavantajları;

- Depolamada kullanılan tabanların yüksek ısıya karşı dayanıksız olanlarında depolama yapılamamaktadır (600°C ve üzeri sıcaklıklara dayanıklı tabanlar için kaplama uygundur).
- Kaplamada kullanılan reaktif gazlar genellikle tehlikeli ve pahalı gazlardır.
- Reaksiyon sonucu oluşan istenmeden ortaya çıkan bazı bileşenler kaplama tabanına etki edebilmektedir.

### 3. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde ince film kaplama yöntemlerinden olan termiyonik vakum ark (TVA) sisteminden detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Bu tez kapsamında termiyonik vakum ark (TVA) tekniği kullanılarak cam taban üzerine bor karbür ( $B_4C$ ) ince filmi üretilmiştir. Deneysel aşamada cam taban üzerine yapılan ince film üretimi, üç farklı kaplama şeklinde yapılmıştır. Bu yapılan üç kaplama; bir dakikada, üç dakikada ve beş dakikada parametreleri değiştirmeden gerçekleştirilmiştir. Cam taban üzerine yapılan ince film üretiminde vakum odası içerisindeki akım sabit olup bu değer  $8 \times 10^{-5}$  dir. Elde edilen  $B_4C$  ince filmlerin mikro yapıları ve yüzey morfolojileri belirlenerek özellikleri incelenmiştir.

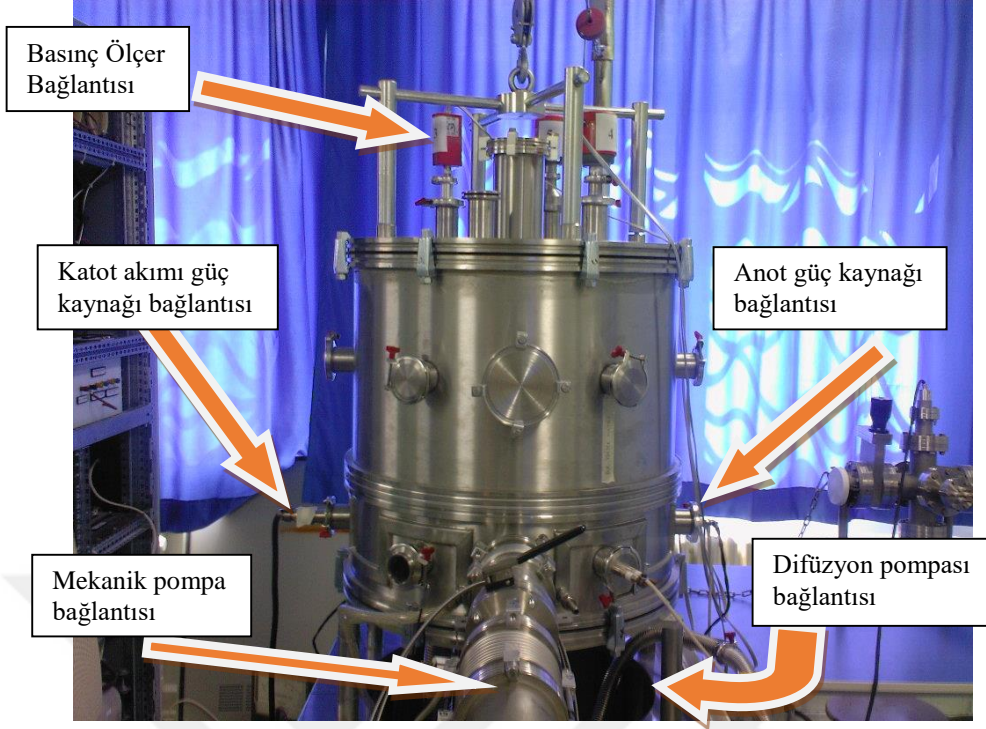
#### 3.1 Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği

Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği, metal ya da metal olmayan malzemelerin vakum ortamında ince film olarak üretiminin gerçekleştirilmesi için kullanılan bir tekniktir. Oldukça yeni ve orijinal bir teknik olan TVA tekniği, yüksek vakum ortamında ( $10^{-6}$  Torr) anot metali plazmasının üretilmesi 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 vd. tarafından geliştirilmiş olan bir vakum ark tekniğidir (Musa *et al.* 1983). Bu yöntem temel olarak, ince filmi oluşturulmak istenen malzemenin plazmasının üretilmesi ve üretilen bu plazmanın istenilen bir malzeme üzerine kaplanması prensibine göre çalışmaktadır. TVA tekniği ile çalışmalar ülkemizde Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Plazma Fiziği Laboratuvarlarında 1998 yılından itibaren devam etmektedir. Bu tez kapsamındaki deneylerde bu laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1 TVA Sistemi

İnce film kaplama tekniği olarak kullandığımız TVA sistemi aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

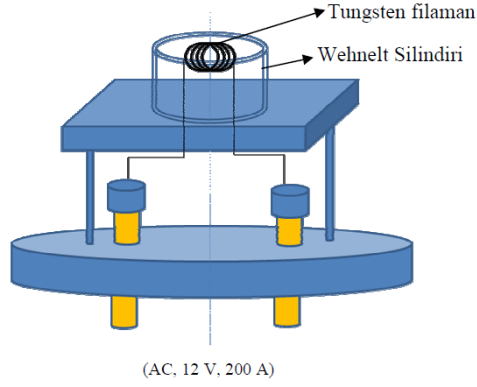




Şekil 3.2 TVA sisteminin fotoğrafı.

TVA sisteminin vakum odası, 60 x 60 cm boyutlarında ve yaklaşık  $10^{-9}$  Torr luk yüksek vakum değerlerinde de çalışabilecek şekilde paslanmaz çelikten özel olarak imal edilmiştir. Şekil 3.2’de fotoğrafı görülen sistemin ana merkezini oluşturmakla birlikte diğer bölümlerin bu sistemle bağlantıları sağlanmıştır.

Doğrudan ısıtılmalı katot, üzerinden akım geçirilerek elektron emisyonu sağlayan bir elektron tabancasıdır. Tungsten telden özel olarak yapılmaktadır (deneyler süresince tarafımızdan yapılmıştır). Oluşturulan bu elektron emisyonu bir Wehnelt silindiri yardımıyla plazması oluşturulacak olan malzemenin üzerinde odaklanacak şekilde gönderilir. Wehnelt silindirinin ucu ile materyal arasındaki mesafe anotla katot arasındaki uzaklığı ifade eder ve  $d$  ile simgelenir. Şekil 3.1’ deki  $\phi$  ise elektron tabancasından çıkan elektron demetinin doğrultusu ile kaplanacak malzemenin indirilen düşey eksen arasındaki açıdır.  $\phi$  ve  $d$ ; TVA sisteminde önemli iki parametredir. Şekil 3.3’ de doğrudan ısıtılmalı katodun şematik çizimi, Şekil 3.4’ de ise doğrudan ısıtılmalı katodun fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Doğrudan ısıtmalı katodun şematik gösterimi.



Şekil 3.4 Doğrudan ısıtmalı katodun fotoğrafı.

Anot materyali potası, yüksek erime sıcaklığına sahip malzemelerden yapılmış bir potadır. Çalışma esnasında alaşım yapma olasılığına karşı çeşitli elementler için uygun potalar kullanılması gerekir. Bu nedenle deneysel çalışmalarımızda erime sıcaklığı 3422 °C olan tungsten (wolfram) elementinden yapılmış potalar kullanılmıştır. Çizelge 3.1’ de daha önce plazması üretilmiş bazı elementlerin erime sıcaklıkları ve kullanılan potalar verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çeşitli elementler ve bileşikler için erime sıcaklıkları ve uygun pota materyali

(Edwards 2005).

Buharlaştırılacak Materyal	Erime Noktası (°C)	Kullanılan Potanın Yapıldığı Malzemeler
Alüminyum (Al)	660	W, Ta
Altın (Au)	1062	W, Mo
Bor (B)	2100	C
Bakır (Cu)	1083	W, Mo
Çinko (Zn)	419	W, Mo
Germanyum (Ge)	937	W, Mo
Gümüş (Ag)	961	W, Mo
Kadmiyum (Cd)	321	W, Mo
Kursun (Pb)	328	W, Mo
Magnezyum (Mg)	651	W, Mo
Nikel (Ni)	1453	W
Silisyum (Si)	1410	W, Ta
Titanyum (Ti)	1657	W, Ta
Vanadyum (V)	1890	Mo

Çizelgeden de anlaşılacağı gibi Bor (B) elementinin erime sıcaklığı 2100 °C civarındadır. B<sub>4</sub>C bileşiği ise 2450 °C civarındadır. Bu nedenle pota olarak karbon pota kullanılmanın daha uygun olacağı düşünülmüştür. Karbonun erime sıcaklığı 4000 °C 'ın üzerindedir. Şekil 3.5' de karbon ve tungsten potalar fotoğraf halinde gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.5 a) Tungsten pota b) Karbon pota.

TVA daki deneysel çalışmalarda, 12 V - 200 A AC ayarlanabilir çıkış voltajlı (varyaklı)

düşük voltajlı katot akımı güç kaynağı kullanılmıştır. Anot potansiyeli güç kaynağı olarak, DC, 0 – 5 kV kapasiteli ayarlanabilir çıkış voltajlı (varyaklı) yüksek voltaj güç kaynağı kullanılmıştır. Katot akımı güç kaynağı ve anot potansiyeli güç kaynağı Şekil 3.6' daki fotoğrafta görüldüğü gibi TVA sistemi için aynı pano üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.6 Katot akımı güç kaynağı ve anot potansiyeli güç kaynağı panosu.

Pompa sistemleri, Edwards EM40EH250 marka bir adet mekanik pompa ve gene Edwards Diffstack M100 marka bir adet difüzyon pompasından oluşmaktadır. Bu iki pompanın çalışması sonucunda vakum odasının basıncı  $10^{-6}$  Torr' a düşmektedir. Mekanik pompa ile vakum odasının basıncı  $10^{-4}$  Torr' a kadar inmekte, daha sonra difüzyon pompasının devreye girmesiyle de vakum odasının basıncı  $10^{-6}$  Torr' a ulaşmaktadır. Deneyler bu vakumda gerçekleştirilmiştir.

Vakum ölçüm sistemleri, Edwards marka  $10^{-3}$  Torr' a kadar hassas olarak ölçebilen düşük basınçölçer cihazı ve  $10^{-6}$  Torr' a kadar hassas olarak ölçen daha düşük basınçölçer cihazı olmak üzere iki çeşittir.

Özel olarak tasarlanmış olan bu ampermetre ve voltmetreler yardımı ile kaplanacak

malzemelerin termiyonik vakum arklarının oluşturulduğu anot ve katot arasındaki iyon akımı ve ateşleme potansiyelleri ölçülebilmektedir (Şekil 3.7a). Şekil 3.7b’ de ise flaman akımını kontrol etmek amacıyla kullanılan bir askı ampermetre fotoğrafı görülmektedir. İnce film kalınlık ölçüm cihazı olarak kuartz kristalli Cressington MTM10 cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz ile 0,1 nm hassasiyetinde ölçüm yapabilmek mümkündür. Soğutma sistemleri, difüzyon pompasının üzerinde bulunan su soğutma ünitesi ve vakum odasının dış yüzeyinde bulunan su soğutma ünitesi, sistemlerinden oluşmaktadır.



(a)

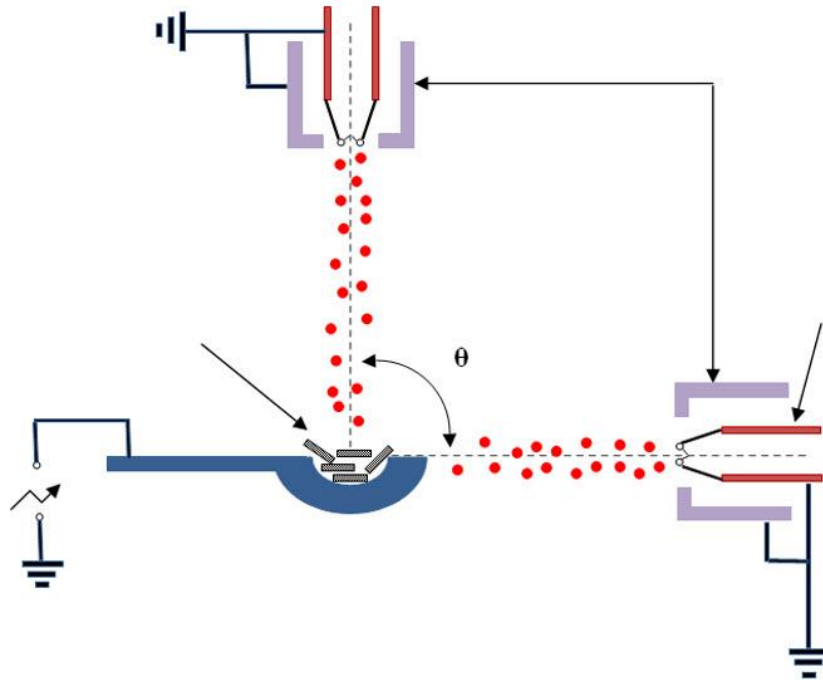


(b)

**Şekil 3.7** Ampermetre ve voltmetre sistemleri **a)** anot katot arası iyon akımı ve ateşleme potansiyeli ölçümü için ampermetre ve voltmetre **b)**Flaman akımını kontrol etmek için kullanılan askı ampermetre.

### 3.1.2 TVA Deşarj

Deşarj olayı kelime anlamı ile rahatlama demektir. TVA deşarj, termiyonik vakum ark plazmanın oluşması esnasında meydana gelen yük boşalması olarak tanımlanmaktadır ve diğer vakum arklardan farklı olarak anodik vakum ark meydana gelmesidir. Şekil 3.8’ de TVA sisteminin elektrotlarının farklı iki pozisyonda ( $\theta=0^\circ$  ve  $\theta=90^\circ$ ) düzenlenişi şematik olarak gösterilmiştir.

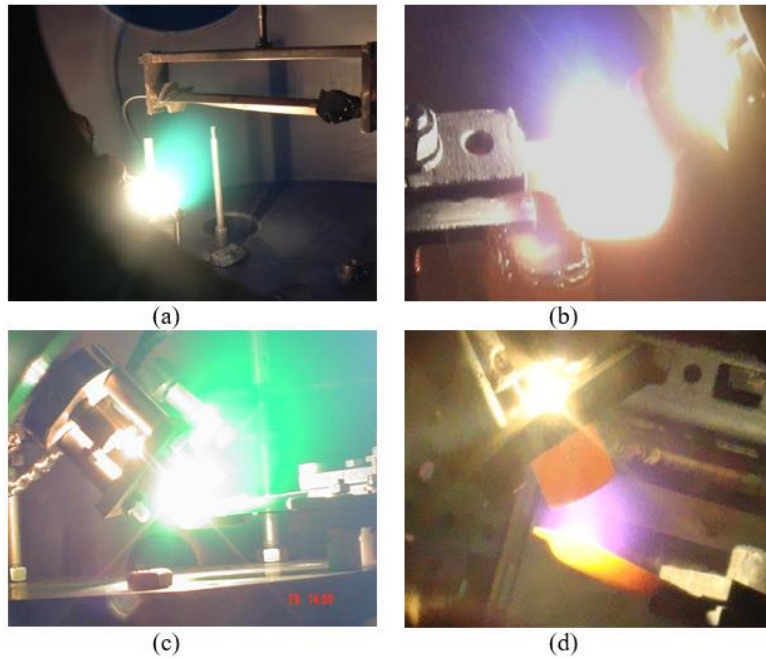


Şekil 3.8 TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi.

TVA deşarj son derece düşük basınca sahip ( $10^{-6}$  mbar) bir vakum odası içerisine yerleştirilmiş elektrotlar arasında gerçekleştirilir. Bu elektrotlar katot ve anottur. Katot filamenti Wehnelt silindiri içerisine yerleştirilmiştir. Wehnelt silindiri katottan yayınlanan termiyonik elektronların anot üzerine odaklanmasına sağlamaktadır. Wehnelt silindiri yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmakla beraber paslanmaz çelikten yapılmış bir silindiridir. Katottan yayınlanan elektronların anot üzerine odaklanması için elektromanyetik bobin yerine Wehnelt silindirinin kullanılması TVA sistemini, diğer kaplama sistemlerinden ayıran önemli bir özelliktir. Anot ise içine buharlaştırılması istenilen malzemenin yerleştirildiği potadır. Katottan elektron yayımını sağlamak için katoda bir AC güç kaynağı, katottan yayılan elektronların anoda hızlanmasını sağlayan bir DC yüksek gerilim güç kaynağı ve bir akım ayarlayıcı direnç konulmuştur. Vakum odasının vakumlanması için mekanik ve difüzyon pompası olmak üzere iki adet vakum pompası kullanılmaktadır. Vakum odasını vakumlama işlemi, ilk olarak mekanik pompa ile başlatılır ve basınç değeri  $\sim 10^{-3}$  mbar seviyesine gelinceye kadar devam eder. Daha sonra difüzyon pompası yardımı ile basınç değeri istenilen değerlere ( $\sim 10^{-6}$  mbar) düşürülür. Böylelikle deşarjın oluşacağı vakum odası temizlenmiş olur. Daha sonra katot üzerine uygulanan düşük AC gerilimi sayesinde katot filamenti ısınır ve katottan elektron yayımlanması gerçekleşir. Katottan yayımlanan bu elektronlar anot üzerine Wehnelt

silindiri ile odaklanırlar. Katottan kopan elektronlar, elektrotlar arasına uygulanan yüksek gerilim DC güç kaynağı sayesinde anoda doğru hızlandırılırlar. Anoda çarpan elektronlar öncelikle pota içinde bulunan malzemeye enerjisini aktararak ısınmasını sağlarlar. Daha sonra uygulanan gerilimin uygun bir değerinde elektrotlar arasında parlak bir deşarj oluşur. Deşarjın oluşması ile elektrotlar arasındaki gerilim aniden yükselir ve akım ise aniden düşer. Deşarj oluştuğunda katot toprak potansiyelinde anot ise daha yüksek bir potansiyelde olduğundan anottan vakum çeperlerine doğru bir elektrik alan oluşur ve bu sayede plazma iyonları vakum çeperlerine doğru yayılırlar. Bu durumda elektrotların üst kısmına kaplanmasını istediğimiz bir malzeme konulursa, TVA tekniği ile ince film kaplaması gerçekleşmiş olur.

TVA sistemi ile şimdiye kadar birçok materyalin (bakır, gümüş, alüminyum, kalay, altın, nikel, alümina, zirkonyum oksit, bor, karbon, renyum, molibden, tantalyum, tungsten, berilyum gibi ) plazması üretilmiş ve bu materyallerin ince filmleri ya da kalın kaplamaları yapılabilmektedir. Ayrıca TVA sistemi ile alaşım, yarı iletken ya da süper iletkenlerin ince filmlerinin üretilmesi de mümkün olabilmektedir (Özkan 2010). Şekil 3.9’ da bazı element ve bileşiklerin TVA’da oluşturulan plazmaları esnasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.



**Şekil 3.9** TVA’ da plazması oluşturulan bazı element ve bileşikler. a) Bakır (Cu), b) Bor (B), c) Magnezyum (Mg), d) Çinko oksit (ZnO).

### 3.1.3 TVA Tekniğinin Bilimsel Özellikleri ve Faydaları

TVA tekniği ile ince film kaplama işlemi diğer ince film kaplama tekniklerine göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan dolayı da II – VI grubu yarıiletken bileşiklerin (CdZnS, ZnS, ZnO, CdS, CdSe, ....) ince film kaplamalarında bu teknik kullanılmıştır.

TVA tekniği ile yüksek vakum veya çok yüksek vakum şartlarında çalışmak mümkündür. Bu vakum şartları sayesinde kaplanan ince filmin kalitesi artmakta ve oksitlenme veya bazı gazlardan dolayı kaplanan film üzerinde oluşabilecek etkiler en aza indirilmektedir. Diğer tekniklerin bazılarında yüksek yüksek vakum şartlarına ulaşamamaktadır. TVA tekniğinde kaplama işlemi yapılırken bir tampon gaza ihtiyaç duyulmamaktadır. Bundan dolayı da diğer tekniklere göre çok daha iyi vakum şartlarında ve diğer tekniklerde kullanılan gazların safsızlıklarına rastlanmadan sadece kaplama yapılabilecek materyalin yüksek saflık ile kaplamasının yapılması mümkün hale gelmektedir. Özellikle saçırma (sputtering) tekniğinde mutlaka bir tampon gazın kullanılması gerekmektedir. Bu tampon gaz yüzünden kaplanan malzemelerin analizleri sırasında istenmeyen safsızlıkların üretilen filmlerde oluşmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı da TVA tekniğinin safsızlık açısından önemli bir yeri bulunmaktadır. TVA tekniği ile yapılan ince film üretimlerinde elektrotlar arası mesafe, açı ve katot sıcaklığı, filaman akımı ( $I_f$ ) ve voltaj değiştirilerek, üretilecek filmlerin iyonlarının enerjileri kontrol altına alınabilmekte ve bu sayede yüksek iyon enerjileri elde edilebilmektedir. İyon enerjilerinin kontrolü çok önemlidir. Çünkü elde edilecek ince filmlerde, kaplanacak olan materyalin iyonlarının filme tutunmasını arttırarak üretilen ince filmin pürüzlülüğü en aza indirilebilmektedir. Diğer kaplama tekniklerinde bu tutunma olayı özellikle termal buharlaştırma tekniğinde oldukça düşüktür. Dolayısı ile termal buharlaştırma tekniği ile üretilen ince filmlerin analizlerinde yüzeylerinin yüksek derecede pürüzlü olduğu görülmektedir.

TVA tekniği ile herhangi bir materyal istenilen yüzey üzerine depolanabilmektedir. Erime noktası çok yüksek olan refraktör materyaller ile seramikler de dahil olmak üzere istenilen materyaller TVA tekniği ile kolaylıkla istenilen malzeme üzerine depolanabilmektedir. Diğer ince film kaplama tekniklerinde her materyali depolamak

mümkün olmamaktadır. TVA tekniği ile pota olarak plastikte dahil herhangi bir taban kullanılabilir. Aynı zamanda TVA tekniğinde bağımsız güç kaynaklarının kullanımı ile eşzamanlı olarak birden fazla materyalin depolanması da bu teknik ile mümkün hale gelmektedir (Balbağ 2009).

### 3.1.4 TVA Tekniği ile Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri

TVA sistemi ile bugüne kadar üretilen ince film kaplamaların incelenmesi sonucunda aşağıdaki özellikler bulunmuştur (Balbağ 2009).

1. Üretilen ince filmler yüksek saflıklarda olmaktadır (Balbağ 2009).
2. İnce filmlerin yüzey tutunmaları oldukça yüksek olmaktadır. Bu tutunmalar TVA tekniği ile ayarlanabilmektedir. TVA plazmalarının iyon enerjileri kontrol altında tutulabildiği için üretilen ince filmlerin kaplanacak malzeme üzerine olan etkisi isteğe bağlı olarak değiştirilebilmektedir (Pat *et al.* 2005, Akan *et al.* 2007).
3. TVA sistemi ile üretimi yapılan ince filmlerin yüzey pürüzlülüğünün çok düşük olduğu gözlenmiştir (bor ince filmlerde yüzey pürüzlülüğü 10 nm' nin altında bulunmuştur)(Ekem *et al.* 2008).
4. TVA ile üretilen ince filmlerin yapılarının oldukça sıkı olduğu gözlenmiştir (Ekem *et al.* 2008).
5. TVA ile üretilen ince filmlerin TEM analizleri sonucunda, üretilen ince filmlerin nano boyutlarda olduğu gözlenmiştir (Akan *et al.* 2007, Musa *et al.* 2006).
6. TVA sistemi ile istenilen her türlü malzeme üzerine kaplama yapılabilir. Örneğin; bugüne kadar çelik, silisyum, cam, krom ince filmler, NaCl kristali, bakır, alüminyum ve plastik gibi çeşitli malzemeler üzerine kaplamalar gerçekleştirilmiştir (Akan *et al.* 2006).

### 3.2 Deneyde Kullanılan Parametreler

TVA tekniği kullanılarak cam taban üzerine B<sub>4</sub>C ince film üretimi için yapılan deneyde çizelge 3.2’ de belirtilen deneysel parametreleri kullanılmıştır.

**Çizelge 3.2** Deneyde kullanılan parametreler.

Elektron Tabancası Flament Akımı (amp)	18,5
Voltaj (V)	700
Deşarj Akımı (amp)	0,5
Çalışma Basıncı (Torr)	$8 \times 10^{-5}$

### 3.3 Deney Materyallerinin Hazırlanışı

Bu çalışmada B<sub>4</sub>C ince filmler Termiyonik vakum ark (TVA) yöntemi ile plazma ortamında oluşturulmuştur. Çalışmada 50 nm boyutundaki B<sub>4</sub>C tozlarından pres cihazı ile 20mm çapında kalıp kullanılarak kuru halde 2 mm kalınlığında palet haline getirilmiştir. Şekil 3.10’ da toz halinde ve palet haline getirilmiş B<sub>4</sub>C fotoğrafları gösterilmiştir.



(a)



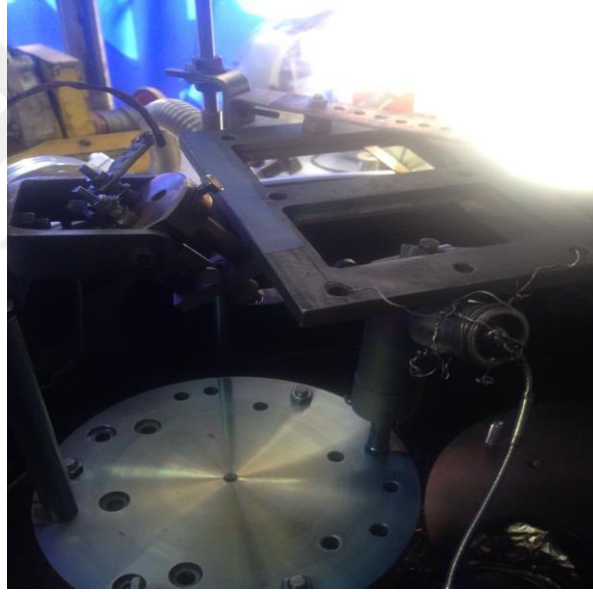
(b)

**Şekil 3.10** a) 50 nm boyutunda toz haldeki B<sub>4</sub>C b) Pres cihazı ile palet haline getirilmiş B<sub>4</sub>C.

Potaya yerleştirilen B<sub>4</sub>C paleti Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Vakum odası içerisinde uygun yere kaplanacak malzeme olan cam konuldu. Şekil 3.12’ de vakum odası içerisindeki durum gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Pota üzerine yerleştirilen B<sub>4</sub>C paleti.



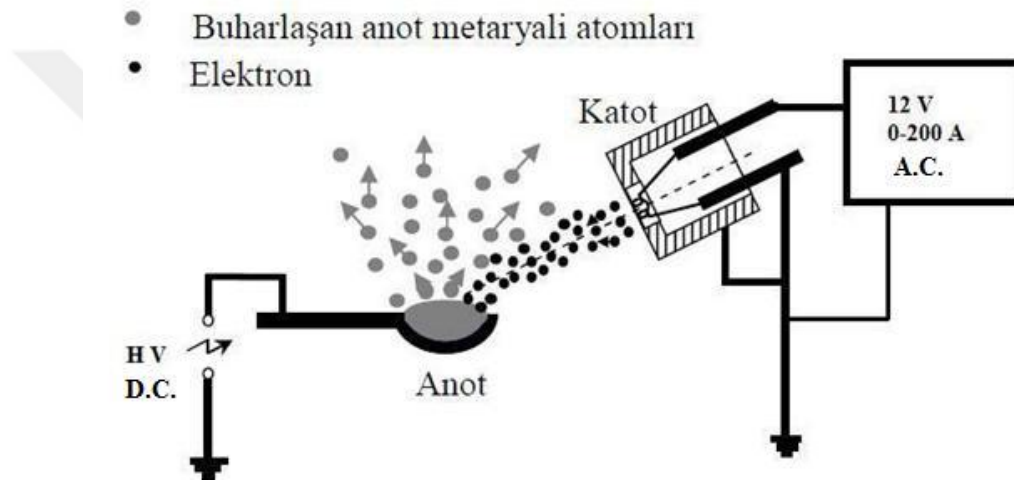
Şekil 3.12 Vakum odası içerisinde palet ve cam malzeme.

### 3.4 B<sub>4</sub>C İnce Film Üretimi

TVA deşarjın oluşturulması için ilk olarak katot filamanı, AC düşük voltaj güç kaynağı ile istenilen akımda ısıtıldı ve böylece katot filamandan termoelektron emisyonu sağlandı. Burada katodun bir ucu, düşük voltaj güç kaynağına bağlı iken diğer ucu elektrotların monte edildiği vakum odasının üzerine bağlanmıştır. Katodun içine yerleştirilen Wehnelt silindiri de negatif potansiyele bağlanmıştır. Katot filamanından elektron emisyonu

sağlandıktan sonra anot ile katot arasında yüksek voltaj uygulanmıştır. Böylece katottan yayımlanan elektronların Wehnelt silindiri yardımıyla anot üzerine hızlandırılmış bir şekilde odaklanması sağlanmıştır.

Hızlandırılarak anot üzerine odaklanan elektronların bombardımanı ile anot içindeki materyal üzerine enerji aktarılır ve bu enerji ile anot materyali ilk olarak ısınır. Uygulanan voltajın arttırılmaya devam edilmesi ile anot içindeki materyalin ( $B_4C$  paleti) erimesi ve daha sonra buharlaşması sağlanmıştır. Materyalin erimesi ve buharlaşması işlemi şekil 3.13’ de gösterilmiştir.

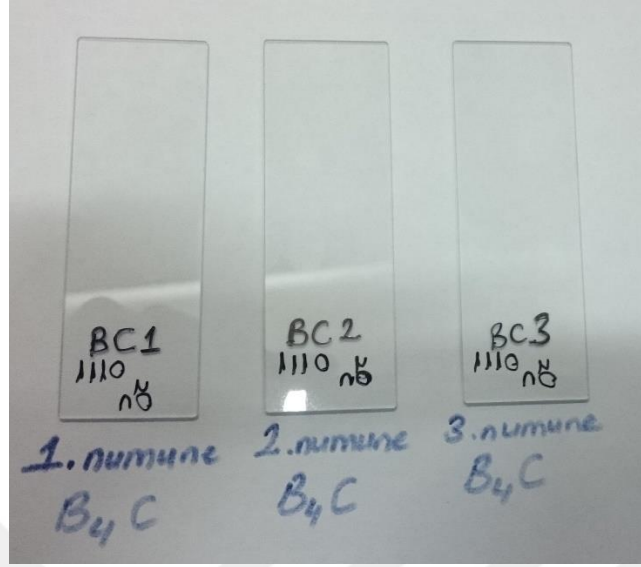


Şekil 3.13 Anot metalinin buharlaştırılması.

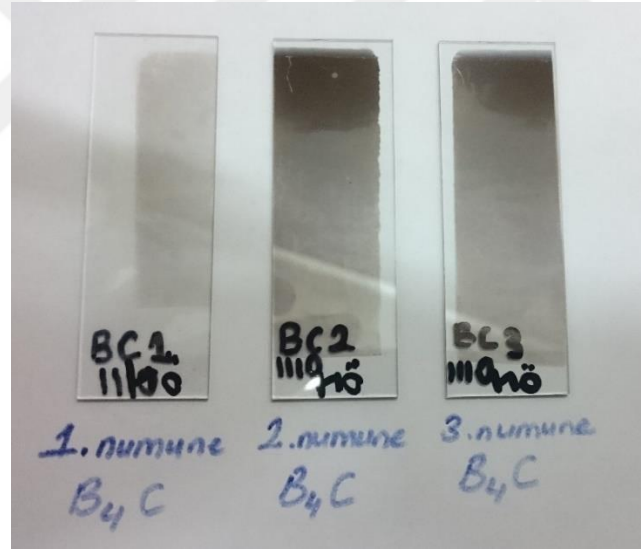
Daha sonra elektrotlar arasında uygulanan voltaj arttırılmaya devam edildi, elektrotlar arası uzayda uygulanan voltajın uygun değerinde (ateşleme voltaj değerinde) anot materyali buharında parlak bir deşarj oluştu. Bu anda elektrotlar arasındaki gerilim aniden düştü ve akım birden yükseldi. Oluşan anot materyalinin buharının plazması anot üzerinden sürekli bir şekilde vakum odası duvarlarına doğru yayılması sonucunda vakum içerisinde uygun bir yere yerleştirilen cam malzeme anot materyali olan  $B_4C$  cinsinden kaplanmıştır.

### 3.5 Cam Taban Üzerine Üretilen $B_4C$ İnce Film

$B_4C$  ince film üretiminde ilk aşama cam taban üzerine bir dakika, üç dakika ve beş dakika olmak üzere üç farklı kaplama yapılmıştır. Cam taban olarak mikroskop lameli kullanılmıştır. Kaplama öncesindeki cam taban (Şekil 3.14’ de) ve ince film kaplandıktan sonraki cam taban Şekil 3.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 B<sub>4</sub>C Kaplama öncesindeki cam tabanlar.



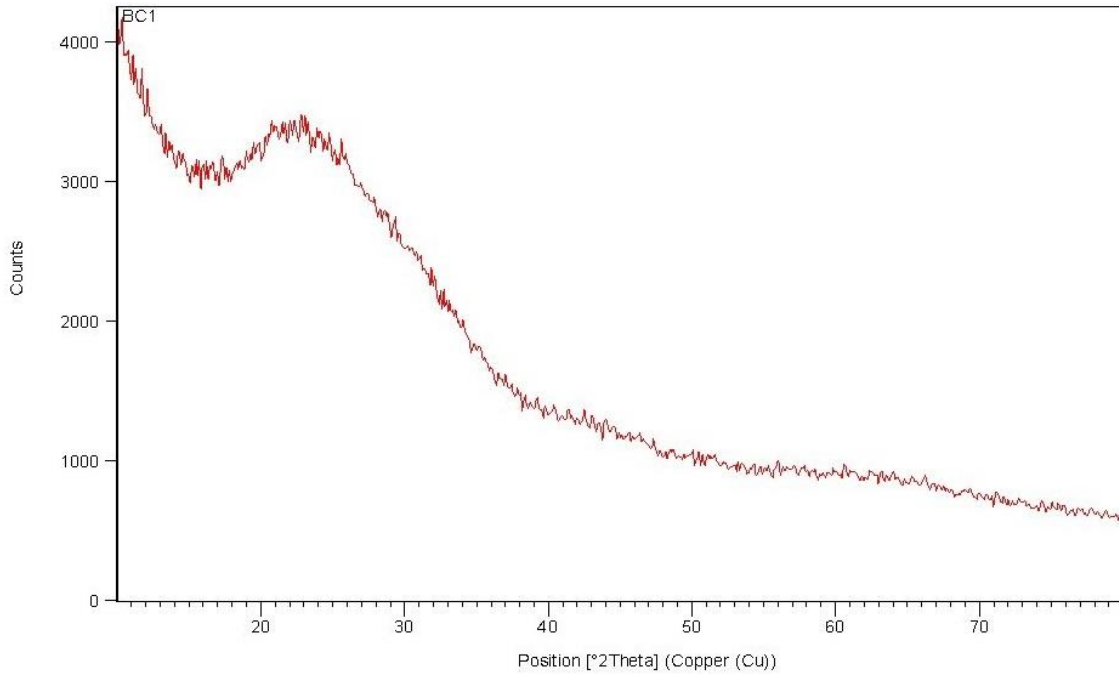
Şekil 3.15 B<sub>4</sub>C kaplama sonrasındaki cam tabanlar.

## 4. BULGULAR

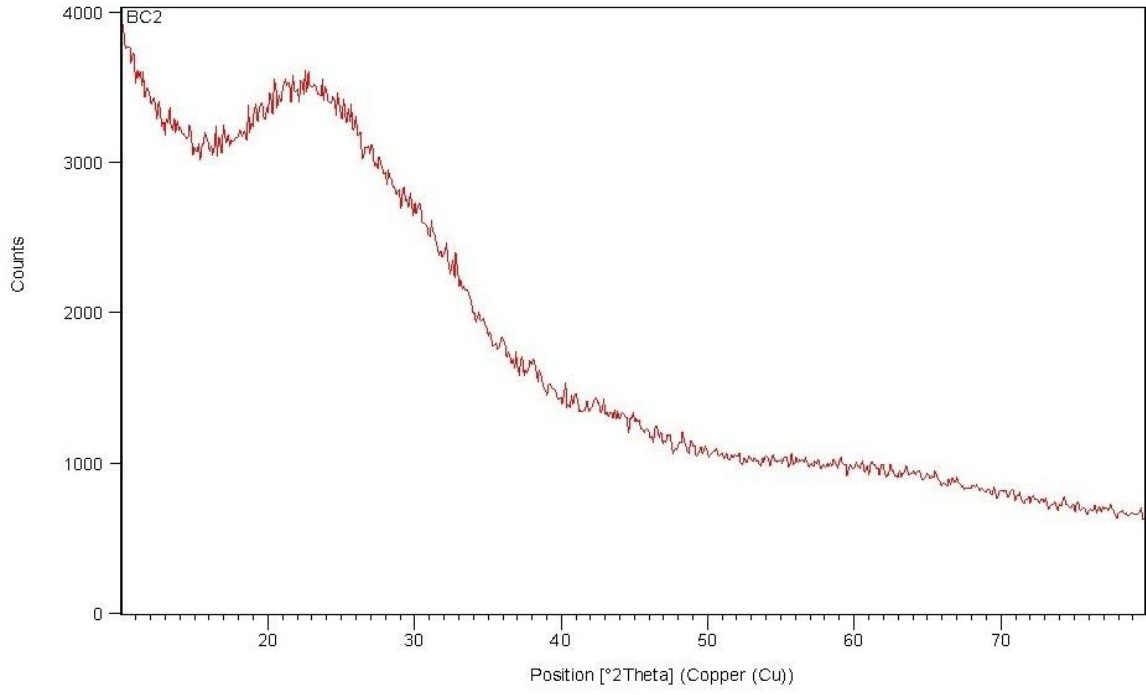
Bu çalışma kapsamında Termiyonik Vakum Ark yöntemi ile cam taban üzerine üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin mikro yapıları ve yüzey morfolojisi X-ışınları difraktometre (XRD), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Filmlerin kalitatif analizleri ise Enerji Dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ile yapılmıştır. Ayrıca Uv-vis spektrofotometri cihazı ile optiksel geçirgenlikleri ve interferometrik ölçüm cihazı yardımı ile kalınlıkları ve kırılma indisleri tayin edilmiştir.

### 4.1 XRD Analiz Sonuçları

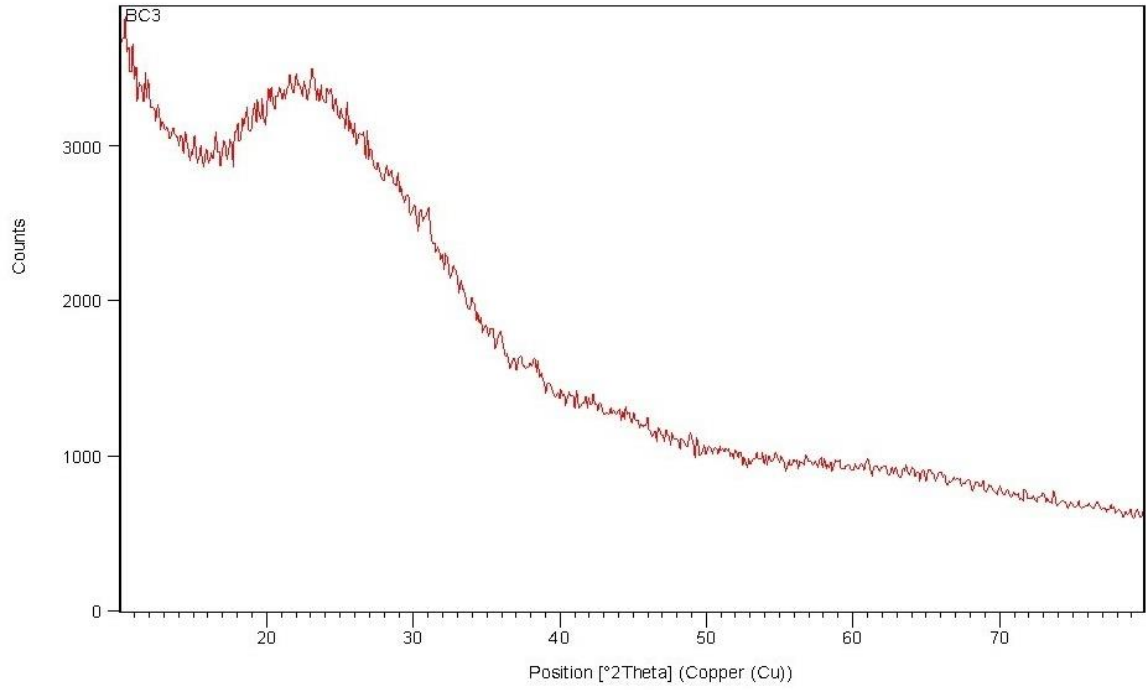
TVA tekniği ile cam malzeme üzerine üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin XRD analizleri  $\lambda=0,1540$  nm dalga boyuna sahip CuK $\alpha$  ışınları kullanılarak  $0^\circ < 2\theta < 70^\circ$  aralığında kırınım desenleri alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.1 Cam 1 numunesine ait XRD analiz sonucu.



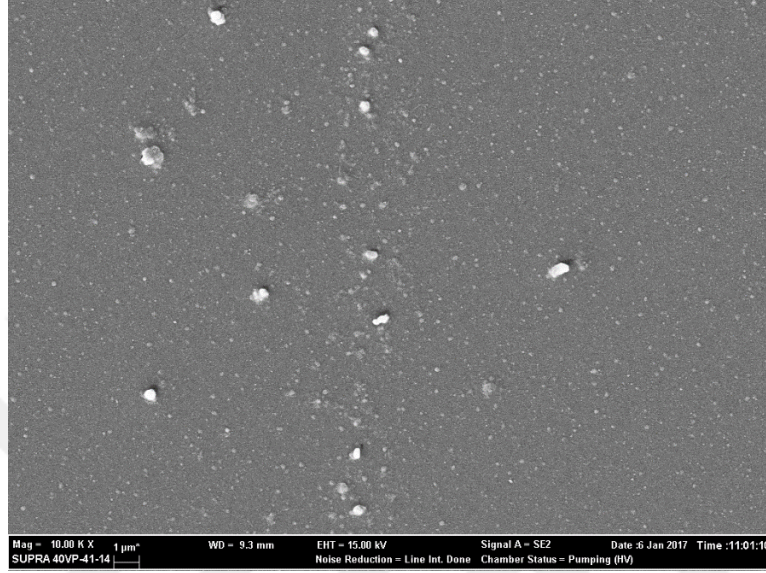
Şekil 4.2 Cam 2 numunesine ait XRD analiz sonucu.



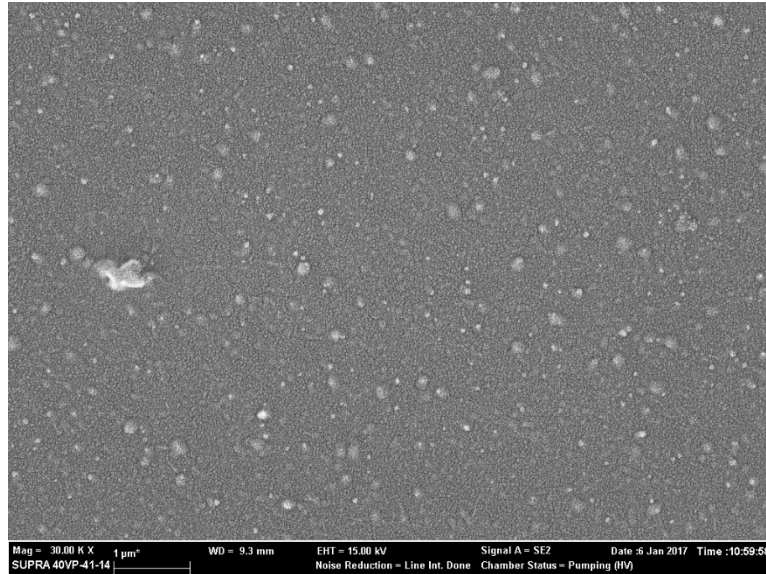
Şekil 4.3 Cam 3 numunesine ait XRD analiz sonucu.

## 4.2 SEM ve EDS Analiz Sonuçları

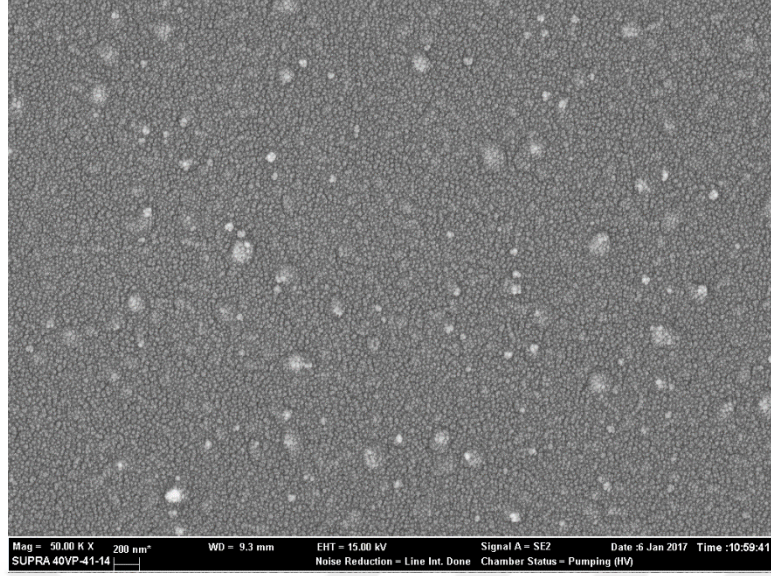
Üretilen B<sub>4</sub>C ince film numunelerinden 3. numune SEM analizi için kullanılmış olup 10, 30, 50 ve 100 kx büyütmelerinde SEM görüntüleri alınmıştır.



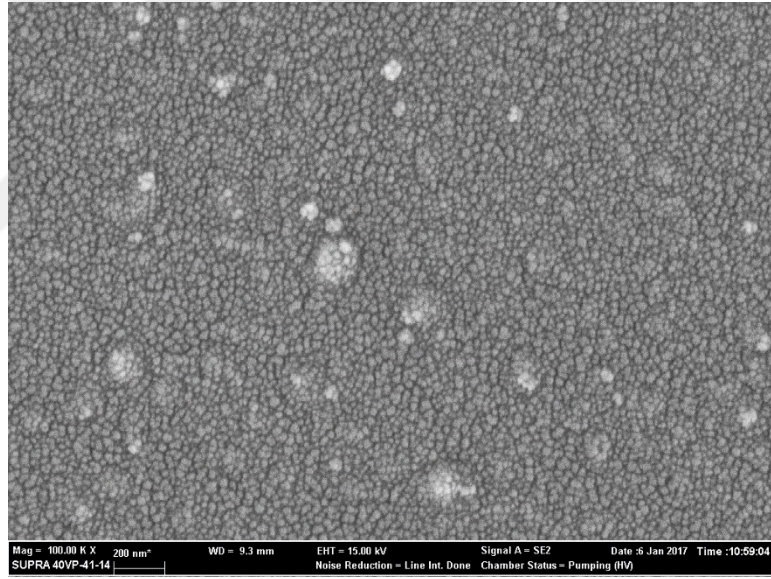
Şekil 4.4 Cam 3 ince filmin 10 kx büyütmede SEM görüntüsü.



Şekil 4.5 Cam 3 ince filmin 30 kx büyütmede SEM görüntüsü.



Şekil 4.6 Cam 3 ince filmin 50 kx büyütmede SEM görüntüsü.

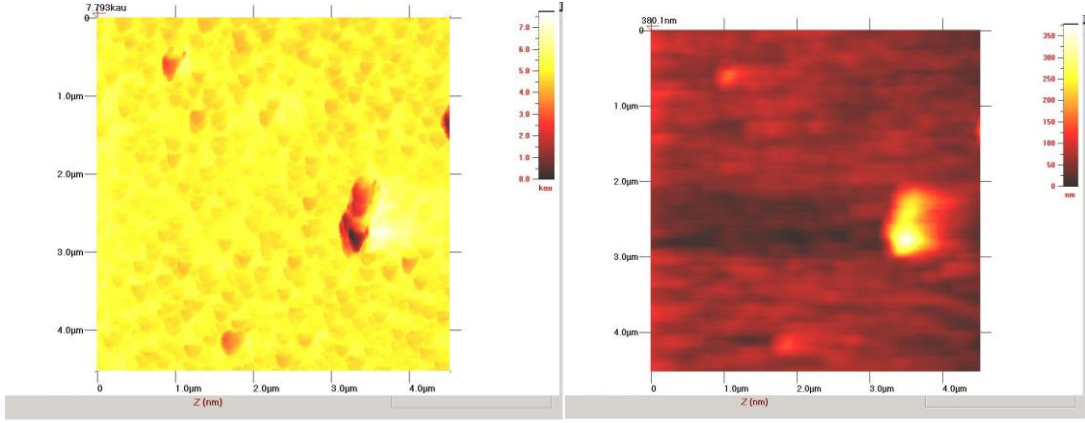


Şekil 4.7 Cam 3 ince filmin 100 kx büyütmede SEM görüntüsü.

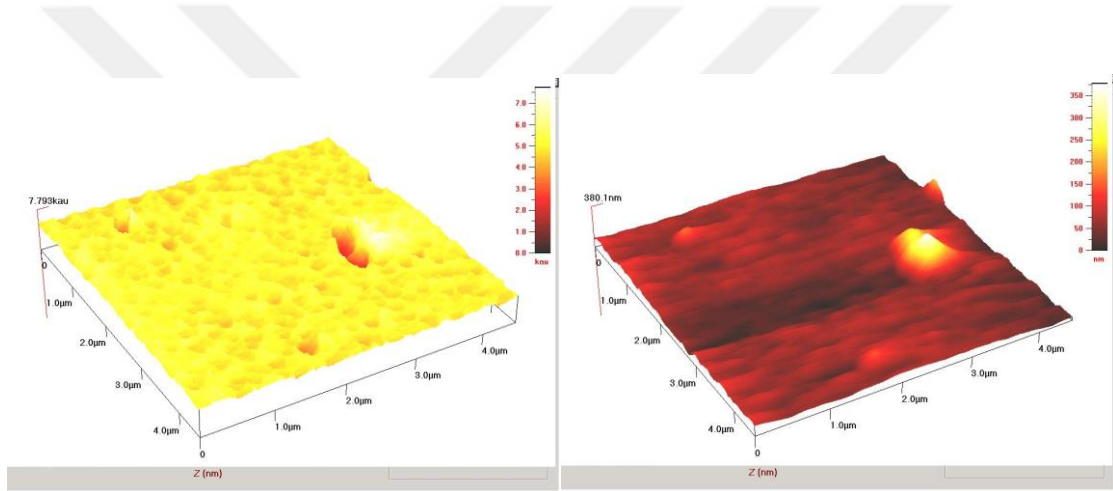
EDS analiz sonucunda %99 oranında karbon (C), eser miktarda da bor (B) görülmüştür.

### 4.3 AFM Analiz Sonuçları

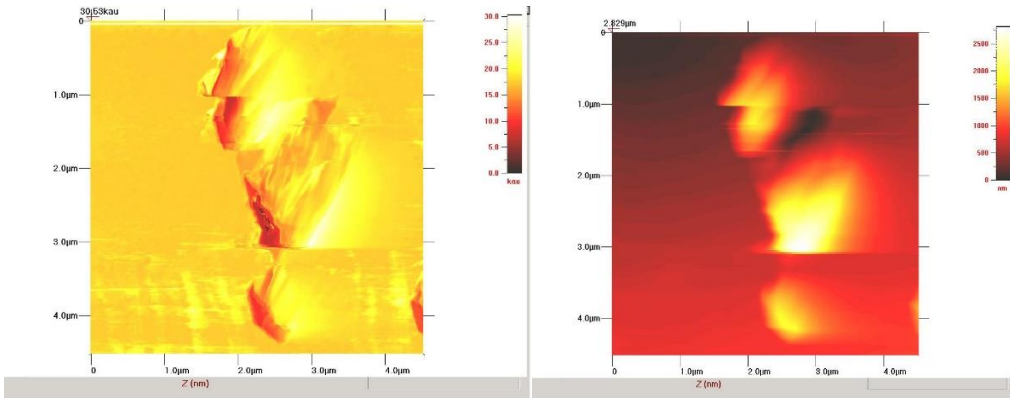
TVA tekniği ile farklı sürelerde üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin yüzeyleri Ambios marka Atomik Kütle Mikroskobu (AFM) cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey görüntüleri 4µ x 4µ'lik alan taranarak görüntülenmiştir. Alınan sonuçlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



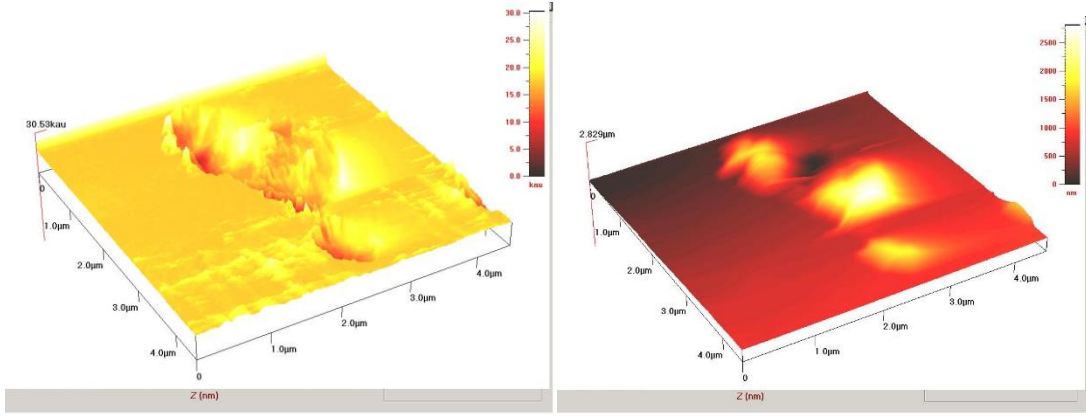
Şekil 4.8 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 1 için iki boyutlu AFM görüntüsü.



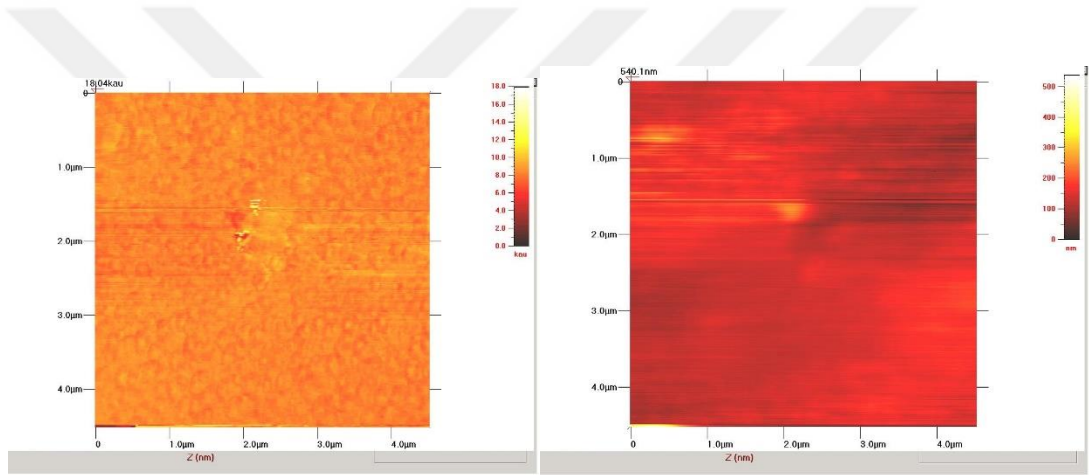
Şekil 4.9 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 1 için üç boyutlu AFM görüntüsü.



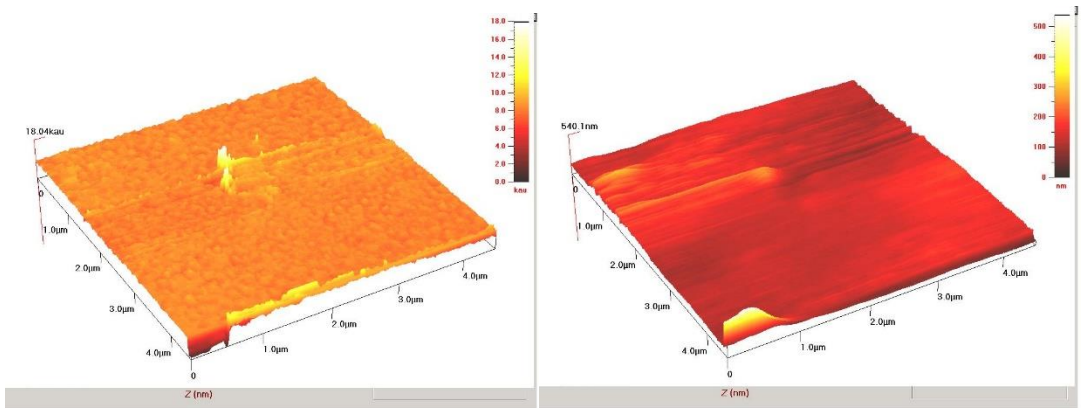
Şekil 4.10 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 2 için iki boyutlu AFM görüntüsü.



Şekil 4.11 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 2 için üç boyutlu AFM görüntüsü.



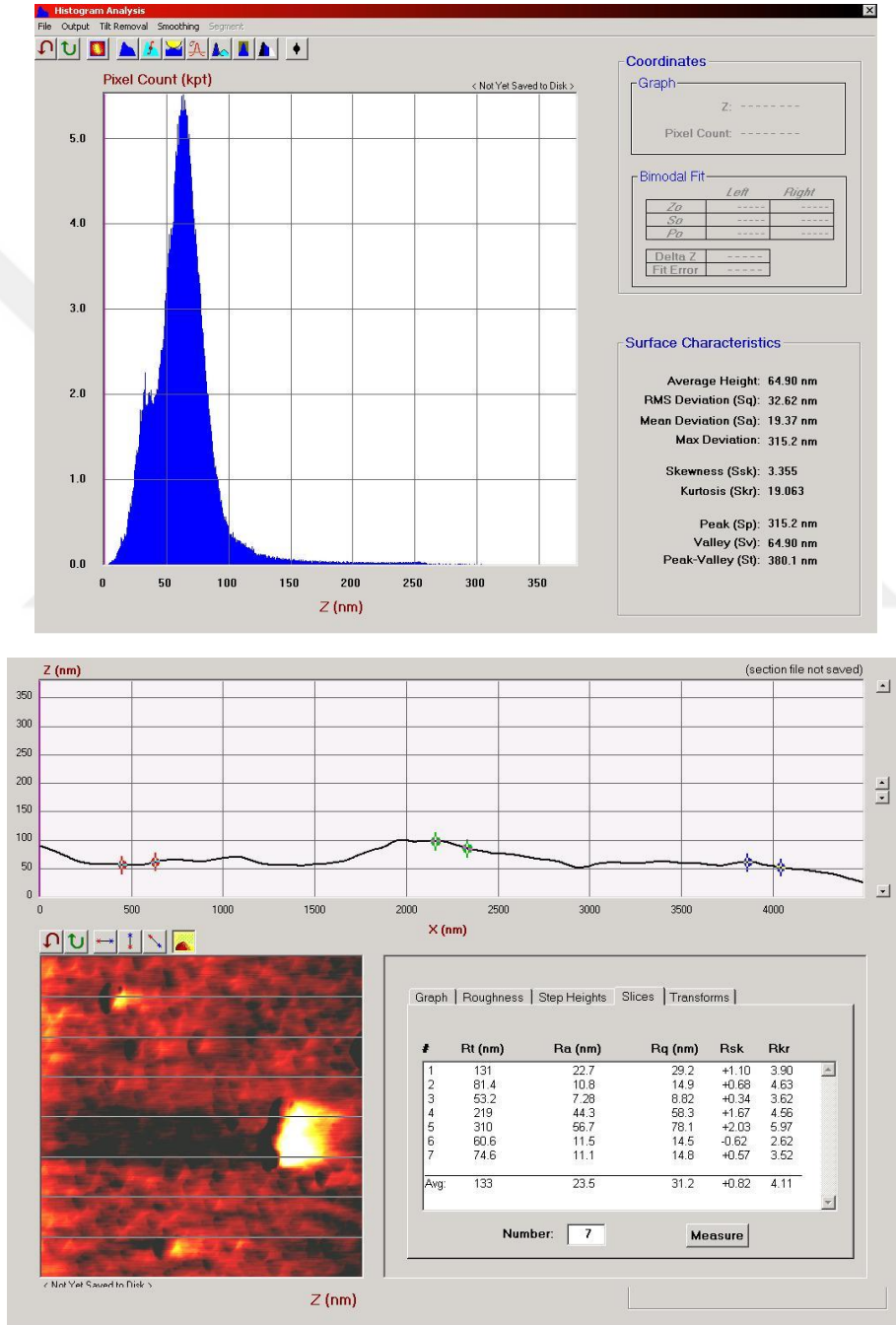
Şekil 4.12 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 3 için iki boyutlu AFM görüntüsü.



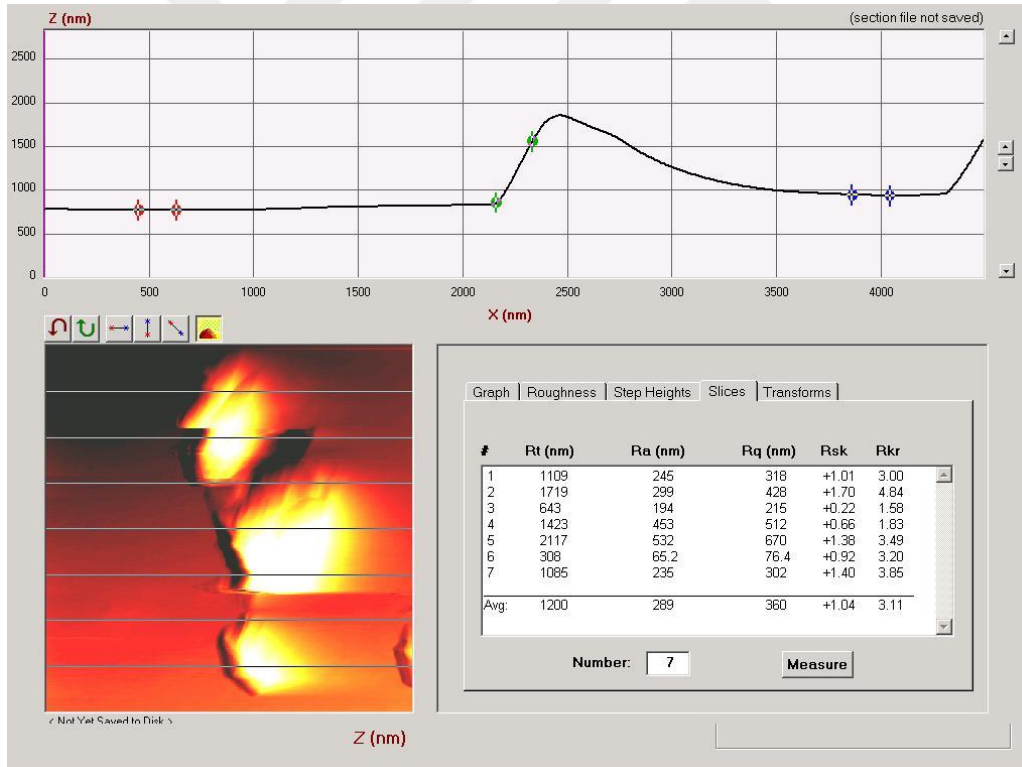
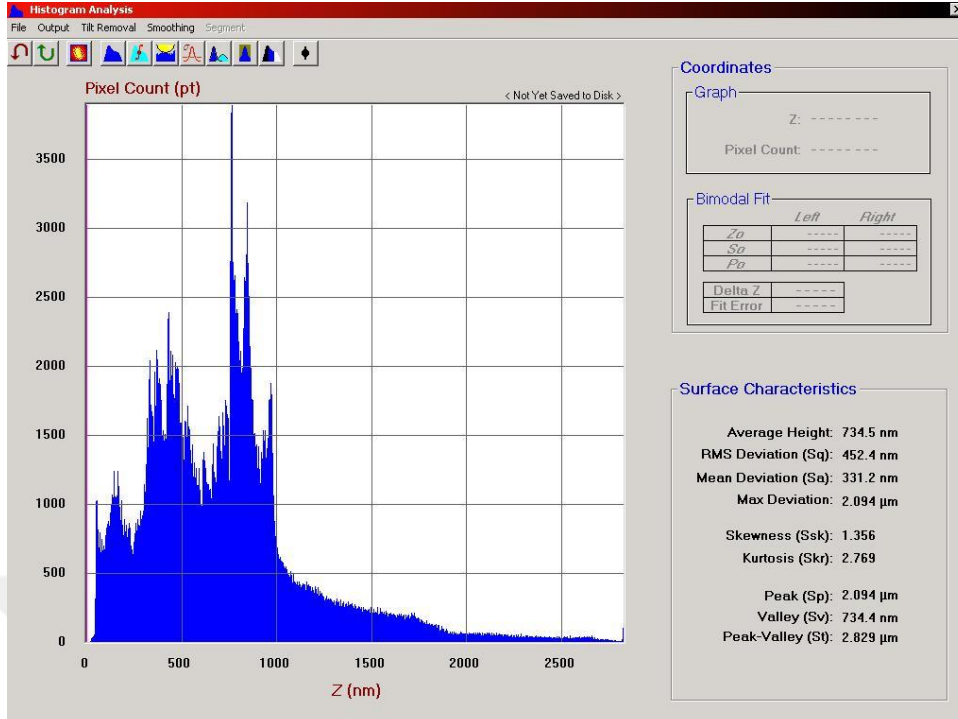
Şekil 4.13 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 3 için üç boyutlu AFM görüntüsü.

#### 4.4 Yüzey Pürüzlülük Analiz Sonuçları

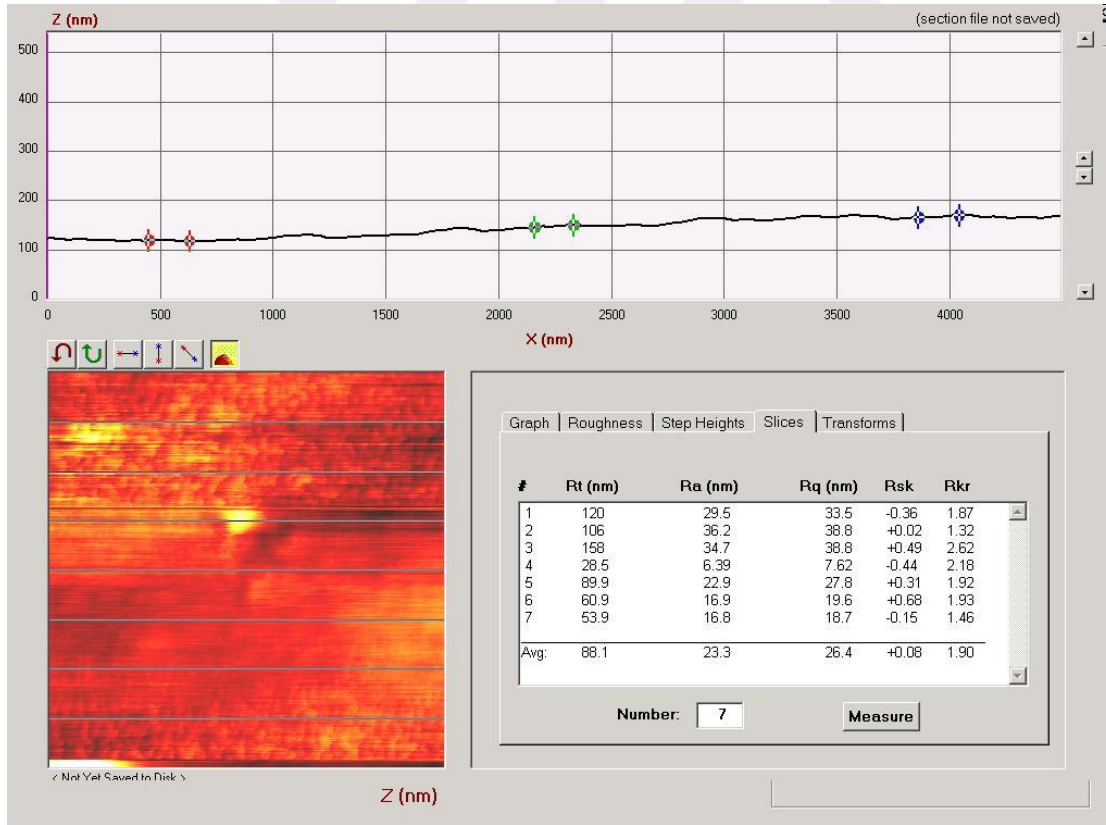
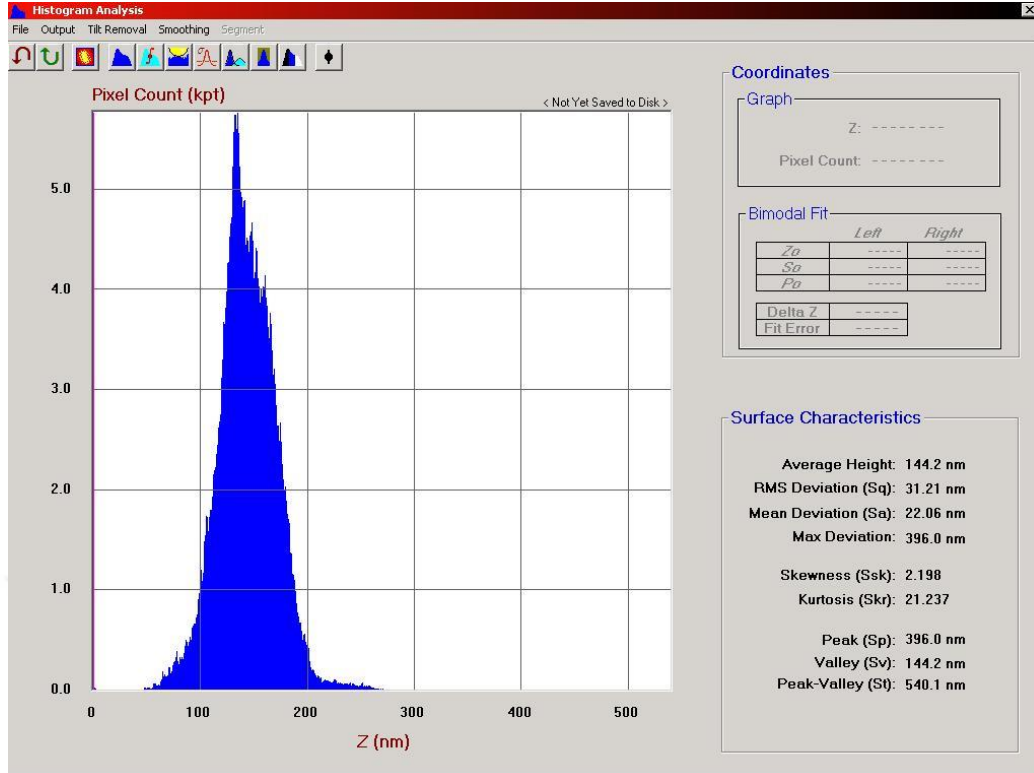
TVA tekniği ile farklı sürelerde üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin yüzey pürüzlülük analizleri Ambios marka Atomik Kütle Mikroskobu (AFM) cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan ölçümler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.14 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 1 için histogram ve yüzey pürüzlülüğü AFM görüntüleri.



Şekil 4.15 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 2 için histogram ve yüzey pürüzlülüğü AFM görüntüleri.



Şekil 4.16 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 3 için histogram ve yüzey pürüzlülüğü AFM görüntüleri.

Farklı Sürelerde üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde cam 1 B<sub>4</sub>C ince filmin tanecik boyutlarının 25 nm civarında, cam 2 B<sub>4</sub>C ince filmin tanecik boyutlarının 290 nm civarında ve cam 3 B<sub>4</sub>C ince filmin tanecik boyutlarının 25 nm civarında olduğu görülmektedir. Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri çizelge 4.1’ de detaylı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** Cam taban üzerine üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

	<b>Rt (nm)</b>	<b>Ra (nm)</b>	<b>Rq (nm)</b>	<b>Rsk</b>	<b>Rkr</b>
Cam 1	133	23,5	31,2	+0,82	4,11
Cam 2	1200	289	360	+1,04	3,11
Cam 3	88,1	23,3	26,4	+0,08	1,90

#### 4.5 Kalınlık ve Kırılma İndisi Analiz Sonuçları

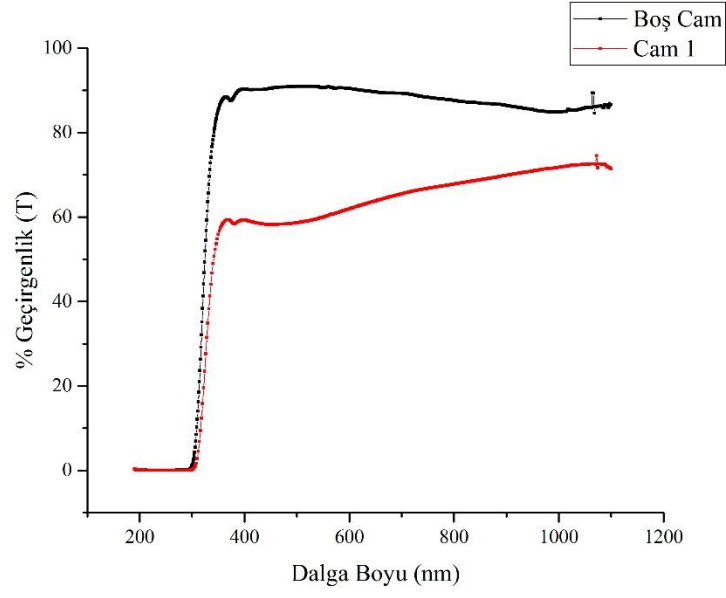
TVA tekniği ile üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin kalınlık ve kırılma indisi analizleri interferometrik ölçüm cihazı yardımı ile tayin edilmiştir. Yapılan ölçümler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Cam taban üzerine üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerinin kalınlık ve kırılma indisi sonuçları.

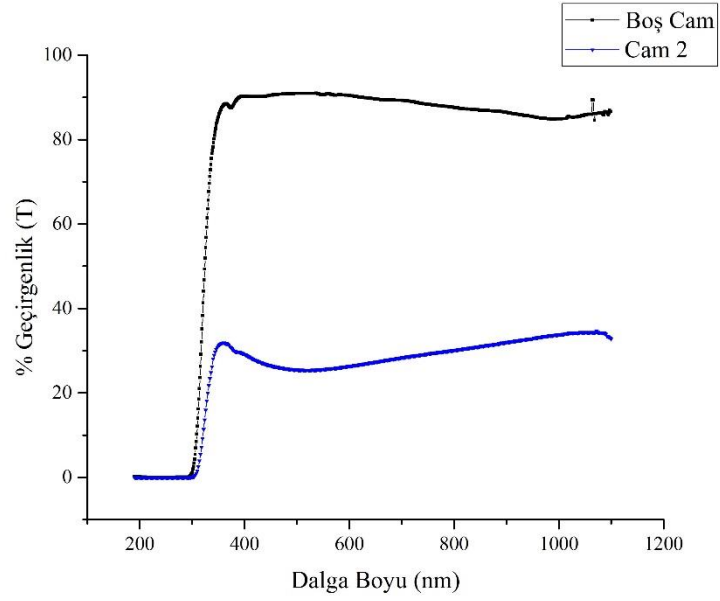
<b>Numuneler</b>	<b>Kalınlık (nm)</b>	<b>Kırılma İndisi</b>
Cam 1	5,31	3,25
Cam 2	23,73	3,60
Cam 3	27,97	3,67

#### 4.6 Uv-Vis Geçirgenlik Analiz Sonuçları

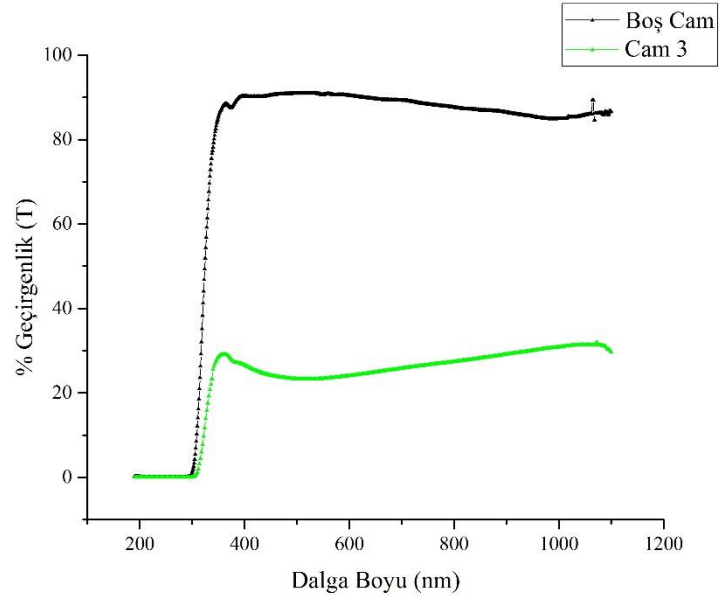
TVA tekniği ile üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin dalga boyuna göre geçirgenlik (T) değerleri Perkin Elmer marka UV-Vis Spektrofotometri Lambda 2S ölçüm cihazı(200-1200 nm) ile alınmıştır. Alınan ölçümlerin grafikleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



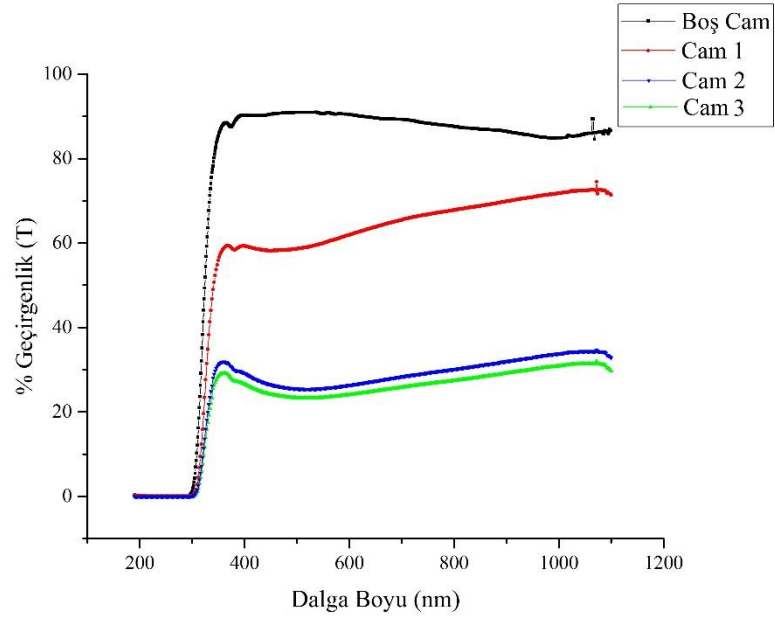
Şekil 4.17 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 1 için dalga boyu-geçirgenlik grafiği.



Şekil 4.18 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 2 için dalga boyu-geçirgenlik grafiği.



Şekil 4.19 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmin cam 3 için dalga boyu-geçirgenlik grafiği.



Şekil 4.20 Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerin dalga boyu-geçirgenlik grafiği.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yaptığımız çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Plazma Laboratuvarı ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Plazma Fiziği ve Teknolojileri Laboratuvarı ile burada geliştirilmiş olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi kullanılarak ilk kez cam üzerine B<sub>4</sub>C ince film üretimi ortak bir çalışma olarak gerçekleştirilmiştir.

B<sub>4</sub>C ince filmlerinin Termiyonik Vakum Ark (TVA) ile üretilmesi ilk defa cam üzerine bu çalışmada gerçekleştirilmiş ve bazı analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analiz sonuçlarına bakıldığında;

İnce filmlerin üretiminde kullanılan toz haldeki rhombohedral kristal yapıya sahip B<sub>4</sub>C malzemenin sıkıştırarak palet haline getirilip Termiyonik Vakum Ark (TVA) sisteminde potaya yerleştirilmesi ile sistemin çalıştırılması sonucu cam üzerine B<sub>4</sub>C ince filmler üretilmiştir. Üretilen ince filmlerin de rhombohedral yapıda olması beklenmiştir. B<sub>4</sub>C ince filmlerinin XRD analizleri  $\lambda=0,1540$  nm dalga boyuna sahip CuK $\alpha$  ışınları kullanılarak  $0^\circ < 2\theta < 70^\circ$  aralığında kırınım desenleri alınarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda ince filmlerin 100 nm' nin altında olması ve kullanılan XRD cihazının ince film aparatının bu kalınlıkta ince filmler için çok uygun olmaması nedeni ile elde edilen kırınım desenlerinde şiddetli kristal yapı piklerine rastlanmamıştır. Ancak yine de  $2\theta=32^\circ$  ve  $2\theta=36,5^\circ$  llerde küçükte olsa bir takım pikler tespit edilmiştir. Bunlarında B<sub>4</sub>C kristal yapıya ait pikler olduğu düşünülmektedir. Daha yüksek şiddete sahip pikler elde edebilmek için 100 nm üzerinde kalınlıklara sahip yeni B<sub>4</sub>C ince filmler üretilip tekrar bu analizlerin yapılması düşünülebilir.

Üretilen B<sub>4</sub>C ince filmlerden 3. numunenin SEM analizine bakıldığında 100 nm altında boyutlara sahip nanokristalize düzenli yapıların oluştuğunu gözlemledik. Bu da bize kaplamanın oldukça düzgün nanokristalize yapılardan oluştuğunu göstermektedir. TVA sistemi ile ilk kez yapılan B<sub>4</sub>C ince filmlerin bu analiz sonucunda çok düzgün bir şekilde elde edilebileceğini görmüş olduk. Böylelikle literatüre B<sub>4</sub>C ince film üretimi için TVA sisteminin de dâhil edilebileceğini kanıtlamış olduk.

EDS analizi sonucunda %99 oranında karbon (C) ve eser miktarda bor (B) gözlemlenmiştir. Bunun nedeni kaplamanın cam üzerine yapılması sebebi ile yüksek miktardaki karbon (C) ve silisyum oksit ( $\text{SiO}_2$ ) arasında bor eser miktarda kaldığı için EDS analizi sonucunda bor elementini yeterli miktarda gözlemleyemedik.

AFM analizi ile elde ettiğimiz sonuçlara bakıldığında 3. numune için elde edilen sonuçların SEM görüntüleri uyum içerisinde olduğu görülmektedir. 3. Numune için pürüzlülük değerlerine baktığımızda yaklaşık 25 nm civarında gözlemlenmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında 100 kx büyütmede bu değer ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Üretilen  $\text{B}_4\text{C}$  ince filmlerinin kalınlık ve kırılma indisleri analizlerine bakacak olursak kalınlıkların kırılma indisi değerleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Bu da bize ince filmlerin daha düşük kırılma indisine, kalın filmlerin ise daha yüksek kırılma indisine sahip olduklarını göstermektedir.  $\text{B}_4\text{C}$  ince filmlerin geçirgenlik eğrileri de filmlerin kalınlık değerleri ile ters orantılı şekilde değişmektedir. Yani kalınlık arttıkça filmlerin geçirgenlikleri azalmaktadır.

Sonuç olarak bir materyal plazması üretim sistemi olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi ile ilk kez cam üzerine  $\text{B}_4\text{C}$  ince filmleri üretilmiştir. Elde edilen ince filmlerin 100 nm altında ve nanokristalize yapılarda olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar bize bu sistem ile  $\text{B}_4\text{C}$  ince filmlerin düzgün nanokristalize yapıda kaplanabileceğini kanıtlamıştır. Böylelikle literatüre  $\text{B}_4\text{C}$  ince film üretimi için TVA sisteminin de dâhil edilebileceğini kanıtlamış olduk.

## 6. KAYNAKLAR

- Alaca, M. (1999). Bor Karbür Üretimi. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Afyonkarahisar.
- Aydın, S. (2010). Bor Tabanlı Kristal Yapıların Fiziksel Özellikleri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ahn, H.S., Cuong, P.D., Shin, K.H. and Lee, K.S. (2005). Tribological behavior of sputtered boron carbide coatings and the influence of processing gas. *Wear*, **259**: 807-813.
- Akan, T., Ekem, N., Pat, S., Issever, U.G., Balbag, M.Z., Cenik, M.I., Vladoiu, R. ve Musa, G. (2007). Boron Thin Film Deposition By Using Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology. *Materials Letters*, **61**: 23–26.
- Akan, T., Balbag, M.Z., Ekem, N., Karakaş, E., Pat, S., Cenik, M.İ. ve Musa, G. (2006). Bor Termiyonik Vakum Ark Deşarjda Gaz Depolama Etkisinin İncelenmesi. UGHEK': I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Bilgin, V. (2003). ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bor Enstitüsü. (2005). Bor Çalıştayı El Kitapçığı. Ankara.
- Balbağ, M., Z. (2009). Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile Magnezyum, Bor ve Magnezyumborür İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Chen, Y., Chung, Y.W. and Li, S.Y. (2006). Boron carbide and boron carbonitride thin films as protective coatings in ultra-high density hard disk drives. *Surface and Coatings Technology*, **200**: 4072-4077.
- Demir, C. (2006). Bor Minerallerinin Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Emrullahoğlu, Ö. F. (1999). İleri teknoloji seramikleri ders notları. Seramik Mühendisliği lisans dersi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar.
- Edwards, B. (2005). Vacuum & Pressure, Product Catalog.
- Ekem, N., Musa, G., Pat, S., Balbag, Z., Cenik, I. ve Vladoiu, R. (2008). Carbon thin film deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA). *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **10(3)**: 672 – 674.
- Evcin, A. (2006). Kaplama Teknikleri Ders Notları. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar.
- Geçkinli, A.E. (1992). İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Grill, A. (1994). Cold plasma in materials fabrications: From Fundamentals to Applications. The institute of electrical and electronics engineers, 1. edition, New York, USA.
- He, J.L., Shen, Z.Q., Wu, E., Liu, Z.Y., He, L.L., Yu, D.L., Guo, L.C., Wu, Q.H., Luo, X.G., Hu, Q.K., Li, D.C., Yanagisawa, O. and Tian, Y.J. (2007). Carbon-rich boron carbide in the eutectic product synthesized by resistance heating of B<sub>2</sub>CN in graphite. *Journal of Alloys and Compounds*, **437**: 238-246.
- Han, Z., Li, G., Tian, J. and Gu, M., (2002). Microstructure and mechanical properties of boron carbide thin films. *Materials Letters*, **57**: 899-903.
- Jacobsohn, L.G. and Nastasi, M. (2005). Sputter deposited boron carbide films: Structural and mechanical Characterization. *Surface and Coatings Technology*, **200(5-6)**: 1472-1475.
- Johnson, R. L. (2005) Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric micro-cantilevers. Master Thesis, Iowa State University, Electrical Engineering, Ames, Iowa.
- Kuşoğlu, İ. M. (2004). İleri Teknik Seramik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kosinova, M.L., Rumyantsev, Y.M., Golubenko, A.N., Fainer, N.I., Ayupov, B.M., Dolgovesova, I.P., Kolesov, B.A., Kaichev, V.V. and Kuznetsov, F.A. (2003).

Chemical composition of boron carbonitride films grown by plasma-enhanced chemical vapor deposition from trimethylamineborane. *Inorganic Materials*, **39(4)**: 366-373.

Kokkokoğlu M. (2010). RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Lattemann, M. and Ulrich, S. (2007). Investigation of structure and mechanical Properties of magnetron sputtered monolayer and multilayer coatings in the ternary system SiBC. *Surface and Coatings Technology*, **201**: 5564-5569.

Lousa, A., Martinez, E., Esteve, J. and Pascual, E. (1999). Effect of ion bombardment on the properties of B<sub>4</sub>C thin films deposited by RF sputtering. *Thin Solid Films*, **210**: 355-356.

Musa, G., Betiu, N., Mustata, I., Baltog, A. and Popescu, A. (1983). Low voltage arc welding in vacuum. *Review Roum Physics*, **28(10)**: 907-908.

Musa, G., Baltog, A., Popescu, A., Betiu, N. and Mustata, I. (1986). Electrical and spectral characteristics of a heated cathode-discharge in metal vapors. *Contrib Plasma Physics*, **26(3)**: 171-177.

Musa, G., Vladoiu, R., Ciupina, V., Lungu, C.P., Mustata, I., Pat, S., Akan, T. ve Ekem, N., (2006). Characteristics of boron thin films obtained by TVA technology, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **8(2)**: 617-620.

Ölçen, N. (2001). Bor Madeninin Enerji Alanındaki Önemi. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bursa.

Özkan, M. (2010). TVA Tekniği ile II-VI Grubu Bazı Yarıiletken Bileşiklerin İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Pejova, B. and Grozdanov, I. (2006). Structural and Optical Properties of Chemically Deposited Thin Films of Quantum-Sized Bismuth (III) Sulfide. *Materials Chemistry and Physics*, **99**: 39-46.

- Pascual, E., Martinez, E., Esteve, J. and Lousa, A. (1999). Boron carbide thin films deposited by tuned-substrate RF magnetron sputtering. *Diamond and Related Materials*, **8**: 402-405.
- Pat, S., Ekem, N., Akan, T., Kusmus, O., Demirkol, S., Vladoiu, R., Lungu, C.P. ve Musa, G. (2005). Study on Thermionic Vacuum Arc-A Novel and Advanced Technology For Surface Coating. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **7(5)**: 2495-2499.
- Shi, L., Gu, Y., Chen, L., Qian, Y., Yang, Z. and Ma, J. (2003). A Low Temperature Synthesis of Crystalline B<sub>4</sub>C Ultrafine Powders. *Solid State Communications*, **128(1)**: 5-7.
- Sezer, A.O. and Brand, J.I. (2001). Chemical vapor deposition of boron carbide. *Materials Science and Engineering: B*, **79(3)**: 191-202.
- Thevenot, F. (1990). Boron carbide—A comprehensive Review. *Journal of the European Ceramic Society*, **6(4)**: 205-225.
- Tarımcı Ç. ve Sarı H. (2006). Vakum Tekniği. Seçkin Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara.
- Tüzemen, E. S. (2007). ZnO İnce Filmlerinin Eldesi Ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ulrich, S., Theel, T., Schwan, J. and Ehrhardt, H. (1997). Magnetron sputtered superhard materials. *Surface and Coatings Technology*, **97**: 45-59.
- Vast, N., Lazzari, R., Besson, J.M., Baroni, S. and Corso Dal C. (2000). Atomic structure and vibrational properties of icosahedral  $\alpha$ -boron and B<sub>4</sub>C boron carbide. *Computational Materials Science*, **17**: 127-132.
- Wu, M.L., Kiely, J.D., Klemmer, T., Hsia, Y.T. and Howard, K. (2003). Process-property relationship of boron carbide thin films by magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, **449**: 120-124.
- Zhou, M.J., Wong, S.F., Ong, C.W. and Li, Q. (2007). Microstructure and mechanical properties of B<sub>4</sub>C films deposited by ion beam sputtering. *Thin Solid Films*, **516**: 336-339.

## İnternet Kaynakları

- 1-[http://w3.balikesir.edu.tr/~hguler/bor\\_kimyasi.htm#1.%20%C2%A0Bor](http://w3.balikesir.edu.tr/~hguler/bor_kimyasi.htm#1.%20%C2%A0Bor), 14.12.2016.
- 2-[https://www.webelements.com/carbon/crystal\\_structure.html](https://www.webelements.com/carbon/crystal_structure.html), 10.12.2016.
- 3-<http://malzemebilimi.net/altay-tankinin-en-buyuk-silahi-bor-karbur-boron-karbid-b4c-zirh.html>, 27.10.2016.
- 4-<http://www.bortechnic.com/tr/nukleer-kullanim.html>, 16.11.2016.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgün Ağar  
Doğum Yeri ve Tarihi : Keçiören / 26.02.1990  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0506 580 62 51 / ozgunagar090111045@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şehit Erkan Özcan Lisesi, (2004-2007)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fizik Bölümü, (2009-2014)  
Pedagojik Formasyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, (2014-2015)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, (2014-2017)  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı, (2014-2015)

### Bitirilen Lisans Tezi :

1. Ağar, Özgün (2014). Gıda Ürünlerinin Raf Ömürlerinin Sterilizasyon ile Uzatılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi

### Bitirilen Tezsiz Yüksek Lisans Tezi :

1. Ağar, Özgün (2016). Gürültü ile Oluşan İşitme Kayıpları ve Alınması Gereken Önlemler. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

### Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

1. AKYÜZ A.Ö., ÖZKAN M., AĞAR Ö. (2016). Çözelti Plazma Tekniği ile Polimer Degradasyonu: Viskozitenin Online İzlenmesi. SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, **6(2)**: 1-6.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler:

1. AĞAR Ö., (2016). Plazma Parametrelerinin “Hall Etkisi” ile Hesaplanması. IV. YUKPOP International Vacuum Workshop. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 28-30 Mart, 189. (Poster Sunum)
2. ÖZKAN M., AKYÜZ A.Ö., AĞAR Ö., KANTAR M. (2016). Investigation of Properties of ZnSe Nanocrystalline Thin Films by Produced TVA and RF Sputtering System. IV. YUKPOP International Vacuum Workshop. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 28-30 Mart, 187. (Poster Sunum)
3. ÖZKAN M., AKYÜZ A.Ö., AĞAR Ö., (2016). Development of Solution Plasma Process for Online Viscometric Monitoring of Polymer Degradation. 1<sup>st</sup> International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 21-22 April, 287. (Poster Sunum)
4. ÖZKAN M., AKYÜZ A.Ö., AĞAR Ö., ÇATALGİL-GİZ H., (2016). Polymerization of Acrylamide by Solution Plasma Process. 1<sup>st</sup> International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 21-22 April, 148. (Sözlü Sunum)
5. AĞAR Ö., ÖZKAN M., KANTAR M., AKYÜZ A.Ö., (2016). Boron Carbide (B<sub>4</sub>C) Thin Film Deposition on Glass Substrates By Thermionic Vacuum Arc Technique. Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress. Konacık, Bodrum, 6-9 September, 36. (Sözlü Sunum)
6. AKYÜZ A.Ö., ÖZKAN M., KANTAR M., AĞAR Ö., (2016). Effect of Electrohydraulic Plasma Discharge on Aqueous Polyvinylpyrrolidone Solution. Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress. Konacık, Bodrum, 6-9 September, 38. (Sözlü Sunum)

7. ÖZKAN M., KANTAR M., AKYÜZ A.Ö., AKARCA G., AĞAR Ö., AKTOP S., GÖK V., (2016). Sterilization of Water Inoculated With Staphylococcus Aureus by Solution Plasma Process. Turkish Physical Society 32nd International Physics Congress. Konacık, Bodrum, 6-9 September, 104. (Sözlü Sunum)

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler:

1. AĞAR Ö., ÖZKAN M., SATILMIŞ H., ÖZEN S., AKYÜZ A.Ö., (2015). Alüminyum Nitrür (AIN) İnce Filmlerin Radyo Frekansı Sıçratma Yöntemi İle Cam ve Silisyum Taban Üzerine Depolanması. Adım Fizik Günleri IV Bildirileri. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 28-29 Mart, 206. (Poster Sunum)