

**Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği İle Magnezyum, Bor ve Magnezyum
Borür İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi**

Mustafa Zafer Balbağ

DOKTORA TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Mayıs-2009

Production of Magnesium, Boron and Magnesium Diboride Thin Films Using
Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technique and Investigation of Some Physical
Properties

Mustafa Zafer Balbağ

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Physics

May-2009

TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ İLE MAGNEZYUM, BOR VE
MAGNEZYUM BORÜR İNCE FİLMLEİNİN ÜRETİLMESİ VE BAZI FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mustafa Zafer Balbağ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliğı Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Genel Fizik Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Naci EKEM

Mayıs - 2009

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Mustafa Zafer BALBAĞ' ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “**TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) TEKNİĞİ İLE MAGNEZYUM, BOR VE MAGNEZYUM BORÜR İNCE FİLMLEİNİN ÜRETİLMESİ VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğın ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Naci EKEM

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

Üye:

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bor ve magnezyum elementlerinin ince filmleri, Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile ilk kez üretilmiş ve bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir. Üretilen ince filmlerin TVA deşarj karakteristikleri ve morfolojik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, TVA ile üretilen bor ince filmlerden, Termal Buharlaştırma ve DC Magnetron Saçtırma teknikleri kullanılarak, magnezyum borür (MgB_2) ince filmleri elde edilmiş ve bu filmlerin kritik sıcaklıkları belirlenmiştir. Böylece TVA ile magnezyum ve bor elementlerinin saf ince filmlerinin üretimi incelenirken MgB_2 bileşiğinin bir ince filmi TVA katkısıyla üretilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, magnezyum ince filmlerin X-ışınları Difraksiyonu (XRD), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Difraksiyon X - Işını (EDX); bor ince filmlerin ise X-ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS), Yüksek Çözünürlüklü Geçirmeli Elektron Mikroskobu (HRTEM), AFM, SEM, EDX analizleri yapılmıştır. Magnezyum borür (MgB_2) ince film üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü arasındaki ortak çalışmayla elde edilmiştir. Elde edilen MgB_2 ince filmlerde süperiletkenlik özelliği gözlenmiş ve filmlerin özdirenç - sıcaklık (R-T) ölçümleri, XRD, SEM, EDX ve AFM analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum, Bor, Magnezyum Borür, MgB_2 , Kritik Sıcaklık

SUMMARY

Thin films of magnesium and boron elements were produced by Thermionic Vacuum Arc (TVA) technique for first time and some physical properties of its were investigated. TVA characteristics and morphological properties of produced thin films were searched. In addition, MgB₂ thin films were produced from these thin films by Thermal Evaporation and DC Magnetron Sputter methods and then critical temperatures of produced MgB₂ thin films were analyzed. Thus, while production of pure thin films of magnesium and boron elements were investigated by TVA, production of one MgB₂ thin film was realized with assistance of TVA.

In this study, thin films of magnesium were analyzed by X- ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray (EDX); thin films of boron were analyzed by X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), High Resolution Transmission Electron Microscopy (HRTEM), AFM, SEM, EDX. Production of magnesium diboride thin films were obtained with collaboration between Eskisehir Osmangazi University, Art and Science Faculty, Physics Department and İzmir Institute of Technology, Science Faculty, Physics Department. In produced MgB₂ thin films were observed some superconductivity feature and thin films were analyzed by XRD, SEM, EDX, Resistivity-Temperature (R-T) measurement and atomic force microscopy (AFM).

Keywords: Magnesium, Boron, Magnesium Diboride, MgB₂, Critic Temperature

TEŞEKKÜR

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

Sahip olduğu engin tecrübe ve bilgisi ile plazma fiziği alanında bize yeni ufuklar açan Sayın Prof. Dr. Geavit MUSA' ya, teorik ve deneysel çalışmalarımızdaki yardımı, yakın ilgisi ve desteği için teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım esnasında, çalışmalarımı yönlendiren, bana sürekli destek olan çok değerli hocalarım Sayın Prof. M. Selami KILIÇKAYA ve Sayın Doç. Dr. Özden TEZEL' e teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarımın analizleri sırasında bana yardımcı olan her türlü imkânı sağlayıp ilgisini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Salih OKUR' a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında her türlü yardım, ilgi ve dostluklarını esirgemeyen çok değerli arkadaşlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat PAT, Sayın Yrd. Doç. Dr. M. İlker CENİK, Sayın Arş. Gör. Dr. Gökhan KILIÇ ve Sayın Arş. Gör. Mehmet ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Elde edilen ince filmlerin XRD sonuçlarının alınmasında bana yardım eden IYTE' den, Sayın Arş. Gör. Serdal OKUR' a çok teşekkür ederim.

Tanıştığımız günden bu zamana, çalışma odamı paylaştığım, her zaman destek ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli ve çok sevdiğim arkadaşlarım Sayın Arş. Gör. Dr. Aslı GÖRGÜLÜ, Sayın Arş. Gör. Dr. Burcu ANILAN ve Sayın Canan KIRAÇ' a teşekkür ederim.

Bana her zaman sevgiyle yaklaşan, her zaman bana destek olan, beni büyütüp yetiştiren ve bugünlere gelmemde en fazla emekleri olan, çok değer verdiğim, canımdan çok sevdiğim Sevgili Annem ve Babama; bana her zaman destek ve yardımcı olan çok sevdiğim Sevgili Ağabeyim ve Kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. BÖLÜM: GİRİŞ.....	1
2. BOR ELEMENTİ, MAGNEZYUM ELEMENTİ ve MAGNEZYUM BORÜR(MgB₂) BİLEŞİĞİ' NİN ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1. Bor Elementi.....	5
2.1.1. Bor elementinin tarihçesi.....	5
2.1. 2. Bor elementinin yapısı ve bileşikleri.....	6
2.1.3. Bor elementinin atomik yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	7
2.1.3.1. <u>Atomik yapısı</u>	7
2.1.3.2. <u>Fiziksel özellikleri</u>	8
2.1.3.3. <u>Kimyasal özellikleri</u>	8
2.1.4. Dünya' daki bor rezervleri.....	9
2.1.5. Bor bileşiklerinin kullanım alanları.....	10

İÇİNDEKİLER(Devam)

2.2. Magnezyum elementi.....	11
2.2.1. Magnezyum elementinin tarihçesi.....	11
2.2.2. Magnezyum elementinin yapısı ve bileşikleri.....	11
2.2.3. Magnezyum elementinin atomik yapısı ve fiziksel, kimyasal özellikleri.....	13
2.2.3.1. <u>Atomik yapısı</u>	13
2.2.3.2. <u>Fiziksel özellikleri</u>	14
2.2.3.3. <u>Kimyasal özellikleri</u>	15
2.2.4. Magnezyum elementinin kullanım alanları.....	15
2.3. Magnezyum Borür Bileşiği.....	16
2.3.1. Magnezyum borür bileşiğinin tarihçesi.....	16
2.3.2. Magnezyum borür bileşiğinin yapısı.....	16
2.3.3. Magnezyum borür bileşiğinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	17
2.3.4. Magnezyum borür bileşiğinin kullanım alanları.....	19
3.BÖLÜM: VAKUMDA İNCE FİLM KAPLAMA TEKNİKLERİ.....	21
3.1. Termal Buharlaştırma Tekniği(Thermal Evaporation).....	22
3.2. Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği(e - Beam Evaporation).....	23
3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapor Deposition,CVD).....	25
3.4. Saçtırma(Sputtering) Tekniği.....	26
3.4.1. Radyo frekansı (RF) saçtırma tekniği.....	28

İÇİNDEKİLER(Devam)

3.4.2. Doğru Akım(DC) Saçtırma tekniği.....	29
3.4.3. RF magnetron saçtırma tekniği.....	29
3.4.4. Doğru Akım (DC) magnetron saçtırma tekniği.....	30
3.5. Moleküler Demetli Epitaksi Tekniği(Moleculer Beam Epitaxy, MBE).....	30
4. BÖLÜM: TERMİYONİK VAKUM ARK(TVA).....	33
4.1. TVA Sistemi.....	33
4.2. TVA Deşarj.....	39
4.3. TVA Tekniğinin Bilimsel Özellikleri ve Getirdiği Yararlar.....	42
4.4. TVA' da Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri.....	43
5. BÖLÜM:DENEYSEL ÇALIŞMA VE ANALİZ SONUÇLARI.....	45
5.1. Bor İnce Filmlerin Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği İle Üretilmesi.....	45
5.1.1. Pota materyali.....	45
5.1.2. Bor deneylerinde deşarj sırasında tungsten filamentin durumu.....	49
5.1.3. Bor ince filmlerin termiyonik vakum ark (TVA) tekniği üretim parametreleri.....	50
5.1.4. Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği ile üretilen bor ince filmlerin analizleri.....	52
5.2. Magnezyum İnce Filmlerin Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile Üretilmesi.....	61
5.2.1. Magnezyum ince filmlerin TVA tekniğinde üretim parametrelere.....	61

İÇİNDEKİLER(Devam)

5.2.2. TVA tekniği ile üretilen magnezyum ince filmlerin analizleri.....	64
5.3. Magnezyum Borür (MgB_2) İnce Filmlerinin TVA Tekniği Katkısıyla Üretilmesi.....	67
5.3.1. MgB_2 ince film üretiminde alttaşın belirlenmesi.....	68
5.3.2. MgB_2 ince film üretiminde I. katman magnezyum ince filmin üretilmesi.....	69
5.3.3. MgB_2 ince film üretiminde II. katman bor ince filmin üretilmesi.....	71
5.3.4. MgB_2 ince film üretiminde III. katman magnezyum ince filmin üretilmesi.....	72
5.3.5. MgB_2 ince film üretiminde üç katmanlı (sandviç) filmin tavlama işlemi.....	74
5.3.6. Üretilen MgB_2 ince filmlerinin analizleri.....	76
6. BÖLÜM: SONUÇ,TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bor elementinin kristal yapısı	6
2.2 Magnezyum elementinin kristal yapısı	12
2.3 Magnezyum borür (MgB ₂) bileşiğinin kristal yapısı.....	17
3.1 Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.....	22
3.2 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi.....	24
3.3 Kimyasal buhar biriktirme (CVD) sisteminin basit şematik gösterimi.....	25
3.4 Saçtırma işleminin şematik gösterimi.....	26
3.5 Saçtırma sisteminin şematik gösterimi.....	27
3.6 Radyo frekansı (RF) saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi.....	28
3.7 Radyo frekansı (RF) magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi.....	30
3.8 Moleküler demetli epitaksi (MBE) düzeneğinin şekilsel bir gösterimi.....	31
4.1 Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminin şematik çizimi.....	34
4.2 Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminin fotoğrafı.....	35
4.3 Doğrudan ısıtmalı katodun şematik gösterimi.....	36
4.4 Doğrudan ısıtmalı katodun fotoğrafı.....	36
4.5 Anot metaryalinin buharlaştırılması.....	40
4.6 Düşük erime sıcaklığına sahip materyaller için termiyonik vakum ark (TVA) sisteminin fotoğrafı.....	40
4.7 Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde bor' un plazması.....	41
4.8 Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde magnezyum' un plazması.....	41
5.1 Tungsten Pota.....	46
5.2 Molibden Pota.....	46
5.3 Farklı şekillerdeki grafit potalar.....	47
5.4 Silindirik grafit pota kullanımı.....	48
5.5 Değişik şekillerde grafit potalar.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6 Camsı karbon pota kullanımı.....	49
5.7 Deşarj sonrasında tungsten filamentin durumu.....	49
5.8 İnce film üretimi esnasında bor plazmasının fotoğrafı.....	51
5.9 Bor elementinin termiyonik vakum ark (TVA) deşarjının akım-voltaj grafiği.....	51
5.10 Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde cam üzerine kaplanan bor ince filmlerin fotoğrafı.....	52
5.11 Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde oluşturulan bor ince filmin X-ışınları fotoelektron spektroskopisi(XPS) grafiği.....	53
5.12 Bor ince filmin yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu (HRTEM) görüntüsü	55
5.13 Elektron difraksiyon izleri	55
5.14 Bor ince filminin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü.....	56
5.15 Bor ince filmlerin başka bir atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü	57
5.16 Bor ince filmlerin 2000X büyütmede taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü.....	59
5.17 Bor ince filmlerin 4000X büyütmede taramalı elektron mikroskobunda başka bir (SEM) görüntüsü.....	60
5.18 Depolama esnasında magnezyum' un plazması.....	62
5.19 Magnezyum elementinin termiyonik vakum ark (TVA) deşarjının akım-voltaj grafiği.....	63
5.20 Elde edilen magnezyum elementinin ince filminin fotoğrafı.....	63
5.21 Magnezyum elementi ince filmlerinin X- ışınları difraksiyonu (XRD) grafiği.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.22	Magnezyum elementinin ince filmlerinin 10000x büyütmede taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü..... 66
5.23	Magnezyum elementinin ince filmlerinin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü..... 67
5.24	Termiyonik vakum ark(TVA) tekniği ile farklı alttaşlar üzerine kaplanan MgB ₂ filmler..... 69
5.25	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (IYTE)' de bulunan leybold univex 300 marka termal buharlaştırıcı..... 70
5.26	MgB ₂ ince filmin I. katman (magnezyum) ' lı yapısı..... 70
5.27	MgB ₂ ince filmin I. katman (magnezyum), II. katman (bor) ' lı yapısı 71
5.28	Bor' un depolanmasında termiyonik vakum ark (TVA) sisteminin şematik gösterimi..... 72
5.29	MgB ₂ ince filmin I. katman (magnezyum), II. katman (bor), III. Katman (magnezyum) ' lı yapısı..... 73
5.30	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (IYTE)' de bulunan doğru akım(DC) magnetron saçtırma sistemi..... 74
5.31	Tavlama sisteminin şematik çizimi..... 75
5.32	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (IYTE)' de bulunan tavlama sisteminin resmi..... 75
5.33	Cam Taban üzerinde üretilen süperiletken magnezyum borür (MgB ₂) ince filmi ve ticari olarak satılan toz MgB ₂ mukayesesi için X- ışınları difraksiyonu (XRD) sonuçları..... 76
5.34	Cam taban üzerindeki magnezyum borür (MgB ₂) ince filmi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü..... 78
5.35	Süperiletken magnezyum borür (MgB ₂) ince filmin cam taban üzerindeki özdirenç (R) – Sıcaklık (T) eğrisi..... 79

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Endüstriyel açıdan önemli olan bor bileşikleri ve kimyasal formülleri.....	7
2.2 Bor elementinin atomik yapısı	7
2.3 Bor elementinin bazı fiziksel özellikleri	8
2.4 Bor elementinin bazı kimyasal özellikleri.....	9
2.5 Dünyadaki toplam bor rezervleri.....	9
2.6 Magnezyum' un yaygın bileşikleri.....	13
2.7 Magnezyum elementinin atomik yapısı.....	13
2.8 Magnezyum elementinin fiziksel özellikleri.....	14
2.9 Magnezyum elementinin kimyasal özellikleri.....	15
2.10 Magnezyum borür (MgB ₂)' nin süperiletken parametrelerinin listesi.....	19
4.1 Çeşitli elementler için gerekli pota materyali ve erime noktaları.....	37
5.1 X - ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi sonucunda bor ince filmin üzerindeki bulunan elementlerin yüzde atom sayıları oranları.....	54
5.2 Bor ince filmlerin enerji difraksiyon X - ışını (EDX) sonuçları.....	58
5.3 Magnezyum ince filmlerinin enerji difraksiyon X-ışını (EDX) sonuçları.....	65
5.4 Magnezyum borür (MgB ₂) ince filmlerin enerji difraksiyon X - ışını (EDX) sonuçları.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a, b, c	Örgü parametrisleri
° C	Santigrad derece
° K	Kelvin derece
ξ_{ab}	Koherens uzunluğu
α_T	İzotop etkisi
λ	Nüfuz derinliği
Δ	Enerji aralığı
$\mu\Omega$	Mikroohm
ρ	Yoğunluk
μA	Mikroamper

Kısaltmalar

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
BCS	Bardeen- Cooper - Schrieffer
bkz	Bakınız
DC	Doğru akım
EDX	Enerji difraksiyon X - ışını
ESOGU	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
et al.	Ve diğerleri
g	Gram
HRTEM	Yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
HV	Yüksek voltaj
I_f	Filament akımı
INFLPR	Natioanal Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics
IYTE	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
J_c	Kritik akım yoğunluğu
Kbar	Kilo bar
mm	Milimetre
nm	Nanometre
n_s	Taşıma yoğunluğu
RF	Radyo frekansı
R-T	Direnç-sıcaklık
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
T_c	Kritik sıcaklık
TVA	Termiyonik vakum ark
Wt %	Yüzde ağırlık
XRD	X-ışınları difraksiyonu
XPS	X-ışınları fotoelektron spektroskopisi

1. GİRİŞ

Plazma, maddenin katı, sıvı, gaz hallerinden oldukça farklı özelliklere sahip olması nedeniyle maddenin dördüncü hali olarak tanımlanır. Plazma; elektriksel olarak nötral olan ve rastgele doğrultularda birlikte hareket eden, hemen hemen eşit yoğunluktaki pozitif ve negatif yüklü parçacıklar topluluğundan oluşur (Grill, 1993).

Plazmanın sahip olduğu özelliklerin çokluğu onu teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda ön plana çıkarmaktadır. Plazma; materyallerin plazma işlemleri, savunma sanayi, uçak sanayi, otomobiller, biyomedikal, bilgisayar, tehlikeli ve zararlı atık arıtma, roket ve uzay gemilerinin fırlatılması ve yörünge korunması, telekomünikasyon, kâğıt sanayi, tekstil sanayi, güneş enerjisi ve optik gibi teknolojinin birçok alanında ve füzyon reaktörü araştırmalarında kullanılmaktadır (Eliezer and Eliezer, 2001).

Materyallerin özelliklerini geliştirmek ve yüzeyler üzerine kaplamalar yapmak için bugüne kadar çok sayıda teknoloji kullanılmıştır. Bugünkü yüksek teknolojilere ulaşmada kaplama teknolojilerinin büyük payı vardır. Kaplama teknolojilerindeki farklılıklar ve kaplama sırasındaki çeşitli işlemler sonucu, hacimli malzemede bulunmayan birçok özellik bu malzemelerin ince filmlerinde oluşturulabilmektedir. Kaplama teknolojileri içinde plazma kullanımı oldukça yaygındır. Plazma kaplama teknolojisi kullanılarak birçok element ve bileşiğin ince film olarak kaplanması gerçekleştirilebilmektedir. Vakumda ince film kaplamalarının oluşturulmasında; termal buharlaştırma, elektron demetli buharlaştırma (e-beam), kimyasal buhar biriktirme (CVD), RF saçtırma, RF magnetron saçtırma, moleküler demetli epitaksi (MBE), termiyonik vakum ark (TVA) gibi pek çok teknik kullanılmaktadır. Bu çalışmada bir plazma kaplama teknolojisi olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) kullanılarak bor, magnezyum ve magnezyum borür ince filmler üretilmiştir.

Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi ilk kez 1983 yılında, INFLPR (National Institute For Laser, Plasma and Radiation Physics, Bükreş, Romanya) 'den Düşük Sıcaklık Plazma Fiziği Grubu tarafından gerçekleştirilmiştir (Musa et al., 1983).

Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği diğer ince film kaplama tekniklerine oranla elde edilen ince filmlerin kalitesi yönünden oldukça avantajlıdır. Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile katottan yayınlanan elektronlar, uygulanan yüksek voltaj ile hızlandırılmakta ve deşarjı oluşturulacak anot materyalinin iyonlarının enerjisini arttırmaktadır. İyonların enerjisi bu teknik ile kontrol edilebilmektedir. Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile kaplamalarda enerjitik iyonlar, kaplanacak alttaşın içine nüfuz etmektedir. Yüksek enerjili iyonlarla oluşturulan ince filmlerin yüzeyleri oldukça pürüzsüz, düz ve sıkıdır.

Periyodik tablonun III A gurubunda yer alan bor, tabiatta hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. Bileşikler halinde bulunur. Bor'un çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor; cam, seramik, nükleer, elektrik-elektronik ve bilgisayar, otomobil, ilaç ve kozmetik, tıp, kimya, deterjan, kâğıt, inşaat çimento, enerji, tekstil, tarım sanayinde, metalürjide, askeri ve zırhlı araçlarda, iletişim araçlarında, mıknatıslar, fotoğrafçılık, kompozit malzemeler, spor malzemeler, manyetik cihazlar ve mumyalama gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Bor Enst., 2005).

Magnezyum oksitlenmeye çok yatkın bir elementtir. Bu yüzden doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. Magnezyumun' un farklı elementlerle oluşturduğu çeşitli bileşikler, endüstrinin birçok alanında örneğin, süperiletkenlik uygulamalarında, ilaç sektöründe, araba ve uçak sanayinde vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Magnezyum'un bor ile birlikte oluşturduğu magnezyum borür (MgB_2) bileşiği, süperiletken özellik göstermekle birlikte, yüksek T_c kritik sıcaklığı, basit kristal yapısı, geniş koherans uzunluğu özelliklerinden dolayı mevcut süperiletkenlik uygulamaları için yeni bir alternatif bileşik olmuş ve teknolojide uygulanabilirlik potansiyelini gündeme getirmiştir (Buzea and Yamashita, 2001).

Bor ve magnezyum elementlerinden oluşan ve 1950' li yıllardan beri bilinen magnezyum borür (MgB_2) bileşiğinin, süperiletkenlik özelliği, 2001 yılında Japonya'da

düzenlenen bir konferansta Akimitsu ve arkadaşları tarafından ortaya konmuştur (Nagamatsu et al., 2001). İntermetalik bir bileşik olan MgB_2 ' nin kritik sıcaklığının, diğerlerine göre oldukça yüksek olması, MgB_2 ' yi birçok özellik bakımından ilginç bir bileşik olarak gündeme getirmiş ve bilim dünyasında büyük bir yankı uyandırmıştır (Buzea and Yamashita, 2001).

Magnezyum element halde süperiletken özellik göstermemektedir (Buzea and Yamashita, 2001). Bor ise element olarak basınç altında 11,2 °K' lik bir kritik sıcaklıkta süperiletken özellik göstermektedir (Eremets, 2001). Bor elementi, I. tip bir süperiletkendir. Magnezyum ve bor' un bir araya gelerek oluşturduğu magnezyum borür(MgB_2) bileşiğinin süperiletken özellik göstermesi onun birçok süperiletkenlik uygulamasında kullanılabilirliğini gündeme getirmiştir. Magnezyum borür(MgB_2) II. tip bir süperiletkendir (Buzea and Yamashita, 2001).

İster element olsun ister bileşik (ya da alaşım) bazı maddeler belli bir kritik sıcaklığın altında elektriği mükemmel iletirler. Bu maddelere süperiletken denilmektedir. Süperiletkenlik, 1911 yılında mutlak sıfırın birkaç derece üstündeki sıcaklıklarda cıvanın özelliklerini incelerken, 4,2 °K gibi kritik bir sıcaklıkta öz direncin aniden sıfıra düştüğünün gözlemesiyle başlamıştır. Süperiletkenlik periyodik sistemdeki pek çok metalik elementin yanı sıra bazı alaşımlarda, arametale bileşiklerinde ve yarıiletkenlerde gözlenebilir. Süperiletkenlik teknolojisi, enerji nakil hatları, kuvvetli mıknatıslar, maglev trenleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Serway, 1996).

Bu çalışmada, yeni ve farklı bir teknoloji olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile bor, magnezyum ve magnezyum borür (MgB_2) ince filmleri üretilmiş, üretilen ince filmlerin analizleri yapılarak, bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde bor ve magnezyum elementlerinin ve magnezyum borür bileşiğinin yapıları, özellikleri ifade edilmiştir. Üçüncü bölümde vakumda ince film kaplama teknikleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde, yeni bir teknoloji olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) sisteminin yapısı, çalışma prensibi ve özellikleri

anlatılmıştır. Beşinci bölümde bor, magnezyum ve MgB_2 ince filmlerinin kaplanması ve bu sırada karşılaşılan durumlar, elde edilen bor, magnezyum ve MgB_2 ince filmlerin analiz sonuçlarının ifade edildiği deneysel çalışma kısmı anlatılmıştır. Altıncı bölümde tartışma ve sonuçlara yer verilmiş elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yedinci ve son bölümde ise kaynaklar dizinine yer verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı,

- i) Bor elementinin Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile ilk kez ince film olarak üretimini gerçekleştirmek ve elde edilen bor ince filmlerin bazı fiziksel özelliklerini incelemek,
- ii) Magnezyum elementinin Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile ilk kez ince film olarak üretimini gerçekleştirmek ve elde edilen magnezyum ince filmlerin, bazı fiziksel özelliklerini incelemek,
- iii) Magnezyum borür' ün bir ince filmini, TVA kaplama yöntemini kullanarak ilk kez üretmek, bu üretim sürecinde, TVA sisteminin, işlemin hangi aşamalarında kullanılabileceği araştırmak,

şeklinde özetlenebilir.

2. BOR ELEMENTİ, MAGNEZYUM ELEMENTİ ve MAGNEZYUM BORÜR(MgB₂) BİLEŞİĞİ' NİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Bor Elementi

2.1.1. Bor elementinin tarihçesi

Tarihte ilk olarak 4000 yıl önce Babiller, Uzak Doğu' dan bor bileşiği olan boraksı ithal etmiş ve bunu altın işletmeciliğinde kullanmışlardır. Bor bileşikleri, Sümerler ve Etiler tarafından altın ve gümüş işçiliğinde, Mısırlılar tarafından mumyalamada, tıpta ve metalurji uygulamalarında, Çinliler tarafından seramik ve cam üretiminde, eski Yunanlılar ve Romalılar tarafından da temizlik maddesi olarak kullanılmıştır. Bazı bor bileşikleri, Arap doktorlar tarafından M.S. 875 yılında ilaç olarak ilk kez kullanılmıştır (Ölçen, 2001; Bor Enst., 2005).

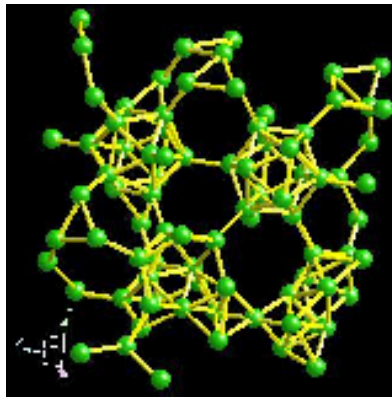
1808 yılında Humphry Davy, Gay - Lussac ve L. J. Thenard tarafından ilk defa % 50 saflıkta bor elde edilmiştir. Fakat bu kişiler bu maddeyi element olarak tanımlayamamışlardır. 1824 yılında Jöns Jacob Berzelius tarafından ilk kez element olarak tanımlanmıştır. Saf bor element üretimi, ilk kez Amerikalı kimyacı W. Weintraub tarafından 1909 yılında elde edilmiştir (<http://www.kimyaevi.org/elementler/bor/bor.asp>).

Modern bor endüstrisi 13. yy.' da Marco Polo tarafından Tibet' ten Avrupa'ya bazı bor bileşiklerinin getirilmesiyle başlamıştır. 1771 yılında, İtalya'nın Tuscani bölgesindeki sıcak su kaynaklarında bir bor bileşiği olan sassolit bulunduğu anlaşılmış 1852 yılında Şili' de endüstriyel anlamda ilk boraks madenciliği başlamıştır. Nevada, California, Caliko Moutain ve Kramer yöresindeki yatakların bulunarak işletilmeye alınmasıyla ABD dünya bor gereksinimini karşılayan birinci ülke olmuştur (Baykal, 1999).

Türkiye’ de ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizannamesi 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).

2.1.2. Bor elementinin 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 minerali olduğu bilinmektedir (Bor Enst., 2005).



Şekil 2.1. Bor elementinin kristal yapısı

(http://www.webelements.com/boron/crystal_structure.html)

Endüstriyel açıdan önemli bor bileşikleri arasında boraks (tinkal, sodyum kökenli bor bileşikleri), kolemanit (kalsiyum kökenli bor bileşikleri), üleksit (sodyum-kalsiyum 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 Enst., 2005).

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

Tinkal (Boraks):	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Kernit:	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Kolemanit:	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Üleksit:	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Probertit:	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Datolit:	CaBSiO_4OH
Hidroborasit:	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

2.1.3. Bor elementinin atomik yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri

2.1.3.1. Atomik yapısı

Bor elementinin atomik yapısına bakıldığında rhombohedral bir kristal yapıya sahip olduğu görülmektedir. Atomik çapı, $1,17 \text{ \AA}$ dür. Çizelge 2.2' de bor elementinin atomik yapısı ile ilgili bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bor elementinin atomik yapısı (Bor Enst., 2005).

Atomik Çapı:	$1,17 \text{ \AA}$
Kristal yapısı:	Rhombohedral
Elektron Konfigürasyonu:	$1s^2 2s^2 p^1$
Elektron Sayısı (yüksüz):	5
Nötron Sayısı:	6
Proton sayısı:	5
Valans Elektronları:	$2s^2 p^1$

2.1.3.2. Fiziksel özellikleri

Bor elementinin fiziksel özelliklerine bakıldığında 2573 °K' lik yüksek bir erime noktasına sahiptir. Oda sıcaklığında katı haldedir. Görünüş itibariyle sarı-kahverengimsi bir renktedir(Bor Enst., 2005). Bor elementi basınç altında süperiletken özellik gösterir. Kritik sıcaklığı 11,2 °K' dir(Eremets, 2001). Çizelge 2.3' de bor elementinin bazı fiziksel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.3. Bor elementinin bazı fiziksel özellikleri

(Bor Enst., 2005; <http://nautilus.fis.uc.pt/>).

Atomik Kütle:	10,8 g·mol ⁻¹
Kaynama Noktası:	4275 °K
İletkenlik:	Elektriksel: 0,56x10 ⁻⁴ Ω ⁻¹ m ⁻¹ (298 °K de) Termal: 27 W m ⁻¹ K ⁻¹ (300 °K de)
Yoğunluk:	2,34 g.cm ⁻³ (300 °K' de)
Görünüş:	Sarı-Kahverengi
Erime Noktası:	2573 °K
Fiziksel Durumu:	Katı

2.1.3.3. Kimyasal özellikleri:

Bor elementinin kimyasal özelliklerine bakıldığında iyonizasyon potansiyelleri; sırasıyla 8,298 eV; 25,154 eV ve 37,93 eV olarak görülmektedir (Bor Enst., 2005). Çizelge 2.4' de bor elementinin kimyasal özelliklerinden birkaçı verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bor elementinin bazı kimyasal özellikleri

(Bor Enst., 2005; <http://nautilus.fis.uc.pt/>).

İyonizasyon potansiyeli:	Birinci: 8,298 eV İkinci: 25,154 eV Üçüncü: 37,93 eV
Buharlaştırma ısısı:	538,9 kJ/mol
İş fonksiyonu:	4,75 eV

2.1.4. Dünya' daki bor rezervleri

Bor mineralleri değişen oranlarda B₂O₃ içeren minerallerdir. Bor minerali rezervleri dünyada başlıca üç kuşakta oluşmuştur. Bu bölgeler ABD'nin güneybatı bölgesi Mojave çölü, Güney-Orta Asya Alp kuşağı (Türkiye dahil), Güney Amerika And kuşağıdır(Bor Enst., 2005).

Çizelge 2.5. Dünyadaki toplam bor rezervleri (Bor Enst., 2005).

Ülke	Toplam Rezerv (Ton)	%
Türkiye	563.000	64
ABD	80.000	9
Rusya	100.000	11
Çin	36.000	4
Şili	41.000	4
Bolivya	15.000	2
Peru	22.000	3
Arjantin	9.000	1
Kazakistan	15.000	2
TOPLAM	885.000	100

2.1.5. Bor bileşiklerinin kullanım alanları

Bor bileşiklerinin kullanım alanlarına bakıldığında çok geniş olarak uygulamalarda kullanıldıkları görülmektedir. Bu kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Bor Enst., 2005):

- Ulaşımında; bor' un magnezyumla birleşmesi sonucu oluşturduğu MgB_2 bileşiğinin süperiletken özellik göstermesi sonucu, Maglev trenlerinde,
- Elektronik ve bilgisayar alanında; bor' un magnezyumla birleştiğinde MgB_2 süperiletken bileşiği oluşturması ve ısı problemini ortadan kaldırması nedeniyle mikroçip, LCD ekran, CD-sürücü, batarya üretimi vb. elektronik cihazlarda,
- Askeri alanda; bor'un başka bir bileşiği olan bor karbür, kullanılan, malzemeye zarar vermeden sertlik ve dayanıklılık sağladığı için askeri zırhlı araçlarda, zırh ve seramik malzemelerin yapımında, silah namlularında,
- Cam sanayinde; bor bileşiklerinden borik asit, susuz boraks, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, kolemanit, yüksek ısı, titreşim ve ısı şokuna karşı dayanıklılık sağladığı için cam üretiminde,
- Fotoğrafçılık ve görüş sistemleri alanında; sağlamlık artırıcı olması nedeniyle, borik asit ve sodyum metaborat kullanılarak, kamera, mercek ve dürbün imalatında,
- İlaç ve kozmetik alanında; mikrop öldürücü özelliğinden ötürü boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat kullanılarak, dezenfekte edici, lens solüsyonu, kolonya, parfüm, şampuan yapımında,
- İnşaat sektöründe; borik asit kullanılarak mukavemet artırıcı olarak, ısı ve ses yalıtımında, ahşap malzeme koruyucusu, alev geciktirici, boya ve vernik kurutucusu olarak,

- Kâğıt sanayinde, sodyum borhidrür kullanılarak kâğıtların beyazlatılmasında,
- Nükleer sanayinde; borik asit, bor karbür kullanılarak, reaktör aksamaları, reaktör kontrol çubukları, nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve atık depolayıcılarda,
- Otomobil sanayinde; borik asit kullanılarak, hava yastıklarında, hidroliklerde, plastik aksamalarda, yağlarda ve metal aksamalarda, ısı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla,
- Tarım sektöründe; boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat kullanılarak, gübre, böcek öldürücü ve mikrobeseleyici olarak,
- Uzay ve Havacılık sanayinde; borik asit, boraks dekahidrat ve boraks pentahidrat kullanılarak, sürtünmeye-aşınmaya dayanıklı malzemeler, roket yakıtı, uydular, uçaklar, helikopterler, balonların yapımında kullanılmaktadır (Bor Enst., 2005).

2.2. Magnezyum Elementi

2.2.1. Magnezyumun elementinin tarihçesi

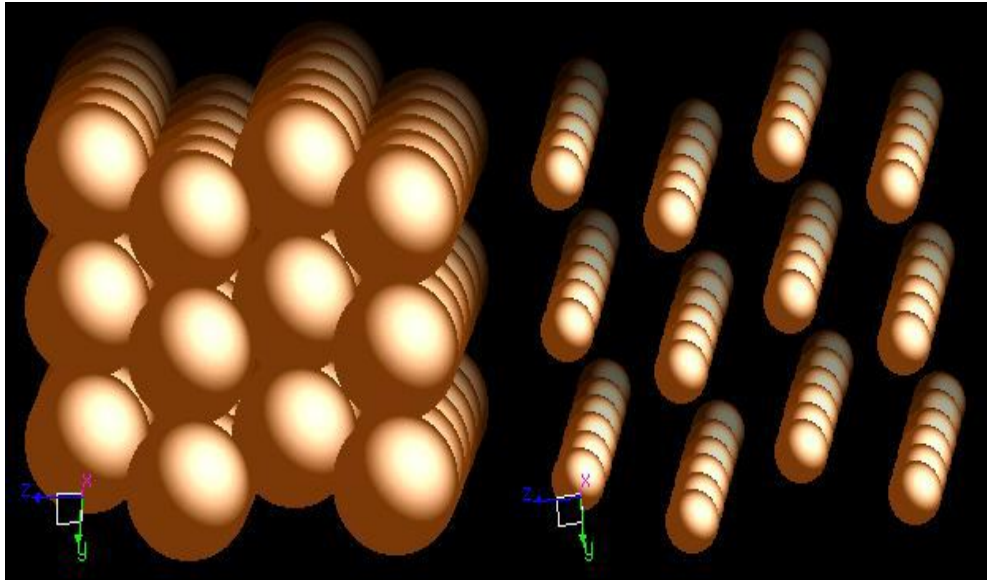
Magnezyum elementi, çok aktif ve oksitlenmeye karşı çok hassas olması nedeniyle saf olarak bulunmamaktadır. Doğada çeşitli bileşikler halinde bulunur. Magnezyum elementi, XIX. yüzyılın başlarına kadar elde edilememiştir. 1808’ de İngiliz kimyacı Humphry Davy tarafından saf olarak elde edilmiştir (<http://www.kimyaevi.org/elementler/magnezyum/magnezyum.asp>).

2.2.2. Magnezyum elementinin yapısı ve bileşikleri

12 atom numaralı parlak gümüş renkli bir metal olan magnezyum elementi, hava ortamında hemen mat renkli ince bir oksit tabakasıyla kaplanır. 500 °C üzerinde parlak bir alevle yanarak magnezyum oksit (MgO)’ e dönüşür. Toz halindeki magnezyum kolayca tutuşur ve parlak bir alevle yanar. Bu özelliği nedeniyle, elektrikli

fotoğraf makinesi flaşları çıkmadan önce, magnezyum yakılarak flaşlı fotoğraflar çekilmiştir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Magnezyum>).

Atom ağırlığı 24,3 gr/mol' olan hafif metalik bir elementtir. Be, Ca, Sr, Ba ve Ra ile birlikte periyodik cetvelin toprak alkali adı verilen 2A gurubunda bulunur. Doğada başlıca iki mineral halinde bulunmaktadır. Bu mineraller, karbonatlı magnezit ($MgCO_3$) ve dolomit [$MgCa(CO_3)_2$]’ dir. Öteki mineralleri arasında magnezyum klorürler, magnezyum sülfatlar ve magnezyum silikatlar vardır (<http://www.kimyaokulu.com/icerik.aspx?yazid=3928>). Şekil 2.2’ de magnezyum elementinin kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2. Magnezyum elementinin kristal yapısı

(http://www.webelements.com/magnesium/crystal_structure.html)

Magnezyum elementinin çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, magnezyum bileşiklerinin birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Magnezyum’ un yaygın bileşiklerinden bazıları çizelgede 2.6’ da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Magnezyum' un yaygın bileşikleri

Bileşik	Formülü	Bileşik	Formülü
Magnezyum Florit	MgF ₂	Magnezyum Oksit	MgO
Magnezyum Borür	MgB ₂	Magnezyum Sülfür	MgS
Magnezyum İyodat	MgI ₂	Magnezyum Selenit	MgSe
Magnezyum Hidrat	MgH ₂	Magnezyum Tellürit	MgTe
Magnezyum Klorit	MgCl ₂	Magnezyum Nitrit	Mg ₃ N ₂

2.2.3 Magnezyum elementinin atomik yapısı ve fiziksel, kimyasal özellikleri

2.2.3.1. Atomik yapısı

Magnezyum elementinin atomik yapısına bakıldığında hegzogonal bir kristal yapıya sahip olduğu görülmektedir. Atomik çapı 1,72 °A' dür. Magnezyum elementinin atomik yapısı ile ilgili bazı özellikleri çizelge 2.7 de verilmektedir.

Çizelge 2.7. Magnezyum Elementinin Atomik Yapısı

(<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Mg.html>)

Atomik Çapı:	1,72 Å
Kristal yapısı:	Hekzogonal
Elektron Konfigürasyonu:	1s ² 2s ² p ⁶ 3s ²
Elektron Sayısı (yüksüz):	12
Nötron Sayısı:	12
Proton sayısı:	12
Valans Elektronları:	3s ²

2.2.3.2. Fiziksel özellikleri

Magnezyum elementinin fiziksel özelliklerine bakıldığında 922 °K' lik düşük bir erime noktasına sahiptir. Oda sıcaklığında katı haldedir. Magnezyum elementine kolaylıkla şekil verilebilir. Görünüş itibariyle grimsi beyaz bir renktedir (<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Mg.html>). Magnezyum elementi süperiletken özellik göstermez. Çizelge 2.8' de magnezyum elementinin bazı fiziksel özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.8. Magnezyum elementinin bazı fiziksel özellikleri

(<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Mg.html>; <http://nautilus.fis.uc.pt/>)

Atomik Kütle:	24.3 g·mol ⁻¹
Kaynama Noktası:	1363 °K
İletkenlik:	Termal: 156 W m ⁻¹ K ⁻¹ (300 °K de) Elektrik: 2,25x 10 ⁷ Ω ⁻¹ m ⁻¹ (298 °K de)
Yoğunluk:	1,74 g·cm ⁻³ 300 °K de
Görünüş:	Grimsi beyaz metal
Erime Noktası:	922 °K
Fiziksel Durumu:	Katı

2.2.3.3. Kimyasal özellikleri:

Magnezyum elementinin kimyasal özelliklerine bakıldığında iyonizasyon potansiyelleri; sırasıyla 7,646 eV; 15,035 eV ve 80,143 eV olarak görülmektedir (<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Mg.html>). Çizelge 2.4' de magnezyum elementinin kimyasal özelliklerinden birkaçı verilmiştir.

Çizelge 2.9. Magnezyum elementinin bazı kimyasal özellikleri

(<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Mg.html>; <http://nautilus.fis.uc.pt/>)

İyonizasyon potansiyeli:	Birinci:7,646 eV İkinci:15,035 eV Üçüncü:80,143 eV
Buharlaştırma ısı:	128, 7 kJ/mol
İş fonksiyonu:	3,66 eV

2.2.4. Magnezyum bileşiklerinin kullanım alanları

Magnezyum, kullanım amacına göre pek çok uygulamada kullanılmaktadır. Bu uygulamalar maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir.

- Bor ile oluşturduğu MgB_2 bileşiği ile süperiletkenlik uygulamalarında,
- Magnezyum, alüminyum gibi hafif ve kuvvetli bir elementtir. Bu nedenle uçak ve araba motoru yapımında,
- Magnezyum oksit ısıya dayanıklı olduğu için tuğla fırınlar ve normal fırınların yapımında,
- Hidroksitleri, klorürleri, sülfatları ilaç endüstrisinde,
- $MgCO_3$ tozu halterciler ve jimnastikçiler tarafından aletleri sıkı tutabilmeleri için,
- Fotoğraf makinelerinin gövde ve flaş kaplamalarında,

- İşaret fişekleri ve yangın bombalarında kullanılmaktadır
(<http://www.kimyaevi.org/elementler/magnezyum/alan.asp>).

2.3. Magnezyum Borür Bileşiği

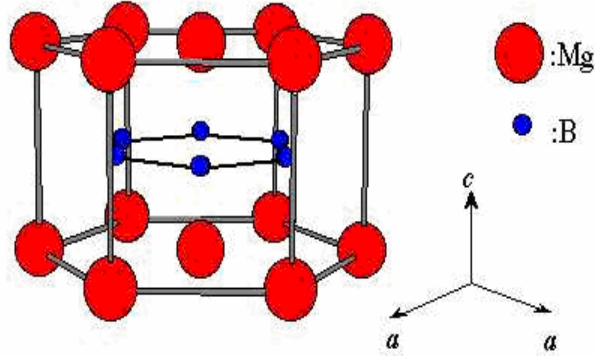
2.3.1. Magnezyum borür bileşiğinin tarihçesi

Magnezyum borür(MgB_2) ilk kez 1953 yılında elde edilmiş bir bileşiktir (Jones and Marsh.,1954). MgB_2 bileşiği, eski bir bileşik olmasına rağmen 2001 yılına kadar, süperiletkenlik özelliği gösterdiği keşfedilememiştir. 2001 yılında Japonya’ da düzenlenen uluslar arası bir konferansta Akimitsu ve arkadaşları tarafından 39 °K’ de MgB_2 ’ nin süperiletken özellik gösterdiği keşfedilmiştir (Nagamatsu et al., 2001). MgB_2 ’ nin süperiletken özellik göstermesi bilim dünyasında büyük bir ilgi uyandırmış, çalışmalar bu süperiletken bileşik üzerine yoğunlaşmıştır.

2.3.2. Magnezyum borür bileşiğinin yapısı

Hekzagonal bir yapıya sahip olan MgB_2 ’ yi ilginç bir bileşik yapan özellikler, onun ucuz maliyeti, yüksek T_c kritik sıcaklığı, basit kristal yapısı, geniş koherans uzunluğu, yüksek kritik akım ve alan yoğunluğu, daha düşük anizotropik olma özelliği ve akım akışını kolaylaştırıcı tanecik sınırlarındaki durumudur (Buzea and Yamashita, 2001). İntermetalik bir bileşik olan MgB_2 ’de 39 °K’ de süperiletkenliğe geçişin gözlenmesi, bu malzemenin mevcut süperiletkenlik uygulamaları için yeni bir alternatif olmasını sağlamıştır (Nagamatsu et al., 2001).

MgB_2 bileşiği, ard arda gelen magnezyum atomlarının hegzagonal tabakaları ile bor atomlarının hegzagonal düzlem tabakalarından oluşur. MgB_2 bileşiğindeki bor tabakaları grafitteki hegzagonal karbon tabakalarına benzer (King, 2002).



Şekil 2.3. Magnezyum borür (MgB_2) bileşiğinin kristal yapısı
(<http://www.superconductors.org>).

Şekil 2.3' de MgB_2 ' nin kristal yapısı görülmektedir. Birim hücre parametreleri $a=3,086$ °A, $c=3,524$ °A' dır. MgB_2 'nin basit hegzagonal yapısı incelendiğinde magnezyum'un yapının köşeleriyle, alt ve üst yüzey merkezlerinde yer aldığı, bor'un ise hacim merkezinde düzlemsel bir yapıya sahip olduğu görülür. Bağ uzunluk değerleri Mg-B bağı için 0,25017 nm, B-B bağı içinse 0,17790 nm olarak bulunmuştur(Hua H. L., et all. 2001).

2.3.3. Magnezyum borür bileşiğinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Moleküler formülü, MgB_2 olarak gösterilen magnezyum borür, molar kütlesi 45,93 gr/mol, yoğunluğu $2,6$ gr/cm³ ve erime noktası 1300 °C olan bir bileşiktir(http://en.wikipedia.org/wiki/magnesium_diboride).

İlk defa intermetalik bir süperiletkenin 39 °K gibi yüksek bir kritik sıcaklığa sahip olması MgB_2 ' ye yoğun bir ilgi uyandırmıştır. MgB_2 ' nin 39 °K kritik sıcaklığı (geçiş sıcaklığı=süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı), süperiletkenlik uygulamalarında halen kullanılmakta olan Nb-Ti (9 °K) ve Nb₃Sn (18 °K) süperiletkenlerinden daha yüksek bir çalışma sıcaklığı sunmaktadır (Larbalestier et al., 2001). Tüm intermetalik bileşikler içinde ve düşük sıcaklık süperiletkenlerinde en yüksek geçiş sıcaklığına sahiptir. Yüksek geçiş sıcaklığının nedeni bor atomlarının düşük atomik kütesidir. Bu atomlar

daha yüksek titreşim frekansına sahip olduklarından, geçiş sıcaklığının daha yüksek olmasına neden olmaktadır (Savaşkan, 2007).

MgB₂ süperiletkeninin, çeşitli fiziksel özellikleri ve süperiletkenlik mekanizmaları üzerine yapılan çalışmalarda, malzemenin, düşük sıcaklıklarda yüksek kritik akım yoğunluğu (J_c) ve yüksek tuzaklanmış manyetik alan (H_c) gösterdiği tespit edilmiştir (Buzea and Yamashita 2001).

Kritik magnetik alan ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri magnezyum borür' ün bir ikinci tip süperiletken olduğunu göstermektedir (Buzea and Yamashita, 2001).

MgB₂'deki yüksek kritik sıcaklık değeri, basit bileşiklerde daha yüksek kritik sıcaklık elde edilebileceği umidini vermiştir. MgB₂' nin keşfiyle özellikle oksit olmayan bileşiklerin süperiletkenliği alanındaki ilgi yeniden canlanmış (bor bileşikleriyle ilgili çalışmalar), bor ilişkili bileşiklerde süperiletkenlik için araştırmalar başlamış ve birkaç bileşik süperiletken olarak ilan edilmiştir: TaB₂, BeB_{2.75} (Felner, 2001; Young, 2001; Gasparov, 2001; Kaczorowski, 2001; Strukova, 2001).

MgB₂ süperiletkeninin keşfinden sonra metalik bor tabakalarının, MgB₂ süperiletkeninde çok önemli bir rol oynaması, hafif elementler içeren bileşiklerde daha yüksek T_c kritik sıcaklığı öngörüsünü saptanmıştır (Kortus et al., 2001).

MgB₂, magnezyum ve bor' dan meydana gelir. Oksit süperiletkenlerden daha az sayıda elemente sahiptir. Bakır oksit, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinden daha az işlenmemiş malzemedan oluştuğundan nispeten daha kolay ve daha ucuza sentezlenir. İnce film ve tel şeklindeki üretimler için uygun olduğu görülmüştür (Savaşkan, 2007).

MgB₂ bileşiğinin atmosfer şartlarına dayanıklılığını ölçmek için yapılan çalışmalar, malzemenin çok güçlü higroskopik (havadan su emen) davranış sergilediğini göstermiştir. Su ve nemli hava MgB₂'yi etkilemekte, oda sıcaklığında bile Mg(OH)₂, MgCO₃ ve B₂O₃' e dönüşmektedir (Sen et al., 2002). Çizelge 2.10' da MgB₂' nin bazı süperiletken parametrelerinin çizelgesi görülmektedir.

Çizelge 2.10. Magnezyum borür (MgB_2)' nin süperiletken parametrelerinin listesi (Buzea and Yamashita, 2001).

Parametre	Değerler
Kritik Sıcaklık	$T_c = 39 \text{ }^\circ\text{K}$
Hekzagonal örgü parametrisleri	$a=b= 0,3086 \text{ nm}$ $c=0,3524 \text{ nm}$
Teoriksel Yoğunluk	$\rho=2,25\text{g/cm}^3$
Taşıma Yoğunluğu	$n_s = 1,7-2,8 \times 10^{23} \text{ holes/cm}^3$
İzotop Etkisi	$\alpha_T = \alpha_B + \alpha_{Mg} = 0,3 + 0,02$
T_c' ye yakın Direnç	$\rho (40 \text{ K}) = 0,4-16 \text{ } \mu\Omega\text{cm}$
Koherens Uzunluğu	$\xi_{ab}(0) = 3,7-12 \text{ nm}$ $\xi_c(0) = 1,6-3,6 \text{ nm}$
Nüfuz Derinliği	$\lambda(0) = 85-180 \text{ nm}$

2.3.7. Magnezyum borür' ün kullanım alanları

Magnezyum borür (MgB_2)' ün, süperiletkenlik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Nb_3Sn ile benzer özelliklere sahip olması, geçiş sıcaklığının daha yüksek olması, daha düşük yoğunluğu ve hem magnezyum hem de bor'un tabiatta bolca bulunmaları, onu teknoloji için ilginç bir malzeme kılmaktadır.

Magnezyum borür bileşiği süperiletken özellik gösterdiğinden dolayı tüm süperiletkenlik uygulamalarında, örneğin; elektrik-elektronik ve ulaşım sanayinde, kuvvetli mıknatısların yapımında vb. birçok alanda kullanılabilir.

MgB_2 ' nin kritik sıcaklığının ($39 \text{ }^\circ\text{K}$), metalik süperiletkenlere göre yüksek, 1986 yılında keşfedilen Cu-O içeren yüksek sıcaklık süperiletkenlerine göre ise düşük oluşu, uygulamada bir sınırlayıcı faktör olarak gözükmemektedir. Buna karşılık, alçak soğutma “cryo-cooler” teknolojisindeki son zamanlardaki gelişmeler MgB_2 'nin lehine kullanım alanlarını mikro elektronik ve cihaz yapımı teknolojisine kaydırmaktadır.

Ayrıca, bu alana yönelik olarak ince film MgB₂ üretiminde de yoğun çalışmalar devam etmektedir (<http://kayaweb.envy.nu/superiletken.htm>).

3. VAKUMDA İNCE FİLM KAPLAMA TEKNİKLERİ

Bilimsel araştırma çalışmalarında ve teknolojiye, sol gel, elektrokimyasal kaplama, sprey püskürtme gibi birçok ince film üretim teknikleri mevcuttur, ancak üretim parametrelerinin kontrol edilebilmesi açısından vakumda ince film kaplama teknikleri son yıllardaki teknolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Vakumda ince film kaplama tekniklerinden bazıları; termal buharlaştırma, elektron demetli buharlaştırma, kimyasal buhar biriktirme, RF ve DC saçırma, RF ve DC magnetron saçırma, moleküler demetli epitaksi, termiyonik vakum ark vb. dir. TVA dışındaki teknikler bu bölümde incelenirken, termiyonik vakum ark (TVA) tekniğinin yapısı, özellikleri ve çalışma prensibi ise dördüncü bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır. Çünkü bu çalışmada, bor ve magnezyum elementlerinin ve magnezyum borür bileşiğinin ince filmlerinin üretimi için TVA tekniği kullanılmıştır.

Bor ve magnezyum elementleri, bu güne kadar, yukarıda ifade edilen, Termal Buharlaştırma (Thermal Evaporation), RF Saçırma (RF Sputter), Elektron Demeti ile Buharlaştırma (e-beam evaporation), RF Magnetron Saçırma (RF Magnetron Sputtering) ve Atmalı Laser Depolama (Pulsed Laser Deposition) gibi tekniklerle üretilenmiştir (Nishida et al., 2004; Ohkubo and Akinaga., 2004; Andrade et al., 2003; Akinaga et al., 2003; Chromik et al., 2003; Mori et al., 2003; Rajteri et al., 2004; Wang et al 2001; Lee et al., 2003; Zeng et al., 2002). TVA ile bunların kaplanması ilk defa tarafımızdan bu çalışmayla gerçekleştirilmiştir.

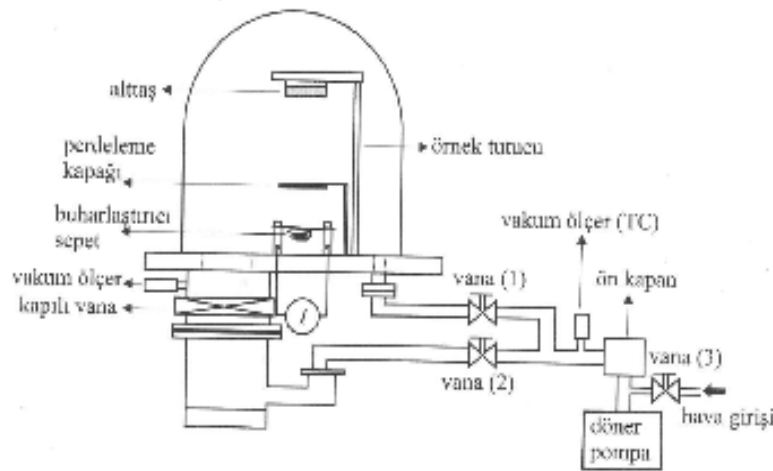
Birçok araştırma grubu bor ve magnezyum kullanarak MgB_2 ' yi ince film olarak üretmeyi başarmışlardır (Aswal, 2001). Bor'un yüksek erime noktası, magnezyumun düşük erime noktası ve kolay buharlaşması nedeniyle MgB_2 genellikle vakum sistemleri içerisinde üretilmektedir.

MgB_2 ' yi tel veya şerit olarak üretmek için tüpte toz metodu (Powder in Tube (PIT)) kullanılmaktadır. MgB_2 bileşiğinin ince film üretiminde ise Atmalı Laser Depolama (Pulsed Laser Deposition), Kimyasal Buhar Depolama (Chemical Vapour Deposition), Elektrokimyasal Kaplama (Electrochemical Plating), Birlikte-

Buharlaştırma (Co-Evaporation), Süspansiyon ile Depolama (Deposition From Suspension), Mg difüzyonu (Mg Diffusion), Termal buharlaştırma (Thermal Evaporation), RF magnetron saçırma (RF Magnetron Sputtering), elektron demeti ile buharlaştıma (e-beam evaporation), moleküler demetli epitaksi (molecular beam epitaxy), DC ve RF saçırma (DC and RF Sputter) teknikleri kullanılmaktadır. (Buzea and Yamashita, 2001; Lee et al., 2003; Jadhav and Pawar 2003; Zhao et al., 2004; Plecenik et al., 2002; Chromik et al., 2003; Akinaga et al., 2003; Mori et al., 2003; Shimakage et al., 2003; Nishida et al., 2004; Ohkubo and Akinaga., 2004; Andrade et al., 2003; Rajteri et al., 2004). Bu tez çalışmamızda magnezyum borür' ün bir ince filmini üretirken TVA kaplama yönteminin işlemin hangi aşamalarında kullanılabileceği araştırılmış ve denenmiştir. Sonuçta, bor' un TVA ile kaplanması, magnezyum' un ise termal buharlaştırma ve DC magnetron saçırma ile kaplanması ve tavlama işlemi ile magnezyum borür ince film üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.1. Termal Buharlaştırma Tekniği (Thermal Evaporation)

Termal buharlaştırma tekniği, yüksek vakum (10^{-7} mbar) altında, çoğunlukla metal malzemelerin elektrik akımı ile ısıtılarak buharlaştırılması işleminin gerçekleştirildiği ince film kaplama yöntemidir (Tarımcı ve Sarı., 2006). Şekil 3.1.'de termal buharlaştırma sistemlerinin genel olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı., 2006).

Bu teknik ile yapılan metal kaplama işleminin birçok uygulaması vardır. Yarıiletken malzemelerin metal kontaklarının yapılması, yüzey metal kaplama işlemleri bu yöntemle yapılan işlemlere en iyi örnektir (Tarımcı ve Sarı., 2006).

Bu teknikte, buharlaştırılacak malzemeler genellikle volfram (tungsten) gibi erime sıcaklığı oldukça yüksek olan metalden yapılmış bir potanın içine yerleştirilir. Isıtma işlemi bir termal ısıtıcı ile sağlanır. Potada ısıtılan malzeme buharlaşarak her doğrultuda yayılır, vakum odası içinde herhangi bir yere yerleştirilen taban üzerine, istenilen kalınlıkta kaplaması yapılabilir (Tarımcı ve Sarı., 2006).

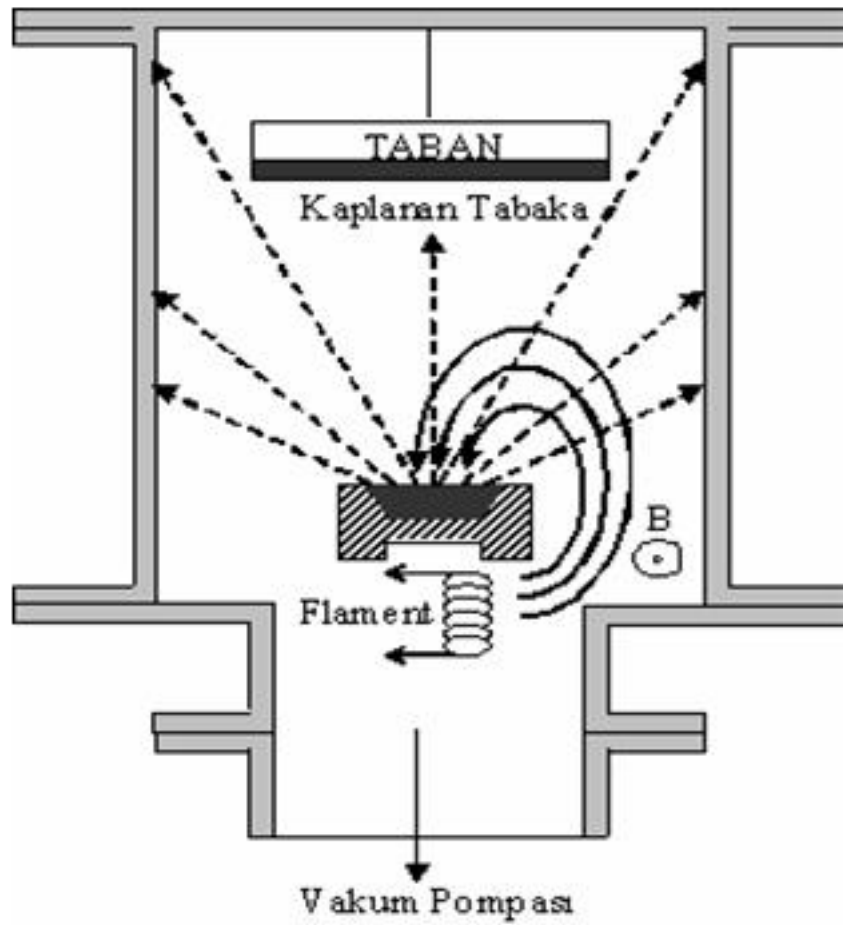
Bu kaplama tekniğinin, aşağıdaki olumsuz yönleri mevcuttur (Tarımcı ve Sarı., 2006):

- a- Kaplama malzemesinin eritilmesi sırasında, ısınma çok fazla olduğundan kaplanacak alttaş malzeme de ısınabilir (sıcaklığa duyarlı taban malzemelerin kaplanmasında problem oluşur).
- b- Erime noktası yüksek olan malzemelerin kaplama malzemesi olarak kullanılması problem yaratır (kaplama malzemesinin bulunduğu pota da eriyebilir veya pota ile kaplanacak malzeme bir reaksiyona girebilir). Böylece kaplama safsızlığı değişir.

3.2. Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği (e - Beam Evaporation)

Metal kaplama işleminde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik, elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntem ilke olarak termal buharlaştırma yöntemi ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Bu yöntemin en belirgin farklılığı buharlaştırılacak malzemenin direk olarak ısıtılmasıdır. Bu teknikte buharlaştırılacak materyal, yüksek erime noktalı metalden yapılmış bir pota içine yerleştirilmiştir. Pota içindeki materyal, potanın altında bulunan filaman tarafından yayınlanan ve bir manyetik alanla yönlendirilen hızlandırılmış ve odaklanmış enerjik elektronlarla bombardıman edilerek ısıtılır ve buharlaştırılır. Bu yöntemde malzemeyi ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilir. Elektron demetinin çapını küçülterek malzemeyi etkin biçimde ve oldukça homojen bir şekilde

ısıtmak mümkündür. Ayrıca pota su ile soğutulabildiğinden potanın yapıldığı metalin buharlaşması önlenerek film üzerinde oluşacak safsızlıkta iyileştirilmiş olur. Malzemenin direk ısıtılabilmesi nedeniyle buharlaşma sıcaklığı yüksek olan malzemelerin bu yöntemle buharlaştırılması mümkündür. Şekil 3.2’ de elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi görülmektedir (Akan, 2003).



Şekil 3.2. Elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi

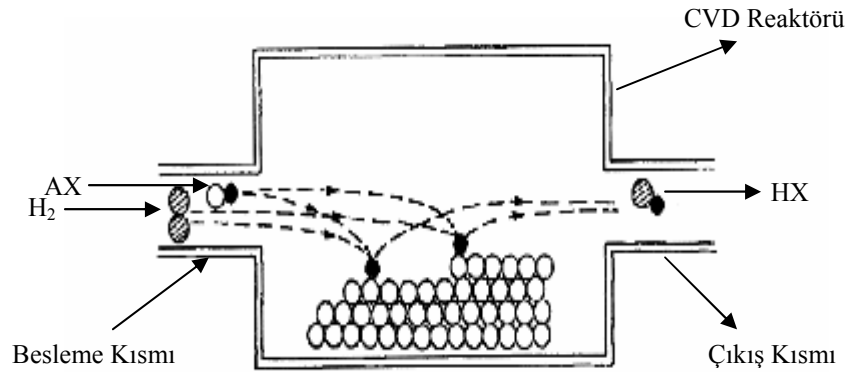
Bu tekniğin olumlu yanı, sıcak filamandan yayınlanan safsızlıklar buharlaşan metale ya da bu geometrideki tabana ulaşmaz. Bu nedenle filaman potanın altına konmuştur. (Watchman and Haber, 1993; Akan 2003).

Bu teknik termal buharlaştırma tekniğine göre üstün olmasına rağmen bir takım olumsuzlukları da vardır. Bu kaplama tekniğinde, elektronları hızlandırmak için yüksek gerilim kullanıldığı için buharlaştırma esnasında ark ve elektrik boşalması

olabilmektedir. Ayrıca bu teknikte kullanılan vakum seviyesi diğer benzer düzeneklerin vakum seviyesine göre daha yüksek olmalıdır (10^{-8} mbar). Çünkü yüksek vakum, elektron demetinin hedefe yönelmesi için gereklidir (Tarımcı ve Sarı., 2006).

3.3. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (Chemical Vapor Deposition,CVD)

Kimyasal buhar biriktirme (depolama), buhar fazında, ısıtılmış yüzey üzerine kimyasal bir reaksiyon (ısısal ayrışma, indirgeme, yerdeğiştirme gibi) ile katının depolanması olarak tanımlanabilir. CVD sistemi başlıca üç kısımdan oluşur (Bunshah, 2001; Pierson, 1992). Bu kısımlar; buhar haldeki reaksiyon bileşenlerini besleyen kısım, CVD reaktörü (tabanı ısıtıcı sistem) ve çıkış (egzoz) gazlarını atan kısımdır (Geçkinli, 1992).



Şekil 3.3. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) sisteminin basit şematik gösterimi (Bunshah, 2001).

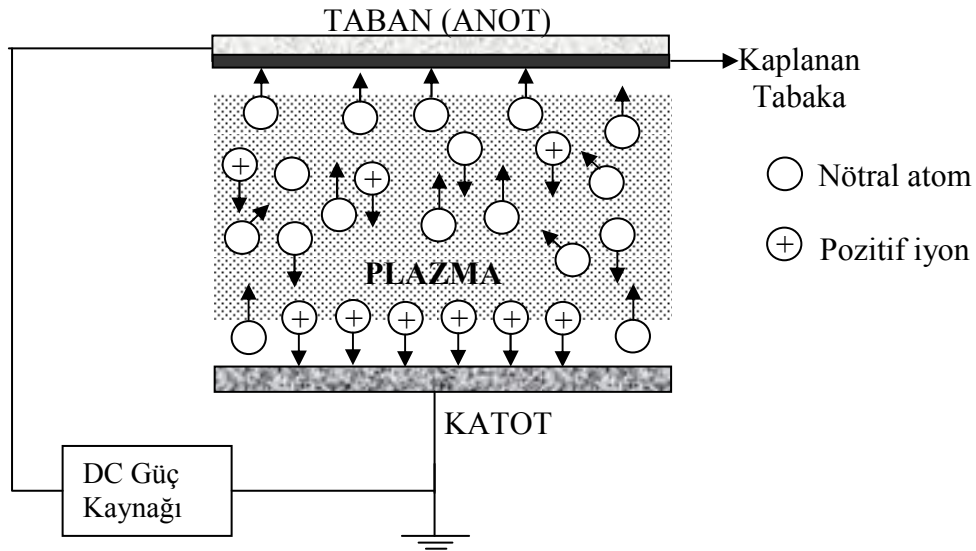
CVD tekniğinin sahip olduğu birçok avantaj vardır. En önemli avantajlarından birisi genellikle alttaş ile uyumlu olmasıdır. Yani, bu filmler karmaşık şekilli parçalara uygulanabilir. CVD tekniğinin diğer avantajları, çok yüksek saflıkta depolamaya imkân vermesi, yüksek depolama oranı, kalın filmlerin üretimi (bazı durumlarda santimetre kalınlığında) ve genellikle diğer pek çok tekniğe göre yüksek vakuma gerek duyulmamasıdır (Bunshah, 2001; Pierson, 1992).

CVD tekniğinin dezavantajları, yüksek buhar basıncının elde edilememesi ve her alttaş üzerine depolama yapılamaması (600 °C ve üzeri sıcaklıklardaki kaplama alttaşları için uygundur)'dır. Kullanılan reaktif gazlar çoğu kez tehlikeli ve pahalıdır. Ayrıca reaksiyon sonucu oluşan bileşenler taban malzemesine etki edebilmektedir (Geçkinli, 1992; Pierson, 1992).

3.4. Saçtırma (Sputtering) Tekniği

Saçtırma, İngilizcesi sputtering olan ve kelime anlamı ile katı bir yüzeyden atomları mekanik olarak söküp, koparma işlemine verilen isimdir (Tarımcı ve Sarı., 2006). Saçtırma işlemi materyal yüzeyine vuran iyonların yüzeyden materyal atomlarını sökmesi olayıdır (Campbell, 1978).

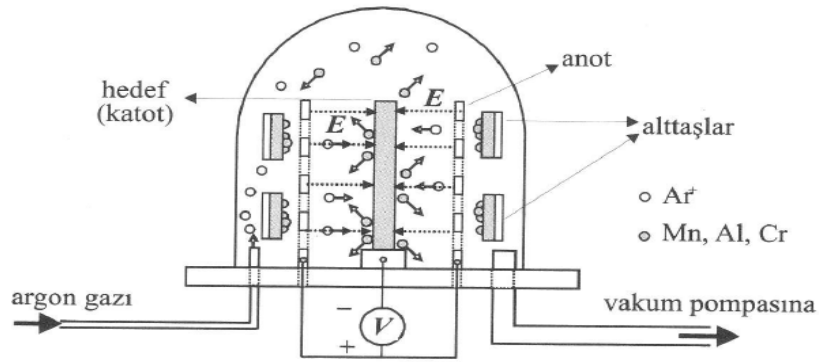
Saçtırma işleminde, malzemeler ile reaksiyona girmeyecek gazlar kullanılmalıdır (Ör: Argon). Bu teknikte, kaplama işlemi soy gaz ortamında yapılmaktadır. İşlem basıncı diğer benzer düzeneklere göre daha yüksektir (Tarımcı ve Sarı., 2006).



Şekil 3.4. Saçtırma işleminin şematik gösterimi (Akan, 2003).

Şekil 3.4.'de saçtırma işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Saçtırma işlemi için öncelikle elektrotlar arasında bir soy gaz pompalanır. Elektrotlar arasında uygulanan

potansiyel ile bu elektrotlar arasında soygazın plazması meydana getirilir. Elektrotlar arasında plazmanın oluşmasıyla akım birden artar ve buna bağlı olarak bir potansiyel düşümü oluşur. Akımın artması, plazma içinde oluşan pozitif iyonların katota vurarak ikincil elektron emisyonu yapması nedeniyle, yüklü parçacık sayısının çok hızlı bir şekilde artmasından dolayıdır. Plazma içindeki pozitif iyonlar bu potansiyel düşümünde katota doğru hızlanırlar ve bu hızla katota vururlar. Katot yüzeyinin bu bölgelerinden bir süre sonra nötral materyal atomları sökülmeğe başlar. Sökülen bu nötral atomlar katotun hemen karşısında bulunan anotun üzerindeki taban üzerine kaplanırlar (Thornton, 1983; Akan, 2003). Şekil 3.5’ de saçırma sisteminin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 3.5. Saçırma sisteminin şematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı., 2006).

İki tür saçırma yöntemi mevcuttur. Bunlar, radyo frekansı (RF) ve doğru akım (DC) saçırma yöntemleridir. Saçırma işleminin adı kullanılan güç kaynağının cinsine göre değişmektedir (Tarımcı ve Sarı., 2006; Johnson, 2005; Bunshah, 2001). Örneğin elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir radyo frekans güç kaynağından elde ediliyorsa işlem RF saçırma olarak isimlendirilirken, elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir doğru akım üreten güç kaynağı olduğunda DC saçırma adını almaktadır.

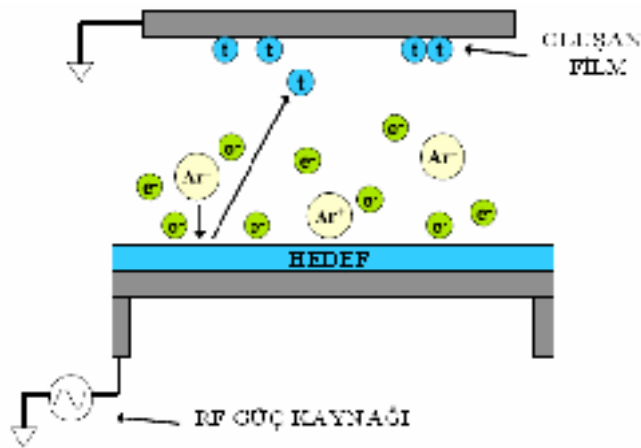
Ayrıca elektrotlar arasındaki pozitif iyon sayısını arttırmak için, katotun arka kısmında mıknatıs kullanılır. Bu şekilde yapılan saçırma işlemi, Magnetron Saçırma (Magnetron Sputtering) olarak adlandırılır (Akan, 2003; Johnson, 2005; Bunshah, 2001).

3.4.1. Radyo frekansı (RF) saçtırma tekniği

Bu tekniğin önemli olan tarafı saçtırma işleminde RF güç kaynağının kullanılmasıdır. Ayrıca sistemde kullanılan elektrotlar dielektrik malzemeden olabilir. RF saçtırma sisteminin çalışma prensibi yukarıda belirtilmiştir. RF saçtırma sistemi; vakum odası, vakum pompası, radyo frekansı güç kaynağı, eşleştirme ünitesi olmak üzere dört ana kısımdan oluşur (Grill, 1993; Johnson, 2005).

Vakum pompası; vakum odasının basıncını düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Basıncın düşürülmesinin nedeni; vakum odasını havadaki diğer gazlardan temizlemek ve iyonize olmuş parçacıkların yüksek enerjili çarpışmalar yapmasını sağlamaktır. Böylece plazması oluşturmak istenen materyalin saflığını ve kalitesi arttırılabilir (Grill, 1993).

Radyo frekansı güç kaynağı ile elektromanyetik dalgalar oluşturulur. Bu dalgalar eşleştirme ünitesi sayesinde vakum odası içinde titreşim frekansı oluşturularak hedef materyalin iyonize olmasını sağlar. Frekansın yüksek olması plazma deşarjını sürekli hale getirir (Grill, 1993; Johnson, 2005; Bunshah, 2001). RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi şekil 3.6' de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Radyo frekansı (RF) saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi

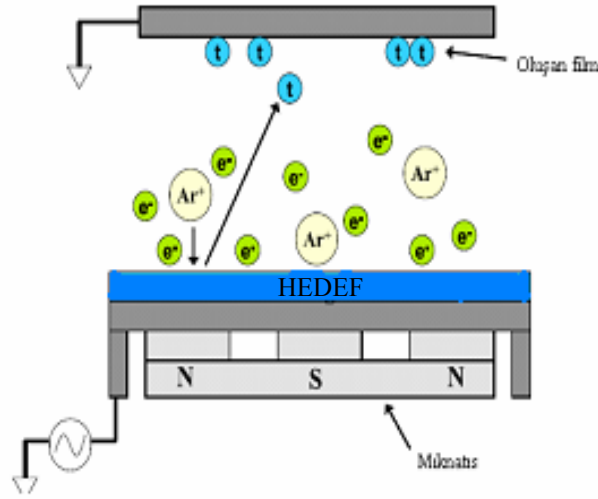
3.4.2. Doğru Akım (DC) Saçtırma tekniği

Bu teknikte elektrotlar arasına uygulanan potansiyel fark, doğru akım güç kaynağı ile sağlanır. Metal malzemelerin kaplanmasında uygulanır. Ancak yalıtkan malzemelerin kaplanması için uygun değildir. Homojen ve iyi tutunmuş filmler üretilir. Bu kaplama tekniğinde işlem sırasında oluşan plazma yoğunluğu düşüktür. Plazma yoğunluğunun düşük olması katotta daha düşük iyon akımları oluşturur. Bu sebeple depolama oranı düşüktür (Tüzemen, 2007; Bunshah, 2001).

3.4.3. Radyo frekansı (RF) magnetron saçtırma tekniği

Bu yöntemde, iyonlaşmış soygaz (örneğin argon) atomlarını hızlandırmak için kullanılan elektriksel alana ek olarak bu alana dik doğrultuda bir de manyetik alan uygulanır. Manyetik alan sayesinde elektronlar sarmal yörünge boyunca hareket ederler. Elektronların bu sarmal yörüngesi nedeniyle yolları uzadığı için hareketleri boyunca daha çok sayıda nötr soygaz atomlarıyla çarpışma yaparak hedef üzerinde iyon konsantrasyonunu arttıırırlar. Bu sayede hedeften atom koparma işlemi daha yoğun bir şekilde gerçekleşir ve aynı zamanda daha düşük basınçlarda plazma oluşturulabilir.

Bu yöntemle ayrıca hedeften kopan elektronların altaşa ulaşması manyetik alan sayesinde önlenmiş olduğundan altaş üzerindeki filmin ısınması da bir dereceye kadar önlenmiş olur. Isıya duyarlı örnekler için bu yöntem özellikle tercih edilmektedir (Tarımcı ve Sarı., 2006; Johnson, 2005; Bunshah, 2001). RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



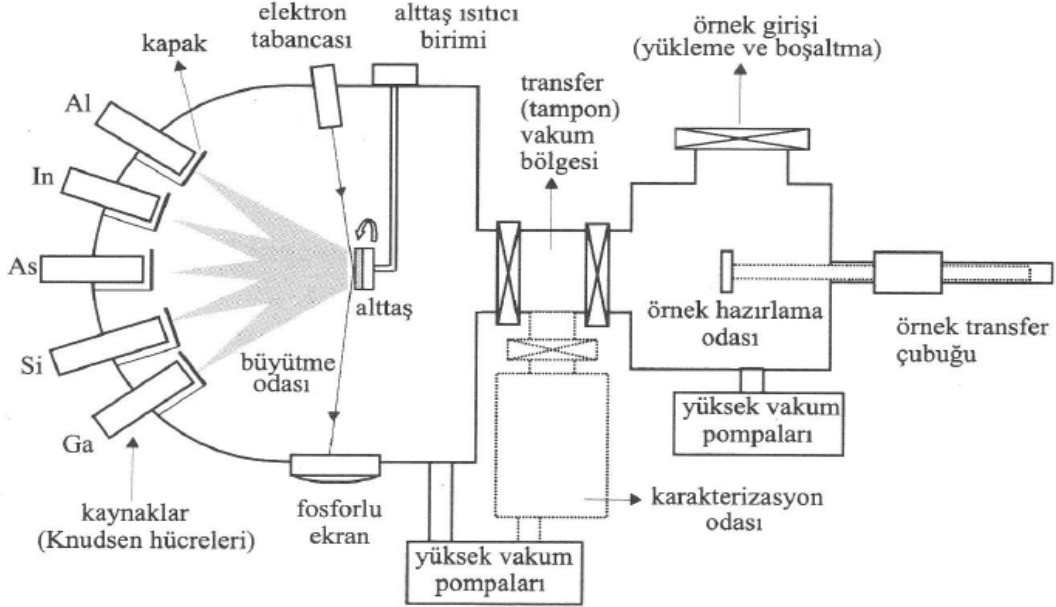
Şekil 3.7. Radyo frekansı (RF) magnetron saçırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson, 2005).

3.4.4. Doğru Akım (DC) magnetron saçırma tekniği

Bu teknikte radyo frekansı yerine doğru akım güç kaynağı kullanılmaktadır. DC saçırma tekniği ile aynı prensipte çalışır. Ek olarak mıknatıslar kullanılır. Düşük basınçlarda plazma oluşturulabilir. Oluşturulmak istenen film özelliğine göre uygulanabilecek bir tekniktir (Tüzemen, 2007).

3.5. Moleküler Demetli Epitaksi Tekniği (Molecular beam Epitaxy, MBE)

Moleküler demetli epitaksi ile epitaksiyel kristal büyütme yöntemi, ileri yüksek vakum ortamında ($<10^{-11}$ mbar) gerçekleştirilen, film kalınlığının çok hassas bir şekilde kontrol edilebildiği, oldukça gelişmiş, tek kristal büyütme yöntemidir. Epitaksi, kelime anlamı ile üzerinde büyütülme yapılan alttaşın kristal yapısını ve yönelimini koruyacak şekilde gerçekleştirilen ince film büyütme işlemini ifade eder.



Şekil 3.8. Moleküler demetli epitaksi (MBE) düzeneğinin şekilsel bir gösterimi(Tarımcı ve Sarı., 2006).

Bu teknikte büyüülecek filmi içeren materyallerin her biri (As, Ga, Al vb.), knudsen hücreleri olarak bilinen silindirik kaplar içine ayrı ayrı yerleştirilmektedir. Materyallerin uygun şekilde ısıtılmasıyla buharlaştırılan atomlar alttaş üzerine ulaşarak istenilen içerikteki filmler büyüülebilir. Materyallerin önlerinde çok kısa zaman süreli (milisaniye mertebesinde) açılıp kapatılabilen kapakçıklar mevcuttur. Büyütme esnasında büyüülmesi istenen filmin içeriğini oluşturan kaynakların önündeki kapakçıklar açılarak sadece bu kaynaktan çıkan materyaller alttaş üzerine ulaşır ve filmi oluşturmaya başlar(Tarımcı ve Sarı., 2006).

Moleküler epitaksi tekniğinde alttaşın sıcaklığının oluşacak olan filmin istenilen bileşimde olmasında etkisi büyüktür. Bu sebepten dolayı kristal büyüme esnasında alttaş, büyüülecek filmin türüne bağlı olarak, 450 °C ile 700 °C arasında ısıtılarak filmin epitaksiyel olarak büyümesi sağlanır. Filmin büyüülmesi sırasında alttaş belli

hızda döndürülerek filmlerin homojen bir şekilde büyümesi sağlanır(Tarımcı ve Sarı., 2006).

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

- Tek sıralı moleküller mertebesinde film büyütme hassasiyetine sahip olma,
- Çok hassas film kalınlık kontrolü,
- Büyütme esnasında film kalınlığının ölçülebilmesi,
- Katkılama ve özellikle de delta katkılama (filmin çok küçük bir bölgesinin katkılanması işlemi) yapılabilmesi.

Bu tekniğin avantajları yanında dezavantajları da mevcuttur. Büyütmeler, çok yüksek vakum altında yapılmadığı takdirde istenmeyen atomlar büyütülen filmin içine karışabilir. Büyümesi yapılacak materyallerin saflığının çok yüksek (% 99,9) olması gerekmektedir. MBE düzeneklerinde kullanılan çok çeşitli yüksek vakum pompalarının sistemde film büyütme işlemi yapılmadığı durumlarda da sürekli çalıştırılması gerekir. Bu ise düzeneklerin hem kurulmasının hem de işletilmesinin oldukça masraflı olmasına neden olmaktadır. Kristal büyütme hızının çok yavaş oluşundan dolayı seri üretim için ideal olmayışı bir diğer olumsuzluktur(Tarımcı ve Sarı., 2006).

4. TERMİYONİK VAKUM ARK(TVA)

Deneysel çalışmalarımızın büyük bir kısmı vakumda bir ince film kaplama tekniği olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle sistem detaylı bir şekilde ayrı bir bölüm olarak Termiyonik Vakum Ark (TVA) başlığı altında bu bölümde verilecektir.

4.1. TVA Sistemi

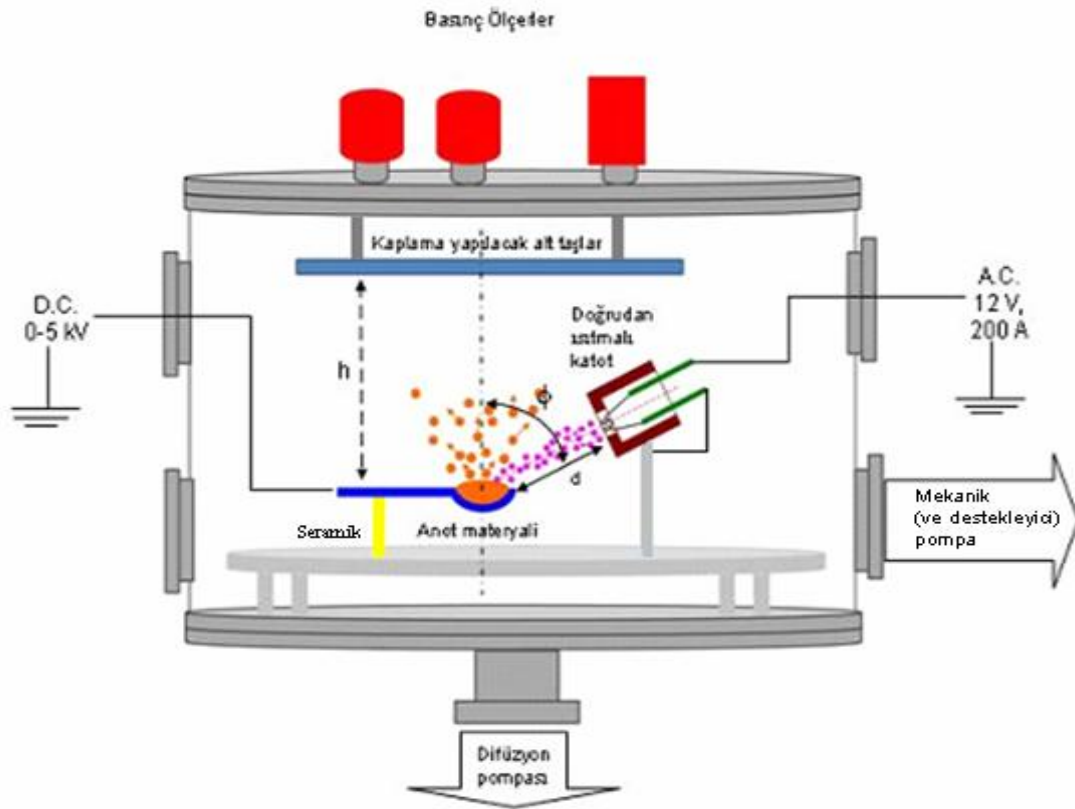
Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi, yüksek vakumda ($\sim 10^{-6}$ Torr) anot materyelinin plazmasının üretilebilmesi için 1983 yılında INFLPR (National Institute For Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Romania; Ulusal Lazer Plazma ve Radyasyon Fiziği Enstitüsü, Bükreş, Romanya)'nin alt grubu olan “Düşük Sıcaklık Plazma Fiziği Grubu” çalışanlarından Prof.Dr. Geavit MUSA ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Musa et al., 1983). Bu sistem, 1998 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında Prof.Dr. Naci EKEM, Prof. Dr. Geavit MUSA ve çalışma arkadaşları tarafından kurulmuştur. AR-GE çalışmaları devam etmektedir. TVA sistemi ile ince film kaplamaları yapılabilmektedir. Şu anda üniversitemiz Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında, bir tanesi düşük erime sıcaklığına sahip materyaller, diğeri ise yüksek erime sıcaklığına sahip materyaller için olmak üzere iki adet TVA sistemi bulunmaktadır. Laboratuvarlardaki TVA sistemleriyle bugüne kadar erime noktası düşük materyallerin (Cu, Au, Mg, Ag, SiO, Si gibi) ve erime noktası yüksek materyallerin (Re, B, C, Al₂O₃ gibi) ince film kaplamaları yapılmış ve bir kısmı süperiletken film üretilmesinde kullanılmıştır (Musa, 1983; Musa, 1984; Musa, 1986; Musa, 1987; Musa, 1999, Okur, 2007).

TVA sistemi;

- I. Vakum Odası,
- II. Doğrudan ısıtmalı katot,

- III. Anot materyali tutucusu,
- IV. Katot akımı güç kaynağı,
- V. Anot potansiyeli güç kaynağı,
- VI. Pompa sistemleri,
- VII. Vakum ölçüm sistemleri,
- VIII. Ampermetre ve Voltmetre sistemleri
- IX. İnce film kalınlık ölçüm sistemleri,
- X. Soğutma sistemleri ve diğer gerekli sistemlerden oluşmaktadır.

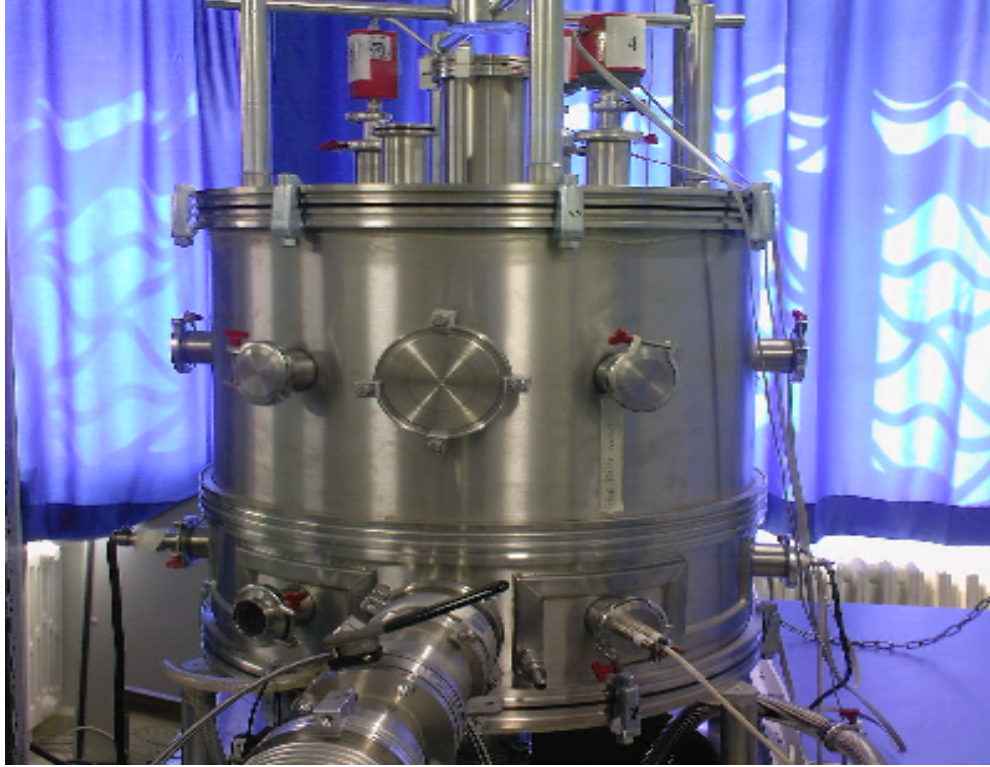
TVA sisteminin şematik gösterimi Şekil 4.1'deki gibidir. Şekil 4.2 ve 4.6' da ise deneysel çalışmalarda kullanılan TVA sistemlerinin fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Termiyonik vakum ark(TVA) sisteminin şematik çizimi

I - Vakum Odası:

TVA sisteminin vakum odası, çok düşük basınç ($\sim 10^{-9}$ Torr) değerlerinde çalışabilecek paslanmaz çelikten özel olarak imal ettirilmiştir.



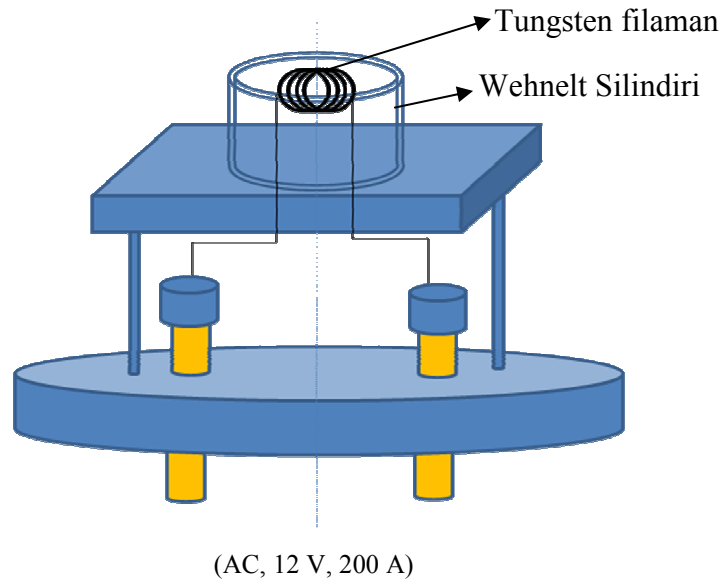
Şekil 4.2. Termiyonik vakum ark(TVA) sisteminin fotoğrafı

II- Doğrudan ısıtmalı katot:

Doğrudan ısıtmalı 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 anotta katot arasındaki uzaklığı ifade eder ve d ile simgelenir. Şekil 4.1' deki ϕ ise elektron tabancasından

çıkan elektron demetinin doğrultusu ile kaplanacak malzemeden indirilen düşey eksen arasındaki açıdır. ϕ ve d ; TVA sisteminde önemli iki parametredir. Şekil 4.3' te doğrudan ısıtmalı katodun şematik çizimi, şekil 4.4' te ise doğrudan ısıtmalı katodun fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Doğrudan ısıtmalı katodun şematik gösterimi



Şekil 4.4 Doğrudan ısıtmalı katodun fotoğrafı

III- Anot materyali tutucusu:

Anot materyali tutucusu, yüksek erime sıcaklığına sahip malzemelerden yapılmış bir potadır. Çalışma esnasında alaşım yapma olasılığını önlemek üzere farklı elementler için farklı potalar kullanılır. Çizelge 4.1’ de plazması üretilecek bazı materyaller için kullanılan potaların yapıldığı malzemeler gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çeşitli elementler için gerekli pota materyali ve erime noktaları(Edwards, 2005).

Buharlaştırılacak Materyal ve Erime Noktası (°C)	Kullanılan Potanın Yapıldığı Malzemeler
Alümiyum (Al)	660 W, Ta
Altın (Au)	1062 W, Mo
Bor (B)	2100 C
Bakır (Cu)	1083 W, Mo
Çinko (Zn)	419 W, Mo
Demir (Fe)	1535 W
Germenyum (Ge)	937 W, Mo
Gümüş (Ag)	961 W, Mo
Kadmiyum (Cd)	321 W, Mo
Kurşun (Pb)	328 W, Mo
İndiyum (In)	157 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

IV - Katot akımı güç kaynağı:

TVA daki deneysel çalışmalarda, 12 V - 200 A AC ayarlanabilir çıkış voltajlı (varyaklı) düşük voltajlı katot akımı güç kaynağı kullanılmıştır.

V-Anot potansiyeli güç kaynağı:

Anot potansiyeli güç kaynağı olarak, DC, 0 – 5 kV ve 10 kW kapasiteli ayarlanabilir çıkış voltajlı (varyaklı) yüksek voltaj güç kaynağı kullanılmıştır.

Katot akımı güç kaynağı ve anot potansiyeli güç kaynağı TVA sistemi için aynı pano üzerine yerleştirilmiştir.

VI- Pompa sistemleri:

Pompa sistemleri, Edwards EZM40EH250 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. Deneysel bu vakumda gerçekleştirilmiştir.

VII- Vakum ölçüm sistemleri:

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.

VIII- Ampermetre ve voltmetre sistemleri:

Ampermetre ve voltmetreler ile kaplanacak malzemelerin termiyonik vakum arkalarının oluşturulduğu anot ve katot arasındaki iyon akımı ve ateşleme potansiyelleri ölçülebilmektedir.

IX- İnce film kalınlık ölçüm sistemleri

İnce film kalınlık ölçüm cihazı olarak kuartz kristalli Cressington MTM 10 cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz ile 0,1 nm hassasiyetinde ölçüm yapabilmek mümkündür.

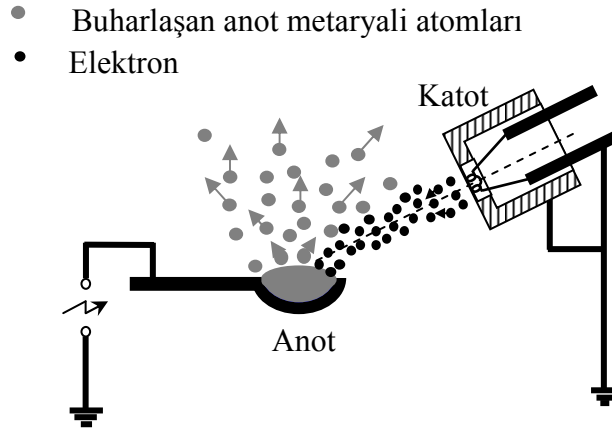
X- Soğutma sistemleri:

Soğutma sistemleri, difüzyon pompasının üzerinde bulunan su soğutma ünitesi ve vakum odasının dış yüzeyinde bulunan su soğutma ünitesi, sistemlerinden oluşmaktadır.

4.2. TVA Deşarj

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

Hızlandırılarak anot üzerine odaklanan elektronların bombardmanı ile anot içindeki materyal üzerine enerji aktarılır ve bu enerji ile anot materyali ilk olarak ısınır. Uygulanan voltajın arttırılmaya devam edilmesi ile anot içindeki materyalinin erimesi ve daha sonra buharlaşması sağlanır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Anot metaryalinin buharlaştırılması.

Elektrotlar arasına uygulanan voltaj arttırılmaya devam edilirse, elektrotlar arası uzayda, uygulanan voltajın uygun değerinde (ateşleme voltajı değerinde), anottaki metaryalin buharında parlak bir deşarj oluşur. Bu anda elektrotlar arasındaki voltaj birden azalır, akım ise aniden yükselir. Oluşan anottaki metaryalin buharının plazması, anot üzerinden sürekli bir şekilde vakum çeperlerine doğru yayılır. Şekil 4.6' da düşük erime sıcaklığına sahip materyaller için termiyonik vakum ark sisteminin fotoğrafı görülmektedir.

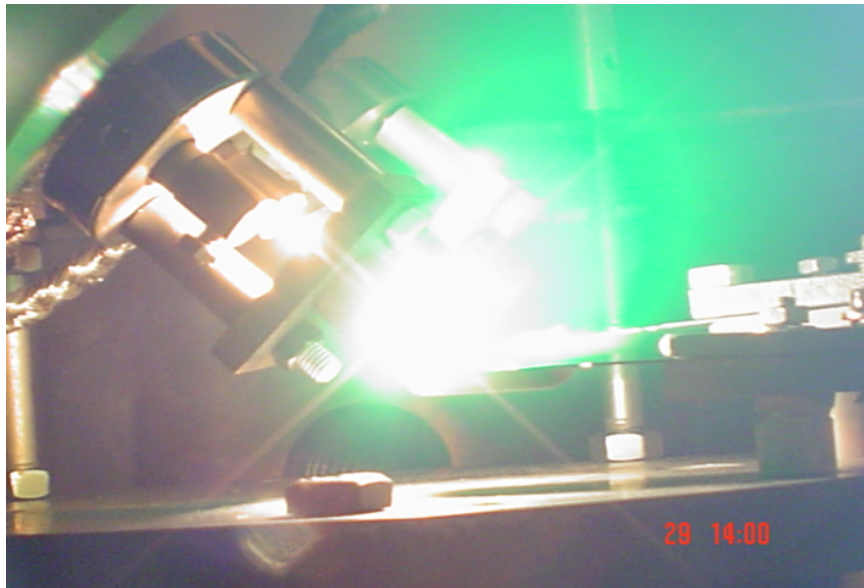


Şekil 4.6. Düşük erime sıcaklığına sahip materyaller için termiyonik vakum ark (TVA) sisteminin fotoğrafı

Şekil 4.7 ve şekil 4.8’ de TVA sisteminde elde edilen, bor ve magnezyum materyallerin plazmalarının resimleri görülmektedir.



Şekil 4.7. Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde bor’ un plazması



Şekil 4.8. Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde magnezyum’ un plazması

4.3. TVA Tekniğinin Bilimsel Özellikleri ve Getirdiği Yararlar

TVA tekniği ile kaplama diğer kaplama teknikleriyle mukayese edildiğinde önemli avantajlara sahiptir. Bu bakımdan bor ve magnezyum elementlerinin ince film olarak TVA tekniği ile kaplanması, diğer kaplama tekniklerine göre elde edilen filmlere üstünlükler getirmektedir. TVA bu özelliklere sahip olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır.

TVA tekniği ile yüksek vakum (high vacuum) ya da çok yüksek vakum (ultra high vacuum) şartlarında çalışmak mümkündür. Bu ise kaplamanın kalitesini artırarak oksitlenme veya başka gazlardan filme gelebilecek etkileri en aza indirmektedir. Diğer tekniklerin bazılarında yüksek vakum şartlarına ulaşamamaktadır. TVA tekniğinde kaplama yaparken bir tanpon gaza ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylelikle diğer tekniklere göre çok daha iyi vakum şartlarında ve kullanılan gazın safsızlıklarına rastlanmadan sadece kaplama yapılacak materyalin yüksek saflıkta kaplamasının yapılması mümkün hale gelmektedir. Çünkü özellikle saçtırma (sputter) tekniğinde mutlaka bir tanpon gazın kullanılması gerekmektedir. Bu ise zaman zaman analizlerde istenmeyen safsızlıkların, üretilen filmlerde oluşmasını sağlamaktadır. TVA tekniği ile kaplamalarda, elektrotlar arası mesafe, açı ve katot sıcaklığı, filaman akımı (I_f) ve voltaj değiştirilerek, kaplanacak malzemenin iyonlarının enerjileri kontrol edilebilmekte ve yüksek iyon enerjileri elde edilebilmektedir. İyon enerjilerinin kontrolü çok önemlidir. Bu sayede ise elde edilecek ince filmlerde, kaplanacak olan materyalin iyonlarının filme tutunmasını artırarak filmin düşük pürüzlülükle kaplanmasını sağlamaktadır. Diğer kaplama tekniklerinde bu tutunma oranı özellikle termal buharlaştırma tekniğinde oldukça düşüktür. Dolayısıyla termal buharlaştırma ile üretilen ince filmlerin yüzey pürüzlülükleri yüksek olmaktadır. TVA tekniği ile herhangi bir materyal depolanabilmektedir. Erime noktası çok yüksek olan refraktör materyaller ya da seramikler de dâhil olmak üzere materyaller TVA tekniği ile kolaylıkla depolanabilmektedir. Diğer kaplama tekniklerinde her materyali depolamak mümkün değildir. TVA tekniği ile alttaş olarak plastikte dâhil herhangi bir taban

kullanılabilmektedir. Bağımsız güç kaynakları ile eşzamanlı olarak birden fazla materyalin depolanması TVA tekniği ile gerçekleştirilebilir.

4.4. TVA' da Üretilen İnce Filmlerin Özellikleri

TVA sistemi ile bugüne kadar üretilen ince film kaplamaların incelenmesi sonucunda aşağıdaki özellikler bulunmuştur. Bu özellikler, bu çalışmamızdaki malzemeler için elde edilen sonuçlar olarak verilmiştir.

- Üretilen ince filmler yüksek saflıklarda olmaktadır (sadece kaplaması yapılacak materyalden ince filmler üretilir, bkz. şekil 5.11; 5.21) (Akan et al., 2007).
- İnce filmlerin yüzey tutunmaları oldukça yüksektir. Bu tutunmalar TVA sistemi ile ayarlanabilmektedir. TVA plazmalarının iyon enerjileri kontrol edilebildiğinden ince filmlerin alt taş üzerine olan nüfuz derinliği isteğe bağlı olarak değiştirilebilmektedir (Vladoiu et al., 2003; Pat et al., 2005; Akan et al., 2007).
- TVA sistemi ile üretilen ince filmlerin yüzey pürüzlülüğünün düşük olduğu gözlenmiştir (bor ince filmlerde yüzey pürüzlülüğü 10 nm' nin altında bulunmuştur, bkz. şekil 5.14) (Ekem et al., 2008).
- TVA ile üretilen ince filmlerin oldukça sıkı yapıda olduğu gözlenmiştir (Ekem et al., 2008).
- TVA ile üretilen ince filmlerin TEM analizleri sonucunda, üretilen ince filmlerin nano boyutlarda olduğu gözlenmiştir (Akan et al., 2007; Musa et al., 2006).
- TVA sistemi ile çok yüksek erime sıcaklığına sahip olan refraktör metaryallerin ince filmleri kolaylıkla kaplanabilmektedir (bkz. şekil 5.10) (Surdu et al., 2007;

Musa et al., 2007; Vladioiu et al., 2007; Lungu et al., 2006; Vladioiu et al., 2006; Lungu et al., 2005; Musa(c) et al., 2005; Lungu et al., 2004; Musa et al., 2004).

- TVA ile kaplama yapılırken ince film depolama oranı ayarlanabilmektedir (Musa et al., 1984; Akan(a) et al 2006).
- TVA sistemi ile istenilen her türlü altaş üzerine kaplamalar yapılabilir. Örneğin; bugüne kadar çelik, silisyum, cam, krom ince filmler, NaCl kristali, bakır, alüminyum ve plastik gibi çeşitli altaşlar üzerine kaplamalar gerçekleştirilmiştir(bkz. şekil 5.10; 5.20) (Musa et al., 1984; Akan(a) et al 2006).

5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE ANALİZ SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında,

1. Bor' un TVA tekniği ile cam taban üzerine ince filmleri,
2. Magnezyum' un TVA tekniği ile cam taban üzerine ince filmleri,
3. Magnezyum borür (MgB_2) bileşiğinin ince filmleri
TVA tekniği katkısıyla elde edilmiştir.

Her üç çalışma da ilk defa tarafımızdan gerçekleştirilmiş ve literatüre geçmiştir (Akan, 2007; Balbag, 2007; Okur, 2007).

5.1. Bor İnce Filmlerin Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği İle Üretilmesi

Bor' un ince film olarak Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile üretimi ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiş ve elde edilen ince filmler analiz edilerek bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir (Akan, 2007).

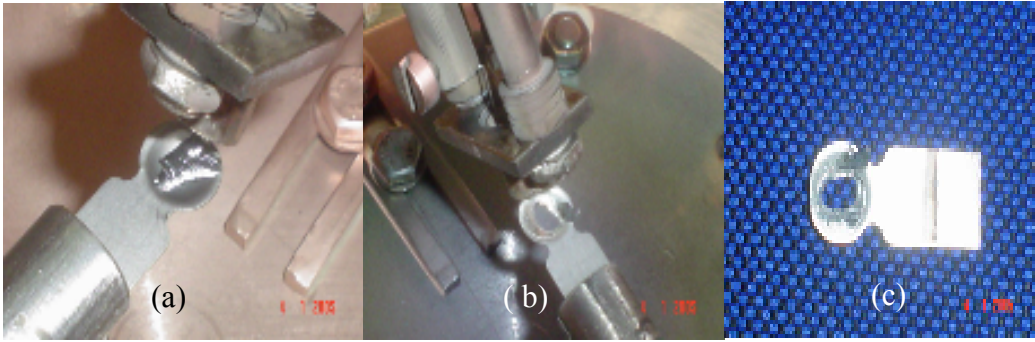
Bor ince filmin TVA tekniği ile ilk defa yapıyor olması ve bor' un önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle TVA sisteminde bazı yenilikler, değişiklikler ve düzenlemelerin yapılması gerekmiştir. Bunların en önemlileri pota materyali ve filaman ile ilgili çalışmalardır.

5.1.1. Pota materyali

TVA sisteminde ilk kez bor elementi kaplaması yapılacağından dolayı kullanılacak en uygun potanın belirlenmesi gerekmiştir. Bor elementinin erime noktasının yüksek olması nedeniyle, TVA sisteminde anot olarak kullanılacak potanın erime noktasının bor' dan daha yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca kullanılacak potanın, bor ile herhangi bir reaksiyona girmemesi gerekmektedir. Bor ince filmlerin üretilmesi için, uygun pota kullanımı ile ilgili araştırmalar yapılmış ve en uygun pota seçilmiştir.

A) Tungsten pota

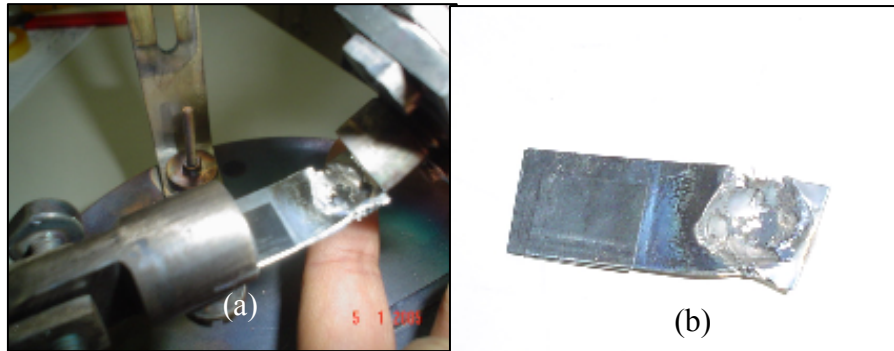
TVA' da bor kaplama deneylerine diğer çoğu kaplama materyalinde de kullanıldığı gibi tungsten pota kullanarak başlanılmıştır. Şekil 5.1' de kaplama sonrası tungsten potaların fotoğrafları gösterilmiştir. Şekil 5.1.(c).’de deşarj sonrasında tungsten pota ile bor’un alaşım yaptığı ve sonuçta ise tungsten potanın delindiği gözlenmiştir (Balbag, et al., 2007).



Şekil 5.1. Tungsten Pota

B) Molibden pota

Erime noktası yüksek olan metallere bir diğeri olan molibden pota kullanıldığında da, şekil 5.2.(a) ve (b) 'de görüldüğü gibi molibden potasında bor ile alaşım yaptığı görülmektedir. Kullanılan potanın yan kenarlarının eridiği ve borun molibden potaya yapıştığı gözlenmiştir (Balbag, et al., 2007).



Şekil 5.2. Molibden Pota

C) Grafit pota

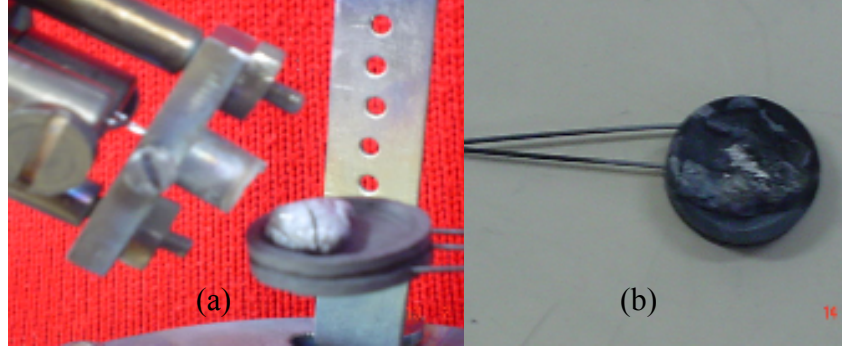
Grafit blok işlenerek şekil 5.3 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi farklı şekillerde potalar yapılmıştır. Farklı geometrilerden oluşan potaların kullanılmasının nedeni potanın yüzey alanının küçültülmesi içindir. Bu durumda elektron demetlerinin sadece bor' a odaklanması gibi teknik zorluklar söz konusudur.



Şekil 5.3. Farklı şekillerdeki grafit potalar

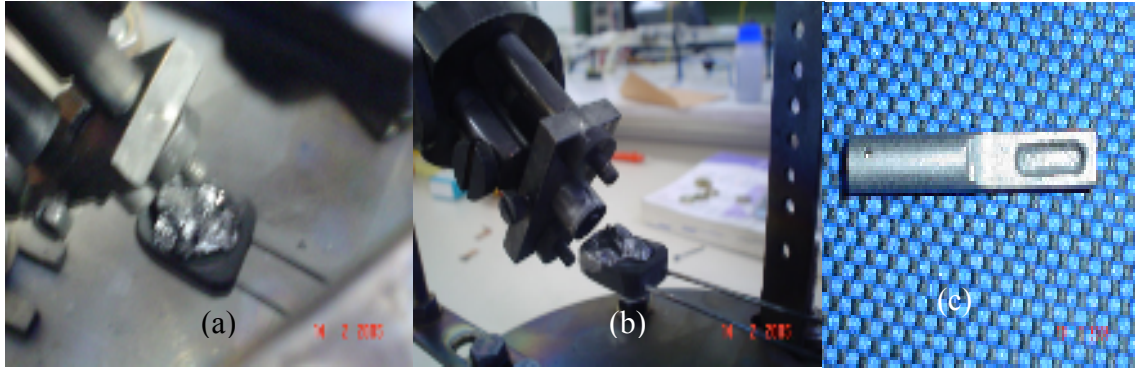
Grafit pota kullanımı sırasında vakumun istenilen düzey olan 10^{-6} Torr' a düşmediği gözlenmiştir. Vakum değerinin düşmemesinin nedeni, grafitin gözenekli yapıya sahip olmasıdır (Balbag, et al., 2007).

Silindirik grafit pota kullanımında deşarj sırasında bor materyalinin eriyerek kenarlara doğru yayıldığı ve oyuk oluşturduğu görülmüştür (bkz. şekil 5.4. (a) ve (b); şekil 5.5.(a), (b)) (Balbag, et al., 2007).



Şekil 5.4. Silindirik grafit pota kullanımı

Şekil 5.5.(a), (b), (c) de ise geometrik olarak kullanılan diğer potalar görülmektedir. Bunlarda da bor' un yine elektron bombardımanı yapılan noktadan kenarlara doğru yayıldığı görülmüştür (Balbag, et al., 2007).

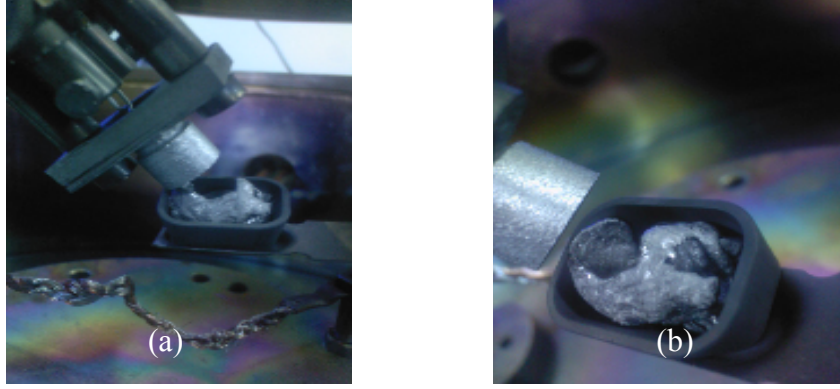


Şekil 5.5. Değişik şekillerde grafit potalar

D) Camsı karbon pota

Erime noktasının diğer kullanılan potalardan daha yüksek olması, bor ile herhangi bir reaksiyon oluşturmaması ve vakum şartlarını etkilememesi gibi sebeplerden dolayı camsı karbon pota kullanımı, bor elementinin depolanmasında kullanılan en uygun pota olarak seçilmiştir. Şekil 5.6 (a) ve (b)' de TVA sistemi içine

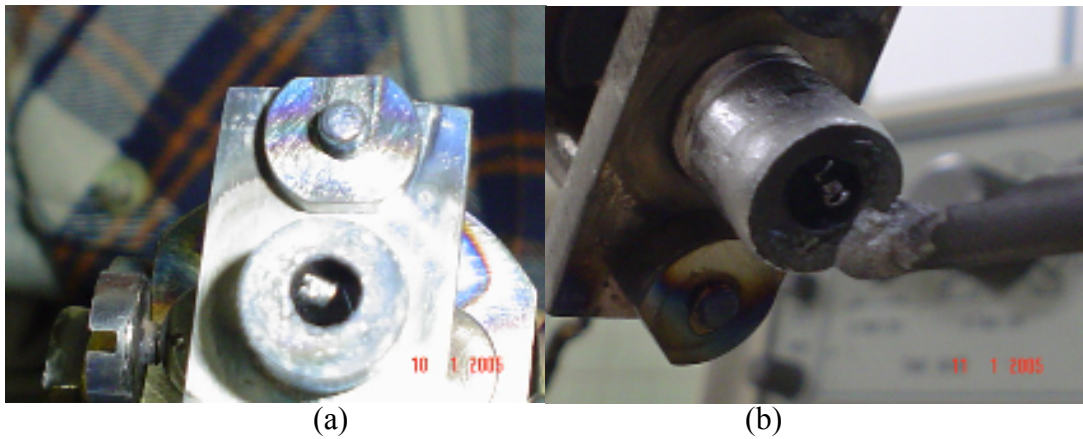
yerleştirilen camlı karbon potanın ve onun içerisindeki bor' un depolama sonrasındaki durumları gösterilmiştir (Balbag, et al., 2007).



Şekil 5.6. Camlı karbon pota kullanımı

5.1.2. Bor deneylerinde deşarj sırasında tungsten filamanın durumu

Yapılan tüm bor deneylerinde deşarj sırasındaki bor atomları, katot olarak ve elektron emisyonu için kullandığımız tungsten filamanın üzerine gidip reaksiyona girerek filamanı eritmiştir. Bu durum deşarj oluştuktan kısa bir süre sonra filamanın kopmasına neden olmaktadır (Şekil 5.7.(a), (b)) (Balbag, et al., 2007). Bu çalışmada kopmaya neden olan etkenler kontrol altına alınarak filaman kopmadan istenilen kaplamalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7. Deşarj sonrasında tungsten filamanın durumu

TVA sisteminde bor ince film üretiminde bor' un yapısal ve fiziksel özellikleri nedeniyle birçok problemle karşılaşmıştır. Bu problemler özellikle potanın erimesi, delinmesi, deformasyonu gibi pota metaryali ve pota şekliyle ilgilidir. İkinci derecede önemli problem ise filamanın ömrüyle ilgilidir. Karşılaşılan problemlerden bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir (Balbag, 2007).

- i. Tungsten pota kullanımı durumunda pota malzemesinin zaman zaman eridiği, zaman zaman ise bor elementinin potaya yapıştığı görülmüştür.
- ii. Molibden pota kullanımı durumunda, bor elementi ile molibden reaksiyona girip alaşım oluşturarak erimiştir.
- iii. Grafit pota kullanımında ise, grafit potanın gözenekli yapısından dolayı vakum odasının basıncı kontrol altına alınamamıştır.
- iv. Bor elementinin ince film olarak üretilmesinde bir diğer durum, deşarj sırasında bor' un, elektron bombardımanın yapıldığı yerden içe ve yanlara doğru yayılması ve oyuk oluşturmasıdır. Farklı malzemelerden kullanılan birçok potada bu olaya rastlanılmıştır.
- v. Karşılaşılan bir diğer durum ise katotta elektron emisyonu için kullanılan filamanın ömrüdür. Yaptığımız pek çok bor deneylerinde deşarj sırasında bor atomları, kullandığımız tungsten filamanın üzerine gidip burada tungsten filamanın aralarına girerek alaşım yapmıştır. Bu durum deşarj oluştuktan kısa bir süre sonra filamanın erimesine neden olmaktadır.

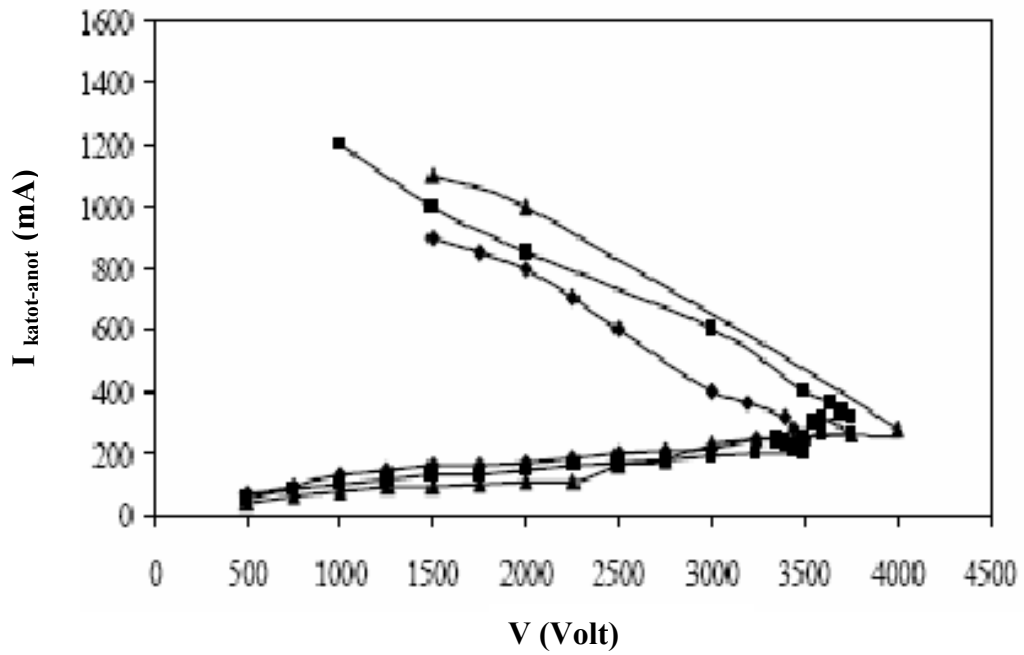
5.1.3. Bor ince filmlerin termiyonik vakum ark (TVA) tekniği üretim parametreleri

Bor' un fiziksel ve kimyasal özellikleri, onun deşarjını zorlaştırmaktadır. Bor ince filmin, TVA tekniğiyle üretilmesi esnasında, vakum odasının basıncı 5×10^{-6} Torr, elektrotlar arası mesafe 2–4 mm, uygulanan filaman akımının değeri 22 A ve anot-katot arasına uygulanan potansiyel farkı 3500 V' tur. Uygulanan bu akım ve voltaja bağlı olarak, deşarj sırasında anot ve katot arasında oluşan deşarj akımı 200 mA' dir.

Kaplamalarda % 99,95 saflıkta Alfa Aesar firmasından alınan granül bor kullanılmıştır. Şekil 5.8’ de ince film üretimi esnasında, bor’ un plazması görülmektedir.



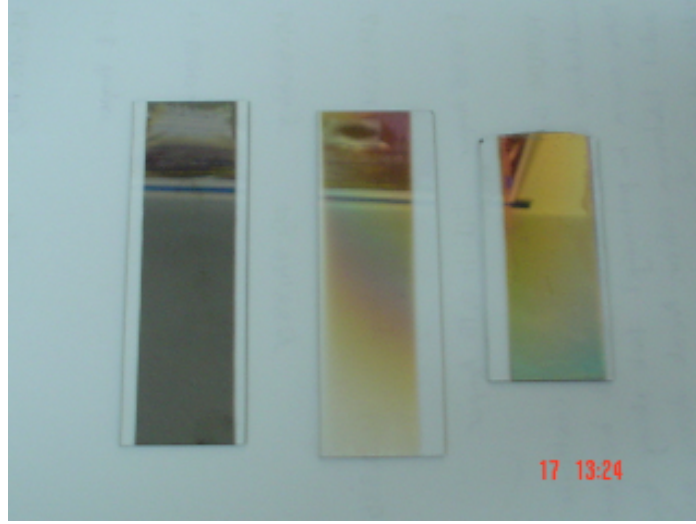
Şekil 5. 8. İnce film üretimi esnasında bor plazmasının fotoğrafı (Okur, et al., 2007).



Şekil 5.9. Bor elementinin termiyonik vakum ark (TVA) deşarjının akım-voltaj grafiği (Ekem et al., 2005).

TVA sisteminde bor elementinin deşarjını oluşturmak için anot ve katot arasına uygulanan akıma karşılık (deşarj akımı) uygulanan potansiyel değerleri şekil 5.9 da görülmektedir. Voltajın 3500 V değerine takabül eden 200 mA değerinde bor' un şekil 5.8' de görülen deşarjı (plazması) oluşur.

Bor ince filmlerin kalınlığı Cressington MTM-10 kalınlık ölçer cihazı ile üretim esnasında ölçülmüş ve tüm filmler yaklaşık olarak 200 nm kalınlığında kaplanmıştır. Şekil 5.10' da cam üzerine bor ince filmler görülmektedir.



Şekil 5.10. Termiyonik vakum ark (TVA) sisteminde cam üzerine oluşturulan bor ince filmlerin fotoğrafı

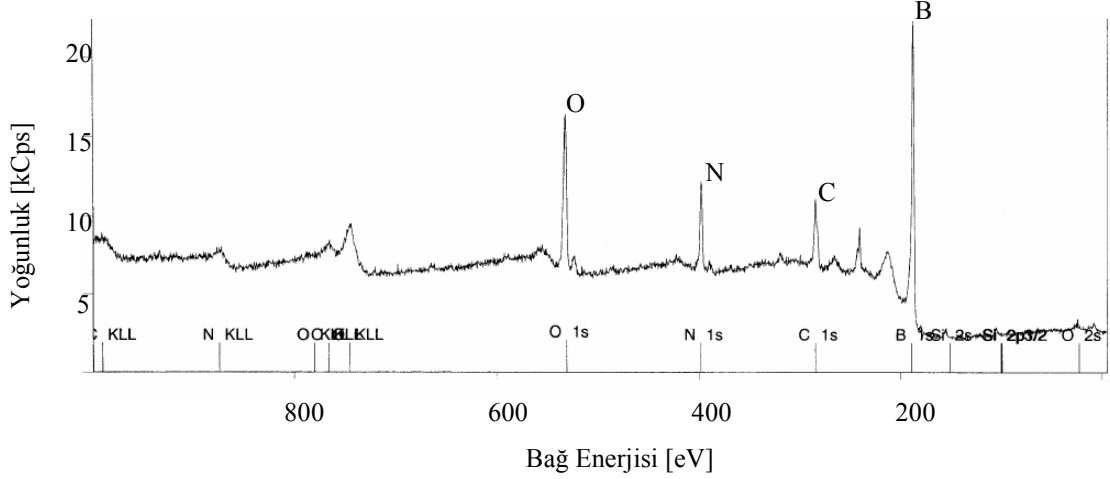
5.1.4. Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği ile üretilen bor ince filmlerin analizleri

Bu bölümde, termiyonik vakum ark tekniği (TVA) ile oluşturulan bor deşarjlarından elde edilen bor ince filmlerin özellikleri incelenmiştir. Elde edilen ince filmlerin X-ışınları Fotoelektron Spektroskopisi (XPS), Yüksek Çözünürlüklü Geçirmeli Elektron Mikroskobu (HRTEM) analizleri ve elektron difraksiyon izleri,

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), Enerji Difraksiyon X- Işını (EDX), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri verilmiştir.

X ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS), ince filmlerin yüzeyinde hangi materyallerin bulunduğunu anlamaya yönelik bir analiz yöntemidir. XPS analizi için SPECS marka XPS cihazı kullanılmıştır. Analiz esnasında ince filmin konulduğu ortam 10^{-9} mbarr basınçtır.

Şekil 5.11’ de termiyonik vakum ark (TVA) tekniğiyle oluşturulan bor ince filmin X- ışınları fotoelektron spektroskopisi grafiği verilmiştir. Çizelge 5.1’ de ise X- ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi sonucunda bor elementinin ince filmi üzerinde bulunan elementlerin yüzdece atom sayıları görülmektedir. En yüksek yüzde bor elementine aittir.

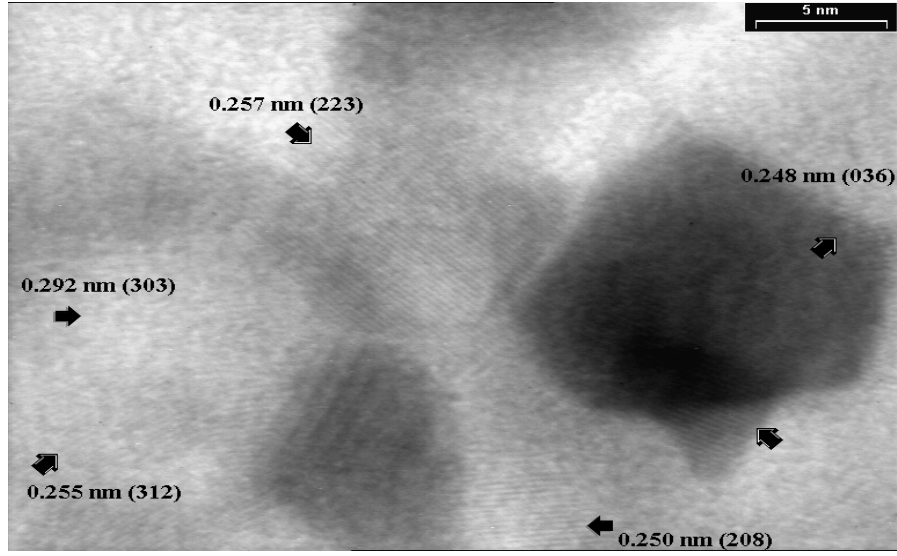


Şekil 5.11. Termiyonik vakum ark (TVA) tekniğiyle oluşturulan bor ince filmin X-ışınları fotoelektron spektroskopisi grafiği (XPS) (Karakas, 2006)

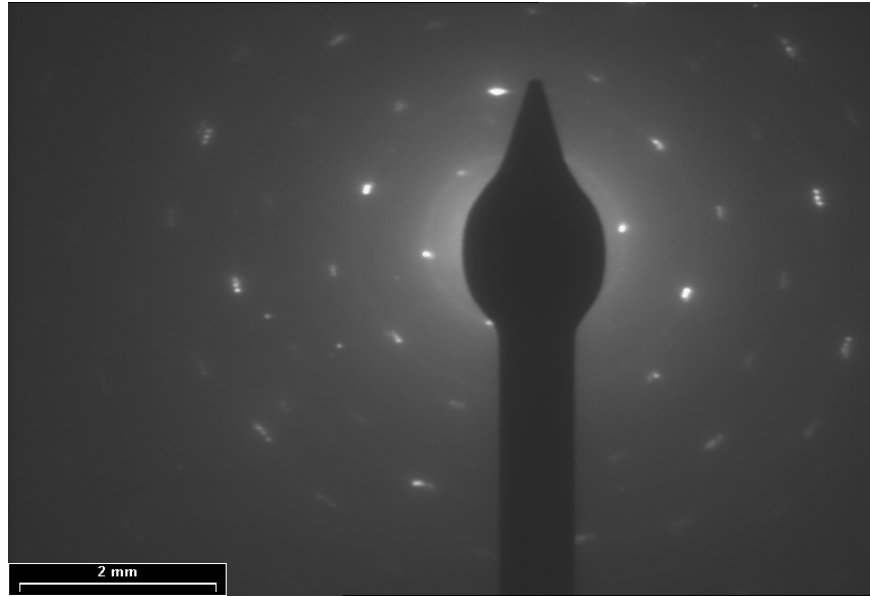
Çizelge 5.1. X- ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi sonucunda bor elementinin ince filmi üzerinde bulunan elementlerin yüzdece atom sayıları oranı (Karakaş, 2006).

ELEMENT	% ATOM
B	68,0
C	11,1
N	7,7
O	12,4
Si	0,8

Yüksek Çözünürlüklü Geçirmeli Elektron Mikroskobu (HRTEM), ince filmlerin yapısını nano yapıda incelemeye olanak sağlamaktadır. Bor elementinin ince filmleri, yüzeyleri düzgün kristal yapıya sahip olan özel olarak hazırlanmış KCl (potasyum klorür) tabanlar üzerine kaplanmıştır. İnce filmler Romanya Ovidius Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan Philips CU 120 ST (120 KV) marka HRTEM cihazı ile analize tabi tutulmuştur. Cihazın 1,4 Å çözünürlüğünde filmin 1,2 milyon kez büyütülmüş görüntüsü şekil 5.12' de verilmiştir. Bu görüntüden ince filmin yapısının nano boyutlarda olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5.12. Bor ince filmin yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu (HRTEM) görüntüsü (Musa(b) et al., 2005).

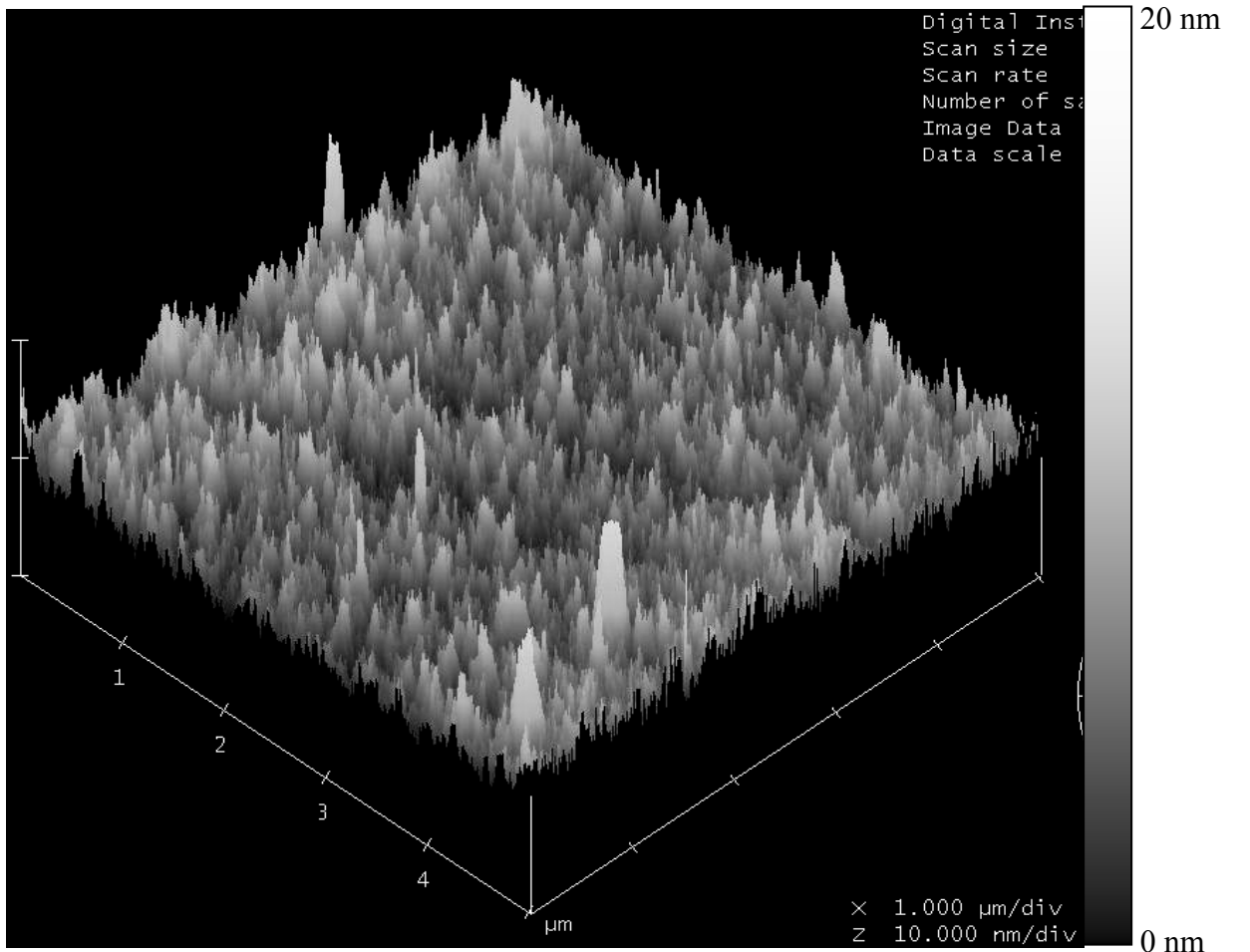


Şekil 5.13. Elektron difraksiyon izleri (Musa(b) et al., 2005; Akan et al., 2007).

Bor elementinin ince filmlerinin nano yapıları üzerinde gerçekleştirilen şekil 5.13' deki elektron difraksiyonu hesaplamaları ile kristal yapısı rombohedral yapıya

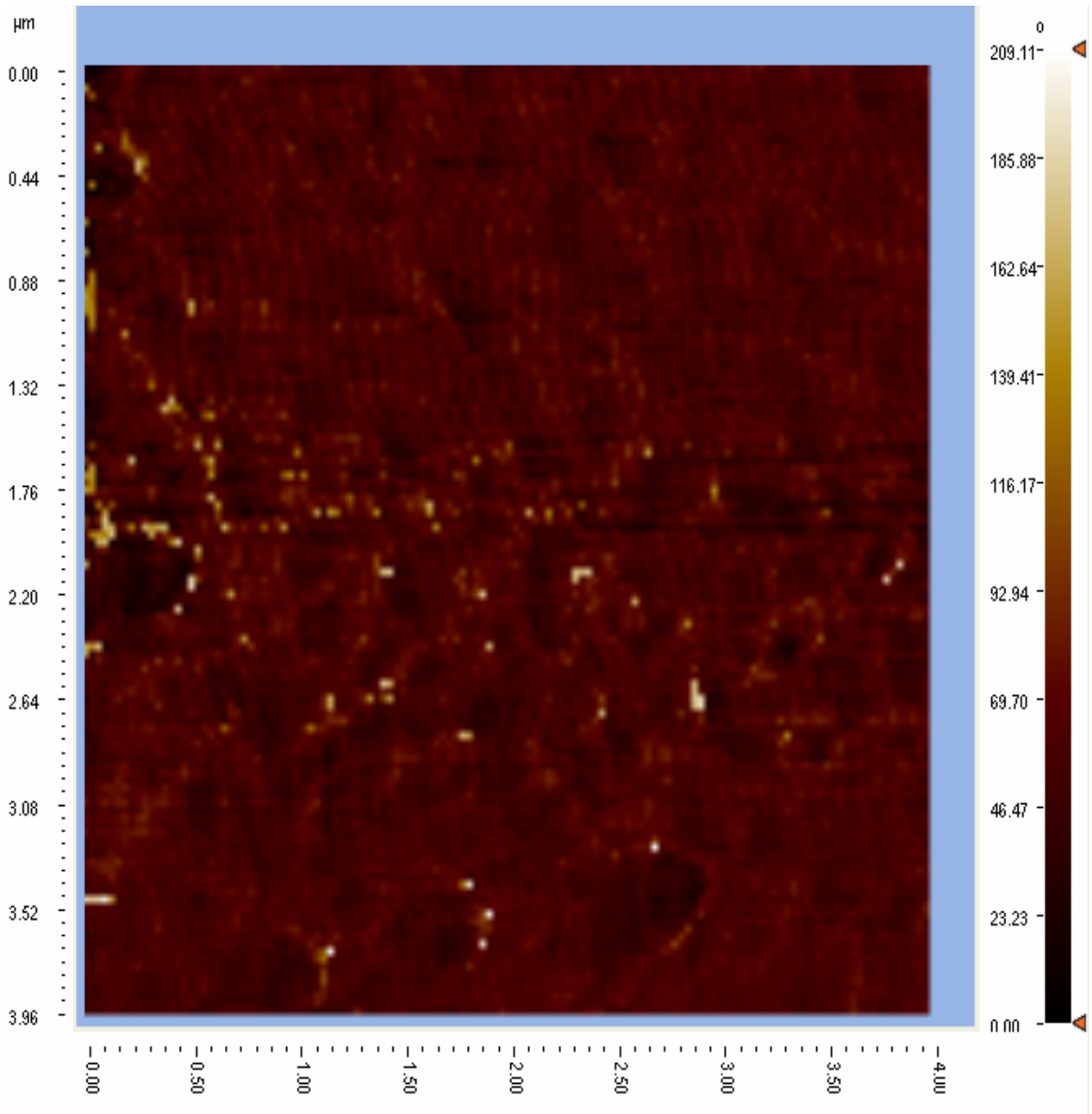
karşılık gelmektedir. Yüksek çözünürlüklü geçirmeli elektron mikroskobu (HRTEM) ve elektron izlerine göre hesaplanan değerlerde bor ince filmler (122), (303), (220), (042), (404), (146), (213) düzlemlerinde farklı yönelimlere sahiptir. Bu değerler literatürdeki 80–0324 kodlu bor yönelimleri ile uyşmaktadır (Akan et al., 2007).

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), ince filmlerin yüzeylerinin pürüzlülüğünü anlamaya yöneliktir. Şekil 5.14’ de bor ince filminin AFM görüntüsü görülmektedir. Ölçümler, Digital Instruments - MMSPM Nanoscope IV marka cihazla yapılmıştır, bor ince filmin pürüzlülüğü 10 nm’ nin altında çıkmıştır. Bu son derece düz bor ince filmler üretildiği anlamına gelmektedir (Musa(b) et al., 2005; Akan et al., 2007).



Şekil 5. 14. Bor ince filminin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü (Akan, et al., 2007).

Bor filmlerinin AFM cihazı kullanılarak topografik görüntüleri şekil 5.15’ de elde edilmiştir. Görüntüler “tapping modda” alüminyum kaplı silicon problar yardımı ile $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ lik alanlardan elde edilmiştir. Topografik görüntüden, koyu renkteki bölgelerin düzenli, parlak bölgelerin ise düzensiz yapıda olduğu görülmektedir. Bor ince filmin pürüzlülüğü ortalama 9 nm’ dir.



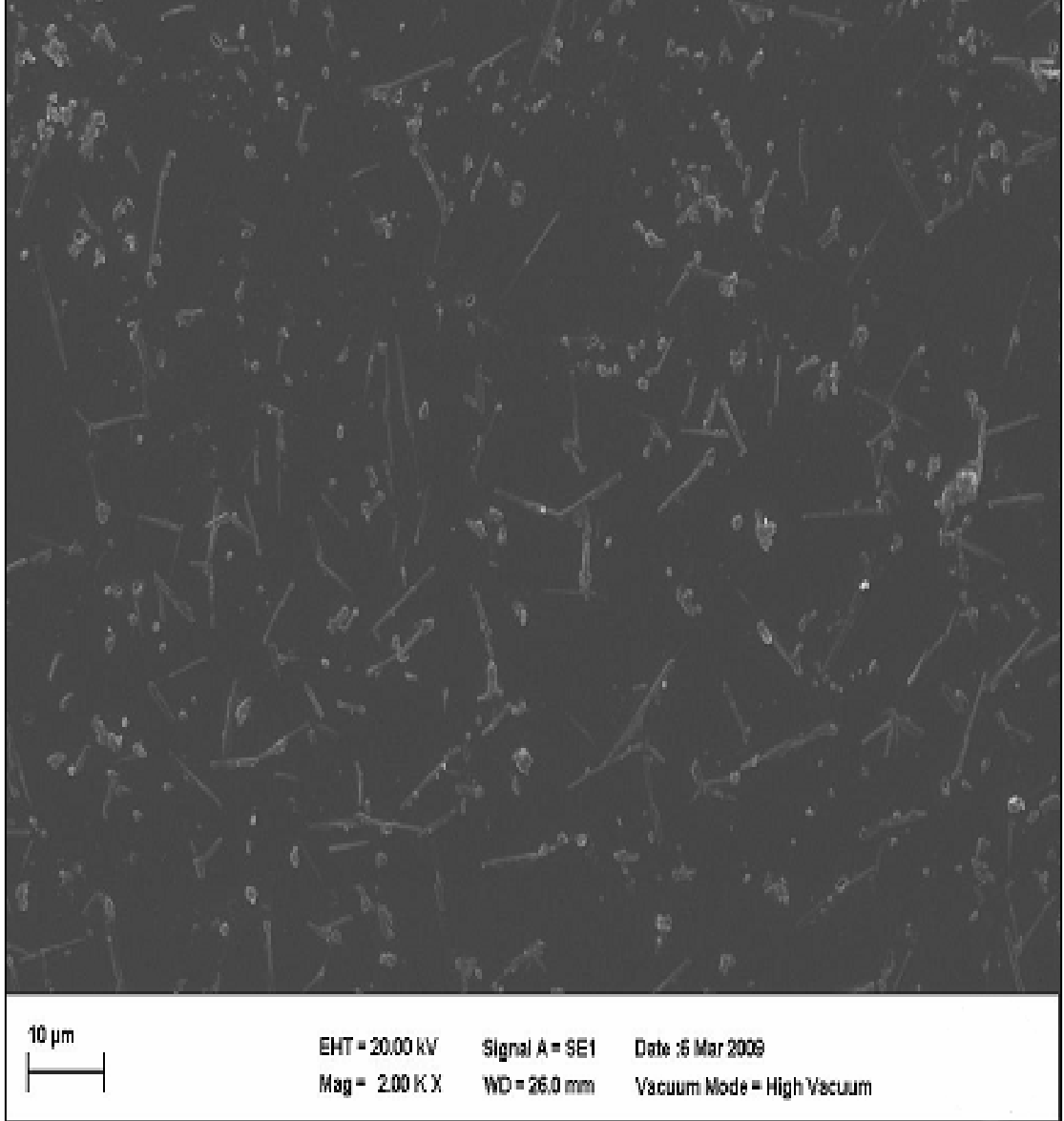
Şekil 5. 15. Bor ince filmlerin başka bir atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü

Enerji difraksiyonu X- Işını (EDX) ile ağırlıkça yüzde oranları tayin edilmektedir. Bunun için, Bruker EDX (dedektör tip: Xflash 4010, dedektör kalınlığı:0.45mm) elementel analiz programı kullanılmıştır. Çizelge 5.2' de görüldüğü gibi, üretilen bor elementinin ince filmlerinin EDX sonuçlarına göre, yüzdece ağırlık oranı bakımından, % 15,80 oranında bor, % 21,01 oranında silisyum, % 2,80 oranında kalsiyum, % 6,13 oranında sodyum ve % 54,26 oranında oksijen görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde bor elementinin ince filminin üretildiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.2. Bor ince filmlerin enerji difraksiyon X - ışını (EDX) sonuçları

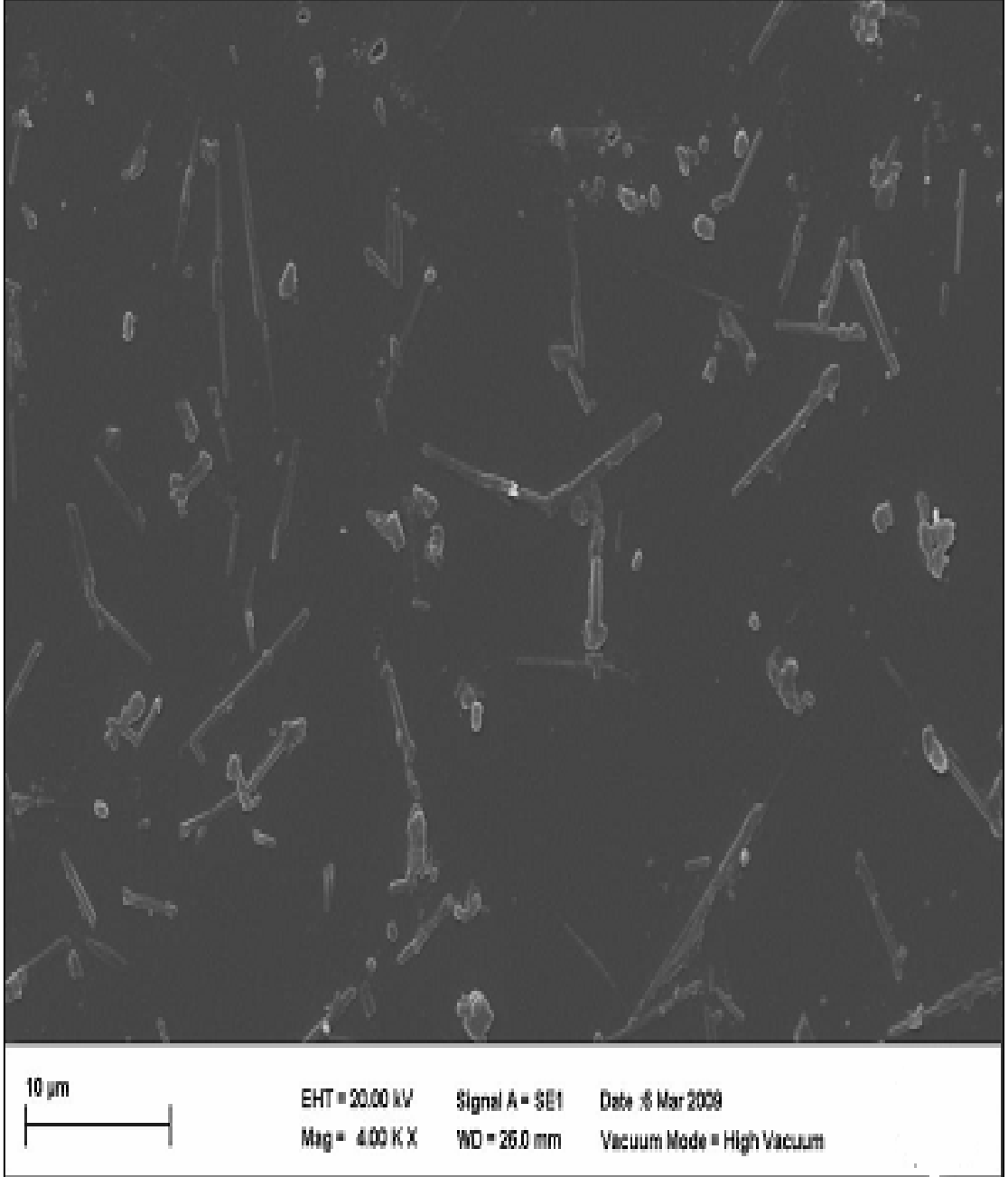
Element	Yüzdece Ağırlık (Wt) %
B	15,80
Si	21,01
Ca	2,80
Na	6,13
O	54,26

Taramalı elektron mikroskobu, numunelerin yüzeysel yapılarının gösterilmesini sağlar. Carl Ziess EVO marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak elde edilen şekil 5.16' deki SEM görüntüsünde bor parçacıklarının kimi bölgelerde dairesel kimi bölgelerde ise ince çubuk şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 16. Bor ince filmlerin 2000X büyütmede taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

Şekil 5.17' de daha büyük bir büyütmede (4000X) alınan görüntülerde bor parçacıklarının oluşumu daha net olarak görülmektedir.



Şekil 5. 17. Bor ince filmlerin 4000X büyütmede taramalı elektron mikroskobunda başka bir (SEM) görüntüsü

5.2. Magnezyum İnce Filmlerin Termiyonik Vakum Ark (TVA) Tekniği ile Üretilmesi

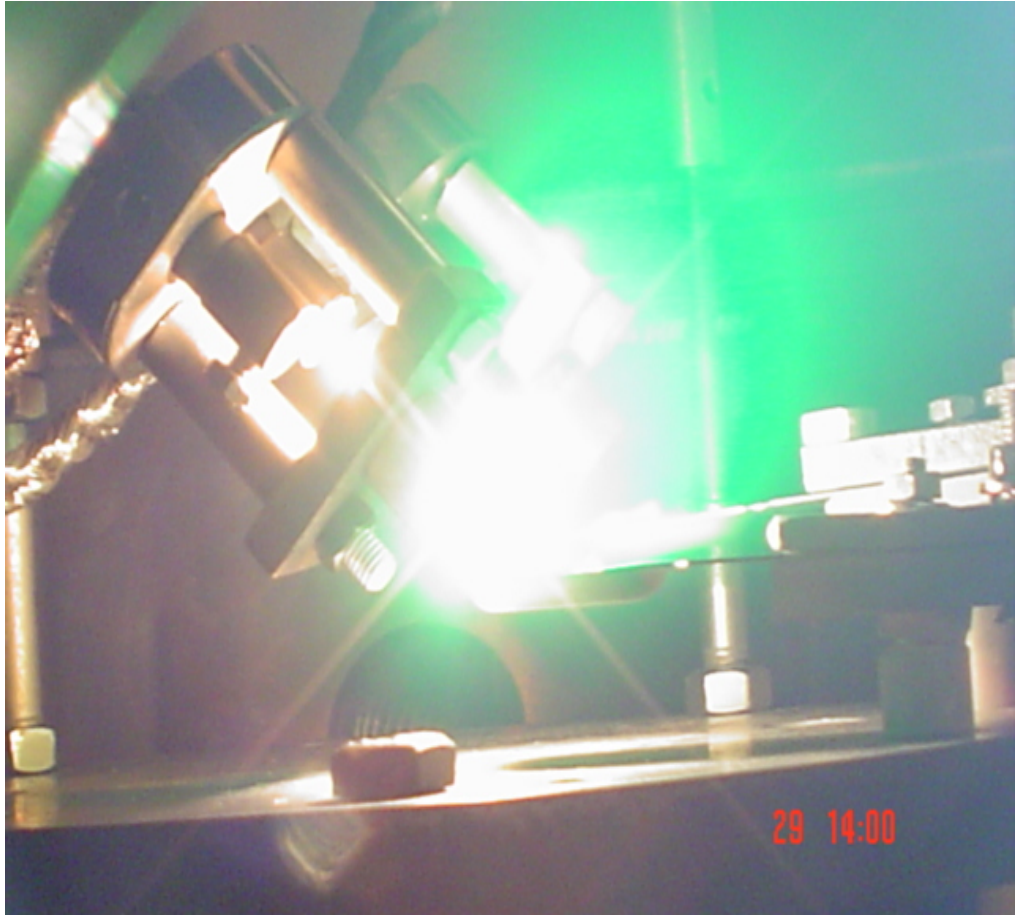
Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile magnezyum' un ince film olarak üretimi ilk kez gerçekleştirilmiş ve elde edilen filmler analiz edilerek bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Magnezyum'un çok aktif olması ve oksitlenmeye karşı çok hassas olması nedeniyle ince film üretimi esnasında erime sıcaklığına yakın (650 °C) derecelerde oksijen ile karşılaştığı anda derhal magnezyum oksit (MgO) oluşturmaktadır. Bunun için vakum odasının yüksek vakumda olması gerekir ve ince filmin sistemden çıkarılmasında dış ortam sıcaklığına kadar soğuması beklenilmelidir. Sistemde vakumu düşürmek için hava yerine argon veya azot gazı kullanılması daha uygun olabilir. Özellikle üretim sonrasında, magnezyum ince filmlerin vakum odasından çıkarılması esnasında vakum odasına çok hassas ve yavaş olarak hava verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kaplama işlemi bittikten sonra deşarj olmaksızın vakum pompası 3–4 saat çalıştırılmış ve pompa kapatıldıktan sonra ise 16 saat beklenerek vakum odasının iç sıcaklığının ısısının düşmesi sağlanmıştır.

5.2.1. Magnezyum ince filmlerin TVA tekniğinde üretim parametreleri

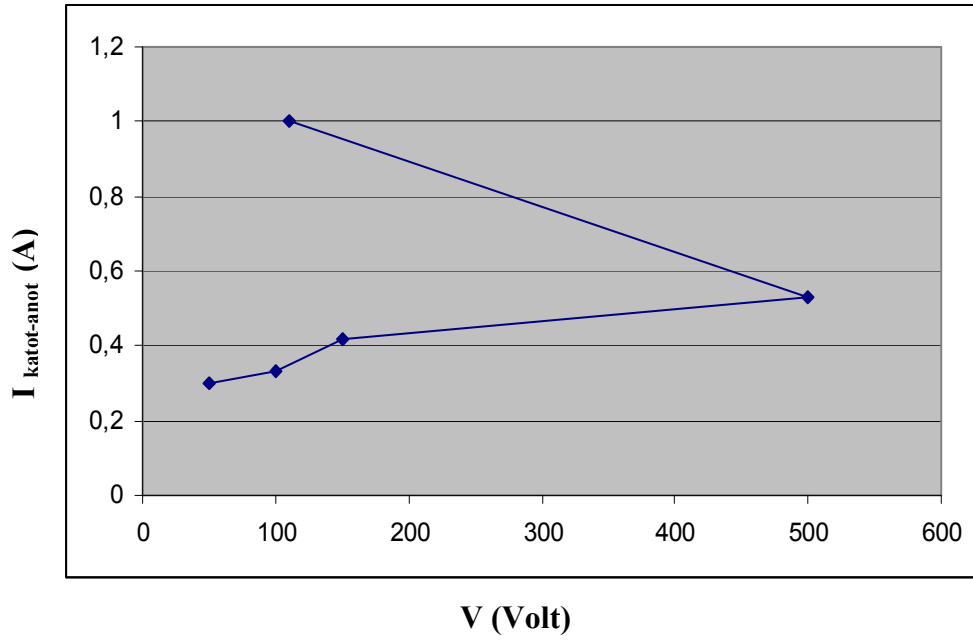
Magnezyum' un erime noktasının 650 °C gibi düşük bir sıcaklıkta olması, onun, erime noktası yüksek birçok materyale göre deşarjının oluşmasını daha da kolaylaştırmaktadır. Magnezyum ince filmin TVA tekniğiyle üretilmesi esnasında vakum odasının basıncı 2×10^{-6} Torr' dur. Magnezyumun depolanması esnasında elektron tabancasında 0,5 mm lik tungsten tel kullanılmıştır. Anot ve katot arasındaki mesafe 3–4 mm civarındadır. Katoda uygulanan filaman akımı 23 A ve anot ile katot arasına uygulanan voltaj 500 volt tur. Uygulanan bu akım ve voltaja bağlı olarak, deşarj sırasında anot ve katot arasında oluşan deşarj akımı 530 mA' dir. Kaplamalarda, Alfa Aesar firmasından % 99,95 saflıkta alınan magnezyum granülleri kullanılmıştır. Şekil 5.18' da üretim esnasında, magnezyum' un plazması görülmektedir

TVA sisteminde anot olarak kullanılan pota, depolanacak malzemenin erime noktasına bağlı olarak değişmektedir. Magnezyum' un TVA tekniği ile ince film olarak üretilmesi sırasında, onun erime noktasına bağlı olarak çalışmamızda kullandığımız pota tungsten potadır.



Şekil 5. 18. Depolama esnasında magnezyum' un plazması

TVA sisteminde magnezyum elementinin deşarjı enasında uygulanan filaman akımı 23 A' dir. Anot ve katot arasında oluşan deşarj akımına karşılık uygulanan voltaj değerleri Şekil 5.19' de görülmektedir.



Şekil 5. 19. Magnezyum elementinin termiyonik vakum ark (TVA) deşarjının akım-voltaj grafiği

Şekil 5.20' de yukarıdaki Őartlarda üretilen magnezyum elementinin ince filminin fotoğrafı görülmektedir.

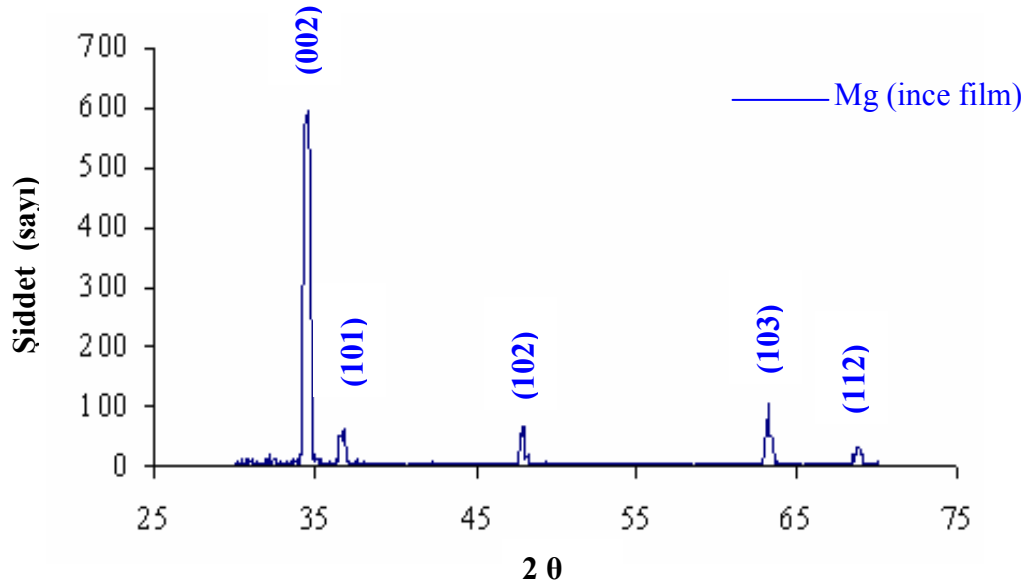


Şekil 5.20. Elde edilen magnezyum elementinin ince filminin fotoğrafı

5.2.2. TVA tekniği ile üretilen magnezyum ince filmlerin analizleri

Bu bölümde, termiyonik vakum ark tekniği (TVA) ile oluşturulan magnezyum deşarjlarından elde edilen magnezyum ince filmlerin özellikleri incelenmiştir. Elde edilen ince filmlerin X-ışınları difraksiyonu (XRD), Enerji Difraksiyon X- Işını (EDX), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) analizleri verilmiştir.

Cam alttaş üzerinde üretilen ve şekil 5.21' de görülen magnezyum elementinin ince filmlerinin XRD grafiğine bakıldığında kristal bir yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 21. Magnezyum elementinin ince filmlerinin X- ışınları difraksiyonu (XRD) grafiği

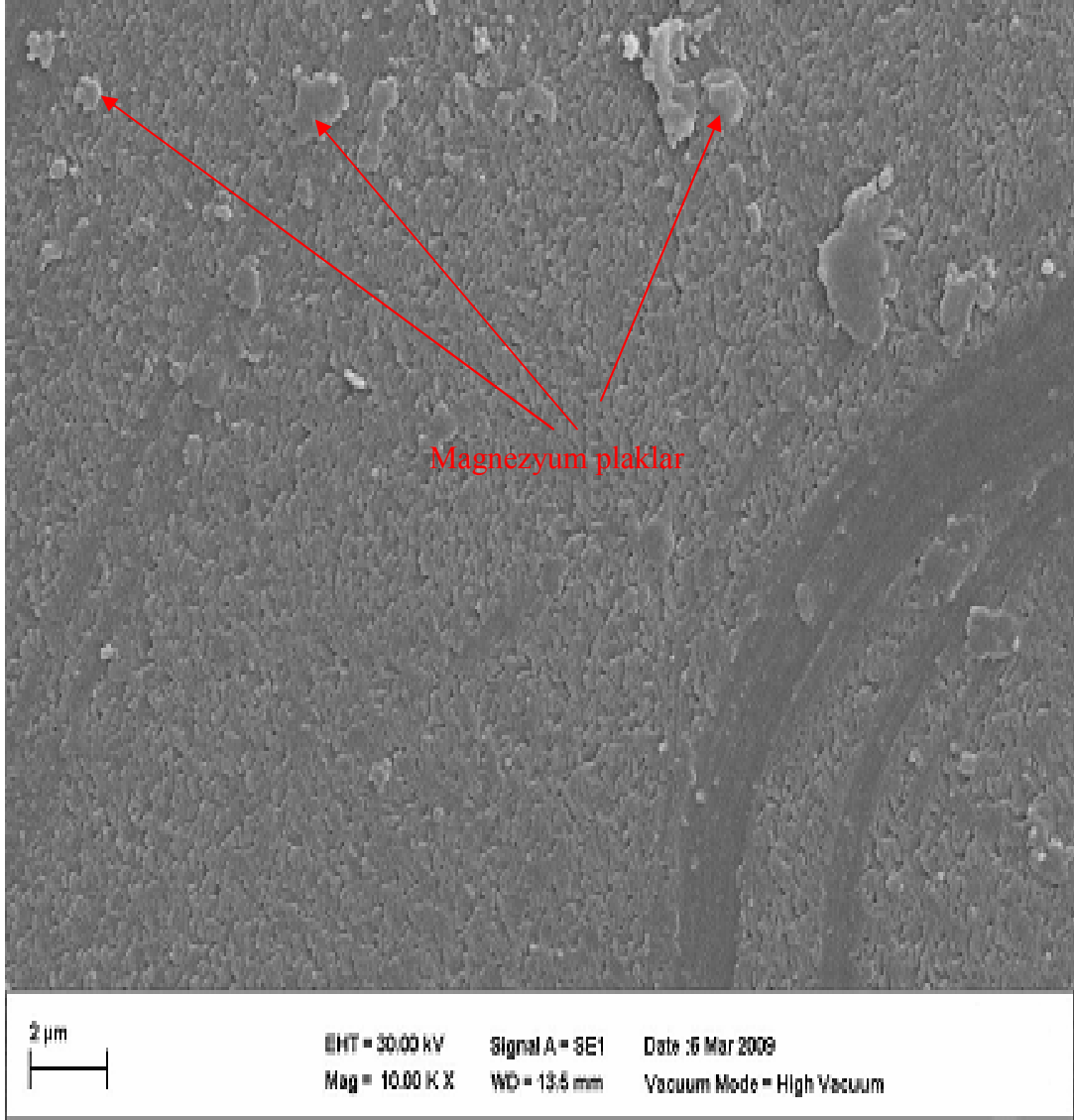
Bruker EDX (dedektör tip: Xflash 4010, dedektör kalınlığı:0.45mm) elementel analiz programı kullanılarak incelenen magnezyum ince filmlerde çizelge 5.3' de analiz sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde magnezyum elementinin ince film olarak cam üzerinde üretildiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.3. Magnezyum ince filmlerinin enerji difraksiyon X - ışını (EDX) sonuçları

Element	Yüzdece Ağırlık (Wt) %
Mg	55,35
Si	34,65
Ca	5,62
Na	4,38

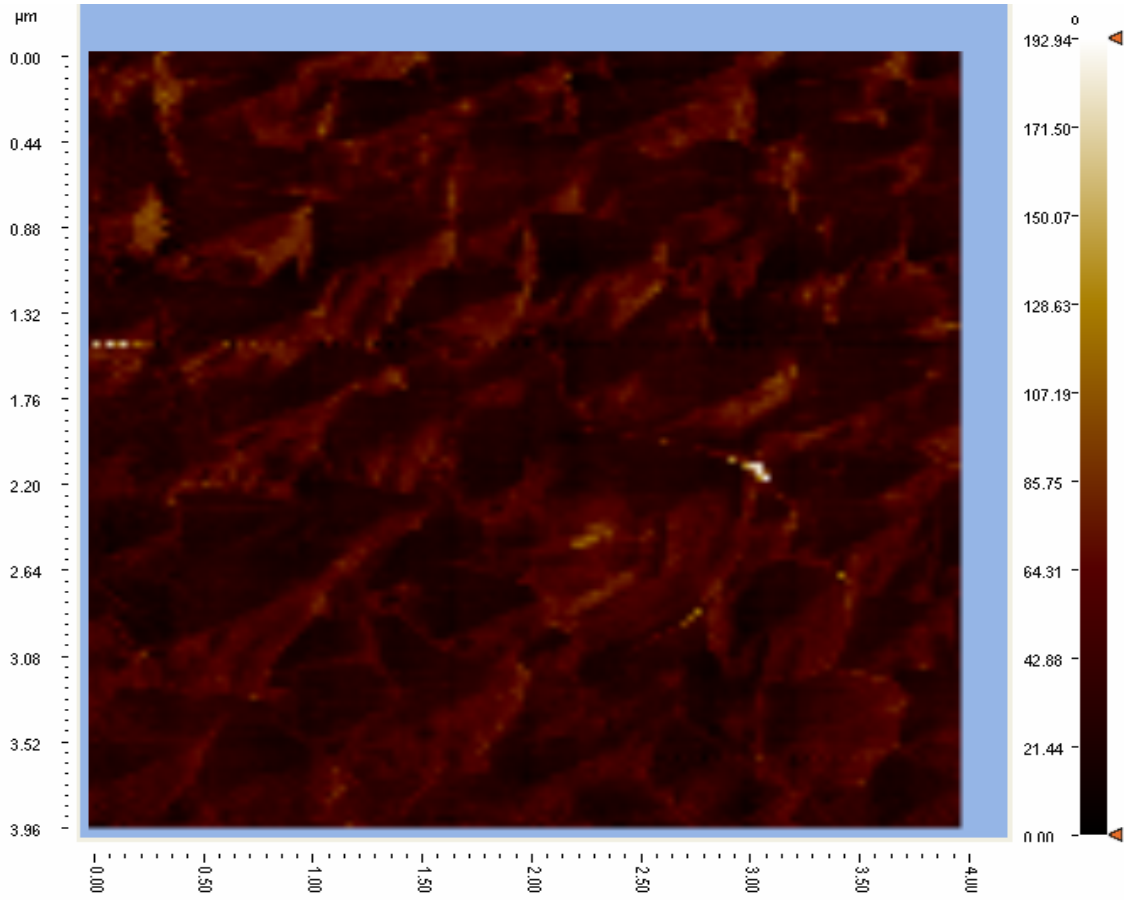
Çizelge 5.3' de, üretilen magnezyum elementinin ince filmlerinin EDX sonuçlarına göre, yüzdece ağırlık oranı bakımından, % 55,35 oranında magnezyum, %34,65 oranında silisyum, %5,62 oranında kalsiyum, %4,38 oranında sodyum görülmektedir. Burada silisyum, sodyum ve kalsiyumun cam tabandan dolayı ortaya çıktığı görülmektedir.

Magnezyum ince filmlerin 10000x büyütmede elde edilen şekil 5.22' deki SEM görüntüsünde, magnezyum parçacıklarının plaklar şeklinde oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5. 22. Magnezyum elementinin ince filmlerinin 10000x büyütmede taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü

Şekil 5.23’ deki magnezyum ince filmlerin AFM görüntülerinden oluşan magnezyum plakların varlığı daha net olarak görülmektedir. Görüntü üzerinde görülen parlaklıklar ise oluşan plakalar arasında boyut farkı olduğunu göstermektedir. Ayrıca magnezyum filmlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü 18 nm’ dir.



Şekil 5. 23. Magnezyum elementinin ince filmlerinin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüsü

5.3. Magnezyum Borür (MgB_2) İnce Filmlerinin TVA Tekniği Katkısıyla Üretilmesi

Magnezyum borür (MgB_2) bileşiğinin ince filmi, krom kaplı cam alttaş üzerine magnezyum; magnezyum üzerine bor ve bor üzerine tekrar magnezyum ince filmleri üç katman (sandviç) yapıda oluşturulmuştur.

Magnezyum borür (MgB_2) bileşiğinin ince filminin oluşturulmasının deneysel aşamaları aşağıdaki şekilde planlanmış ve uygulanmıştır.

a- Taban malzeme üzerine magnezyum ince filmin, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümünde, Termal buharlaştırma tekniği ile yapılması,

b- Magnezyum üzerine bor ince filmin, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik bölümü, Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında TVA tekniği ile yapılması,

c- Bor üzerine tekrar magnezyum kaplamanın, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümünde, DC Magnetron Saçtırma tekniği ile yapılması.

d- Oluşturulan üç katman (sandviç) yapının ısı işlemlerinin İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümünde yapılması.

5.3.1. MgB₂ ince film üretiminde alttaşın belirlenmesi

Yapılan ön çalışmalarda, magnezyum borür ince film üretiminde alttaş olarak cam, silisyum (Si), stronsiyum taytanat (SrTiO₃) denenmiş, bunlara I. katman magnezyum, üzerine II. katman bor (sandviç yapının ikinci tabakası) ve daha sonra da III. katman magnezyum kaplanarak tavlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Ancak bu alttaşlardan cam haricinde hiçbirisinde özdirenç-sıcaklık (R-T) ölçümleri sonucunda süperiletkenliğe geçiş gözlenememiştir. Sonuçta, alttaş olarak cam kullanılmasına karar verilmiştir.

Taşıyıcı görevi görecek olan alttaş cama magnezyum borür' ün tutuculuğunu arttırmak üzere sandviç katmanından önce ince bir krom kaplama (termal buharlaştırma tekniğiyle) yapılmıştır. Şekil 5.24' da termiyonik vakum ark(TVA) tekniği ile farklı alttaşlar üzerine kaplanan MgB₂ filmler görülmektedir.



Şekil 5.24. Termiyonik vakum ark(TVA) tekniği ile farklı alttaşlar üzerine kaplanan MgB_2 filmler

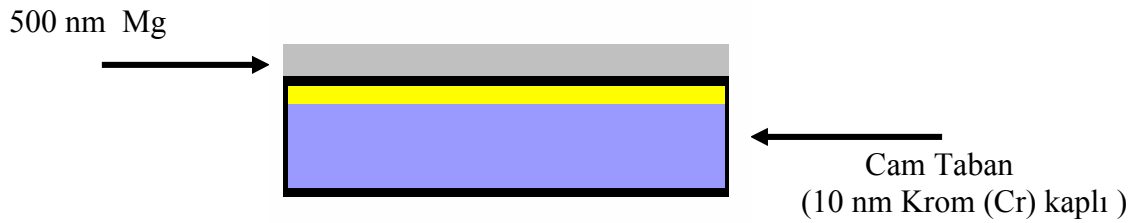
5.3.2. MgB_2 ince film üretiminde I. katman magnezyum ince filmin üretilmesi

Cam alttaş üzerine I. katman olarak magnezyum ince filmi üretilmiştir. Çalışmanın bu kısmı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde termal buharlaştırma yöntemiyle yapılmıştır. Leybold Univex 300 marka termal buharlaştırıcı cihazı kullanılmıştır. Cihaz şekil 5.25’ de görülmektedir.



Şekil 5. 25. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (IYTE)' de bulunan leybold univex 300 marka termal buharlaştırıcı

Yapılan çalışmada öncelikle cam taban, ultrasonik temizleyici ile 10 dakika aseton ve hemen sonrasında saf su ile yıkanmıştır. Cam taban üzerine 10 nm krom (Cr) kaplanmış, üzerine 500 nm magnezyum ince filmi üretilmiştir. Şekil 5.26 de şematik olarak bu kaplama görülmektedir.



Şekil 5. 26. MgB_2 ince filmin I. katman (magnezyum) ' lı yapısı

I. Katman (Magnezyum) ince filmin üretim parametreleri

İnce film üretim esnasında buharlaştırma şartlarına bakıldığında vakum odası basıncı 3×10^{-6} Torr ve filaman akımı 160 A dir.

5.3.3. MgB₂ ince film üretiminde II. katman bor ince filmin üretilmesi

İkinci katman olarak bor ince film TVA sistemiyle üretilmiştir. Çalışmanın bu kısmı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.27’ de magnezyum üzerine kaplanan bor’ un şematik gösterimi verilmiştir. Bor’ un kaplanmasıyla birlikte oluşturulacak sandviç yapının ara tabakası (ikinci katman) elde edilmiştir.

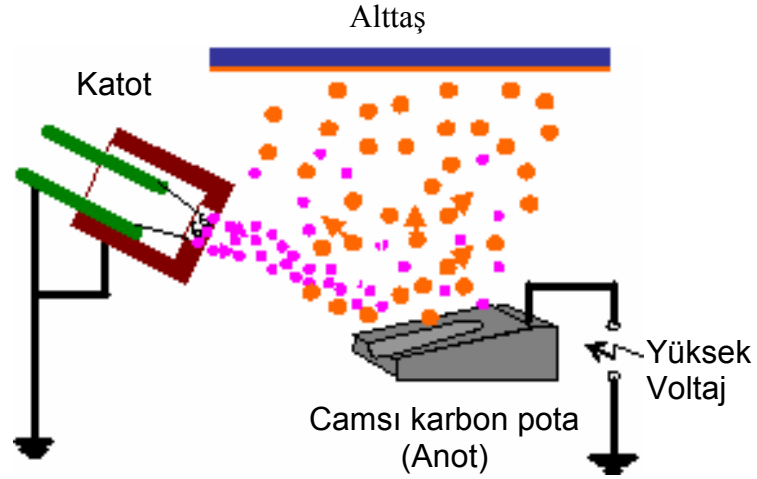


Şekil 5. 27. MgB₂ ince filmin I. katman (magnezyum), II. katman (bor) ‘ lı yapısı

II. Katman (Bor) ince filmin üretim parametreleri

İkinci katman bor ince film üretiminde vakum odasının basıncı 5×10^{-6} Torr, elektrotlar arası mesafe 4–5 mm, uygulanan filaman akımı 21 A ve anot ile katot arasına uygulanan potansiyel fark 2500 voltur. Deney sırasında anot ve katot arasında oluşan deşarj akımı 200 mA dir. Şekil 5.28’ de TVA sisteminin şematik olarak gösterimi görülmektedir. Şekil 5.8’ de depolama esnasındaki bor’ un plazması görülmektedir. Bu

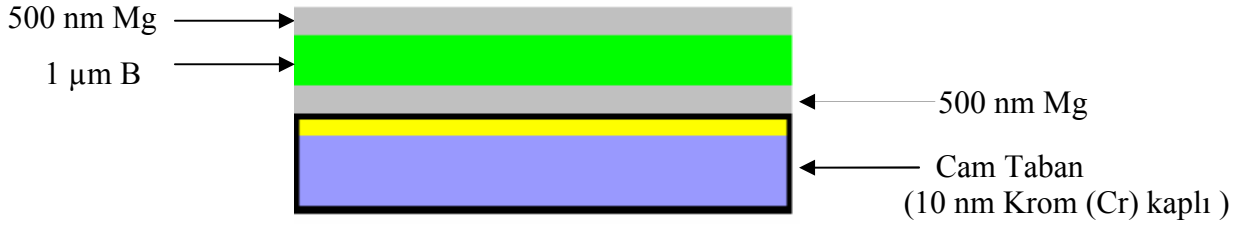
şartlar altında depolanan bor ince filmin kalınlığı Cressington MTM-10 marka kalınlık ölçer ile yaklaşık 1 μm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. 28. Bor' un depolanmasında termiyonik vakum ark (TVA) sisteminin şematik gösterimi (Musa(a), 2005).

5.3.4. MgB_2 ince film üretiminde III. katman magnezyum ince filmin üretilmesi

Üçüncü tabaka olarak tekrar magnezyum kaplama, DC magnetron saçtırma sistemi kullanılarak bor' un üstüne depolanmıştır. DC magnetron saçtırma tekniğinin kullanılmasındaki neden; kaplamanın buharlaştırma yöntemine göre daha yavaş olması, dolayısıyla kaplanacak malzeme kalınlığının kontrolünün daha rahat yapılabilmesidir. Gerçektende alt katman 500 nm olarak kaplanmış, üst katmanında bu teknikle aynı kalınlıkta kaplanması sağlanmıştır. Böylelikle sandviç benzeyen bir yapı oluşturulmuştur. Bu yapı şekil 5.29 de görülmektedir.



Şekil 5. 29. MgB₂ ince filmin I. katman (magnezyum), II. katman (bor), III. katman (magnezyum) ' lı yapısı

III. Katman (Magnezyum) ince filmin üretim parametreleri

Çalışmanın bu kısmı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Fizik Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarımızda DC magnetron saçırma sisteminin vakum odası basıncı 2×10^{-6} Torr' dur. Şekil 5.30 de DC magnetron saçırma sistemi görülmektedir. Plazmayı oluşturmak için % 99,99 saflıkta Argon gazı kullanılmıştır (Okur, et al., 2007).

Sistemin basıncı 2,4 mTorr ve argon gaz akışı MKS marka gaz akış kontrolörüne göre 20 sccm (standart cubic centimeters per minute=dakikada bir cm^3 , lük akış miktarı) de tutulmuştur. DC magnetron saçırma sistemi ile söktürme ön işlemi sırasında, 30 dakika, 30 Watt dc güç ve 72 mA akım uygulanmıştır (Okur, et al., 2007).



Şekil 5. 30. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (IYTE)' de bulunan doğru akım(DC) magnetron saçtırma sistemi

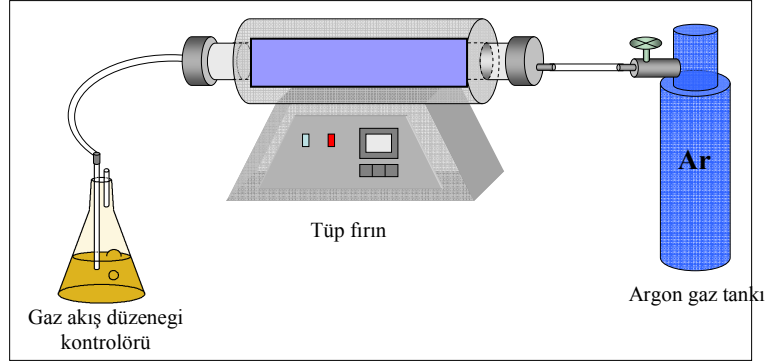
Kapak (shutter) açılarak DC güç ve uygulanan akım sırasıyla 15 Watt ve 56 mA olarak değişir (Okur, et al., 2007).

5.3.5. MgB₂ ince film üretiminde üç katmanlı (sandviç) filmin tavlama işlemi

Elde edilen üç katmanlı (sandviç) filmler şekil 5.31 de görüldüğü gibi Argon gazı ortamında, tüp fırında,

- 400 °C de 30 dakika kristalizasyon amaçlı
- 650 °C de 15 dakika kimyasal reaksiyon amaçlı olarak ısıtılarak, MgB₂ ince film haline getirilmiştir (Okur, et al., 2007).

Tavlama



Şekil 5. 31. Tavlama Sisteminin Şematik Çizimi



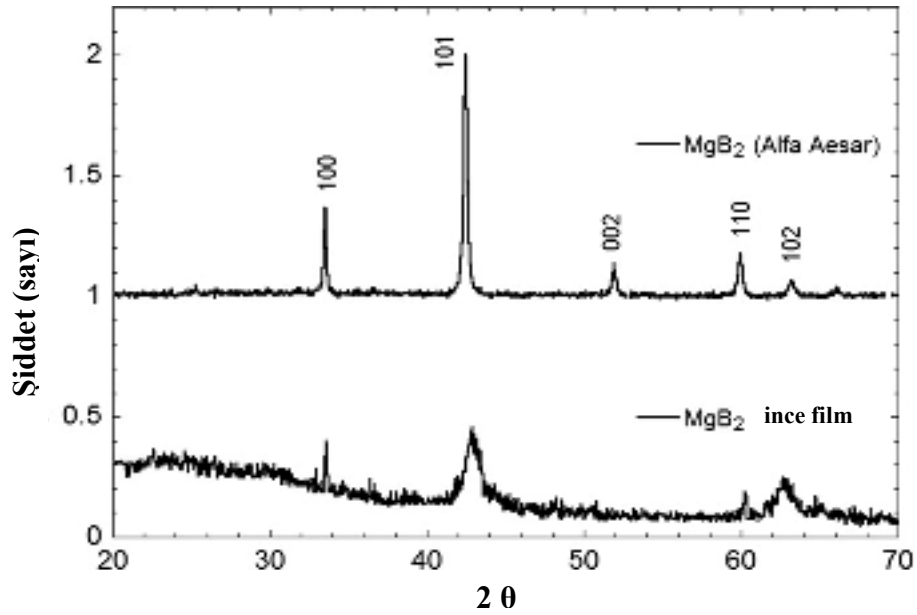
Şekil 5. 32. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (IYTE)' de bulunan tavlama sisteminin resmi

MgB₂ ince film üretiminde üç katmanın her biri yukarıda ifade edildiği gibi ayrı ayrı tekniklerle üretilmişlerdir. Birinci ve üçüncü katman teknikleri uzun süredir üretimde kullanılan teknikler olup, herhangi bir problem oluşturmamışlardır. İkinci katman ilk defa tarafımızdan gerçekleştirilen TVA tekniği olup, karşılaşılan problemler çalışmanın bor ince film üretiminde anlatılanlara benzer problemler olmuş ise de ikinci katman üretilenmiştir.

5.3.6. Üretilen MgB₂ ince filmlerinin analizleri

Bu bölümde, termiyonik vakum ark tekniği (TVA) katkısı ile magnezyum borür (MgB₂) ince filmlerin özellikleri incelenmiştir. Elde edilen ince filmlerin X-ışınları difraksiyonu (XRD), Enerji Difraksiyon X- Işını (EDX), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Özdirenç-Sıcaklık (R-T) analizleri verilmiştir.

Şekil 5.33' de cam taban üzerinde üretilen MgB₂ ince filmi ve ticari olarak satılan toz MgB₂ arasındaki mukayese için XRD sonuçları görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi cam taban üzerinde üretilen MgB₂ ince filminin gözlenen difraksiyon pikleri, ticari olarak satılan Alfa Aesar toz MgB₂' nin pikleri kadar keskin değildir. 43° civarında (101) düzlemine yakın ve 62,5° civarında (10 2) düzlemine yakın genişleyen pikler, film içinde bazı MgO oluştuğunu işaret etmektedir. Bu gerçek, cam taban üzerinde üretilen MgB₂ ince filminin zayıf bir kristal yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar, başka çalışmalarda da söylenmektedir (Akinaga., 2003) (Mori, et al.,2004).



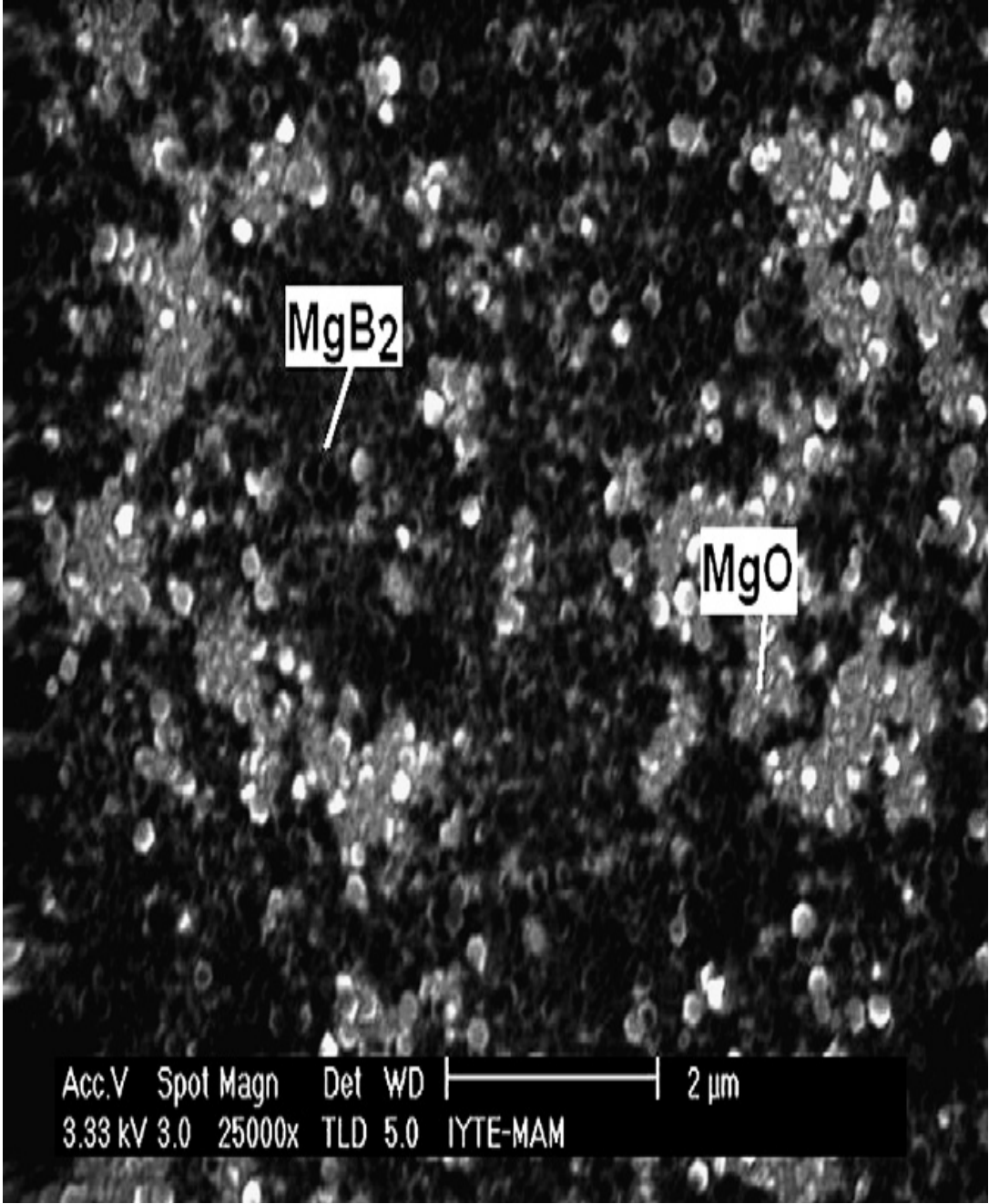
Şekil 5. 33. Cam Taban üzerinde üretilen süperiletken magnezyum borür (MgB₂) ince filmi ve ticari olarak satılan toz magnezyum borür (MgB₂) mukayesesi için X- ışınları difraksiyonu (XRD) sonuçları (Okur, et al., 2007).

Çizelge 5.4' de, üretilen MgB_2 ince filmlerin EDX sonuçlarına göre, yüzdece ağırlık oranı bakımından, % 49,41 oranında bor, % 37,19 oranında magnezyum, % 9,63 oranında oksijen, % 3,77 oranında krom görülmektedir.

Çizelge 5.4. Magnezyum borür (MgB_2) ince filmlerin enerji difraksiyon X - ışını (EDX) sonuçları

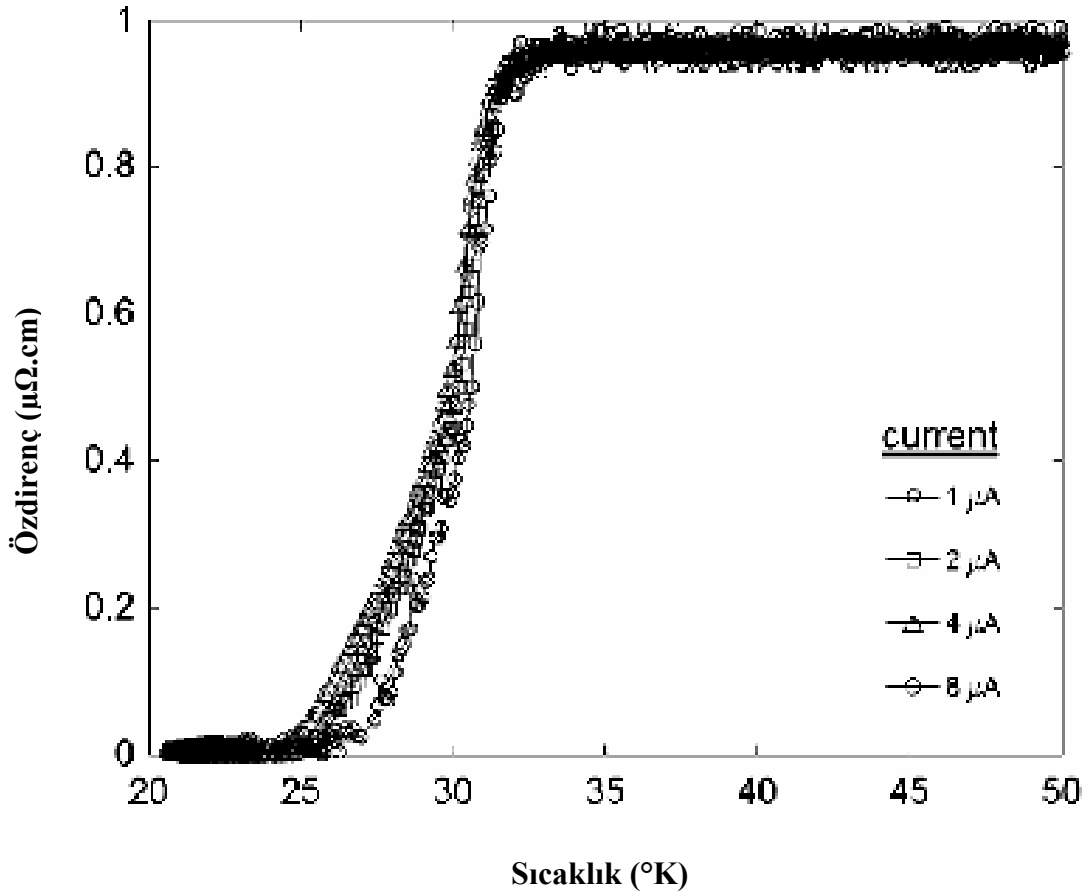
Element	Yüzdece Ağırlık (Wt) %
B	49,41
Cr	3,77
O	9,63
Mg	37,19

Şekil 5.34' da cam taban üzerindeki MgB_2 ince filminin SEM görüntüsü verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi karanlık bölgeler MgB_2 , parlak bölgeler ise MgO fazlarını göstermektedir.



Şekil 5. 34. Cam taban üzerindeki magnezyum borür (MgB_2) ince filmi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü (Okur, et al., 2007).

Şekil 5.35’ de elde edilen MgB_2 ince filmin öz direnç-sıcaklık (R-T) grafiği görülmektedir. Dört nokta prob yöntemi kullanılarak sıcaklığa karşı direnç ölçümü yapılmıştır. Şekil 5.35’ de görüldüğü gibi filmler üzerine $1 \mu A$ den $8 \mu A$ ’ e kadar akımlar uygulanmıştır. Bu grafiğe göre $650 \text{ }^\circ C$ de tavlama sonrası elde edilen MgB_2 süperiletken ince filmlerde, direnç $33 \text{ }^\circ K$ ’ de düşmeye başlamış ve $27 \text{ }^\circ K$ ’ de sıfıra düşmüştür (Okur, et al., 2007).



Şekil 5. 35. Süperiletken magnezyum borür (MgB_2) ince filmin cam taban üzerindeki öz direnç – Sıcaklık (R-T) eğrisi (Okur, et al., 2007).

6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bor ve magnezyum ince filmlerinin, Termiyonik Vakum Ark(TVA) tekniği ile, üretilmeleri ilk defa bu çalışmada gerçekleştirilmiş ve bazı analizleri yapılmıştır. Magnezyum borür (MgB_2) ince filmlerinin TVA katkısıyla üretilmesi de ilk kez gerçekleştirilmiş ve bazı analizleri yapılmıştır.

Günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan bor' un ince filmlerin üretilmesi ve çeşitli yüzeylere kaplanması, kaplandığı malzemeye kazandırdığı özellikler ve kullanıldığı yerler bakımından oldukça önemlidir. Ancak erime noktasının çok yüksek olması nedeniyle bu tip çalışmalarda önemli problemler oluşabilmektedir. Magnezyumun çok aktif olması ve oksijen tutuculuğunun fazla olması nedeniyle ince filmlerinin üretimi özel dikkat ve bazı şartları gerektirmektedir.

Bor ve magnezyumun ince film olarak üretilmesine yönelik birçok teknik bulunmaktadır. İlk kez bu çalışmada ortaya konulan TVA tekniğinin yapısı, özellikleri ve diğer tekniklere göre üstünlüğü dördüncü bölümde anlatılmış olup analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile bu tekniğin adı geçen materyaller için ince film üretiminde kullanılabileceği görülmüştür.

TVA tekniği ile bor ince film üretiminde pota materyali olarak tungsten, molibden, grafit ve camısı karbon potalar denenmiştir. TVA için erime noktasının yüksek olması ve bor elementi ile alaşım yapmaması nedeniyle camısı karbon pota kullanılması uygun bulunmuştur.

Elde edilen bor ince filmlerin XPS, HRTEM, AFM, EDX, SEM, analizleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- XPS analiz sonuçlarına göre bor elementinin üretilen ince filmlerde yüzde miktarı % 68' dir. Bu, bor ince filmlerin TVA tekniği ile üretilebildiğini ortaya koymaktadır.

- 1,4 Å çözünürlükte 1.2 milyon kez büyütülmüş HRTEM görüntüsüne göre bor ince filmin yapısında nano boyutlu desenler ve yönelimler görülmüştür. Bu sonuçlar, nanoteknoloji alanında kullanılabilen bor ince filmlerin TVA tekniği ile üretilebileceğini göstermektedir.
- Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile bor ince filmlerin pürüzlülüğünün değeri 10 nm' nin altında çıkmıştır. Bu son derece düz, bor ince filmlerin elde edildiği anlamına gelmektedir. Filmlerin pürüzlülük değerinin düşük olması TVA ile üretilen bor ince filmlerin homojen, nanoteknolojide rahatlıkla kullanılabilen ve ultra ince filmlerin de yapılabilceğini göstermektedir.
- EDX sonuçlarına bakıldığında, bor elementinin yüzdece miktarı % 15,35'dir. Silisyum, kalsiyum ve sodyum elementlerinin oluş nedeninin alttaş olan camdan geldiği düşünülmektedir.

TVA ile üretilen magnezyum ince filmlerinin, XRD, EDX, SEM ve AFM analizleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Elde edilen XRD analizinde cam alttaşı üzerine üretilen magnezyum elementinin kristal bir yapıda olduğu görülmüştür.
- İnce filmlerinin 10000 büyütmede elde edilen SEM görüntüsünde, magnezyum parçacıklarının plaklar şeklinde oluştuğu görülmektedir. Bunun, magnezyumun erime noktasının düşük olması nedeniyle deşarj anında buharlaşmanın ani olması sonucu oluştuğu düşünülmektedir.
- EDX sonuçlarına bakıldığında, magnezyum elementinin yüzdece miktarı % 55,35'dir. Daha az oranda varlık gösteren silisyum, kalsiyum ve sodyumun elementlerinin oluş nedeninin alttaş olan camdan geldiği düşünülmektedir.

- AFM görüntülerine bakıldığında, oluşan magnezyum plakların varlığı daha net olarak görülmektedir. Filmin pürüzlülük değeri ortalaması 18 nm'nin altındadır. Bu da magnezyum ince filmin homojen bir yapıda olduğunu göstermektedir.

Bor'un, magnezyumla birleşerek oluşturduğu magnezyum borür (MgB_2) bileşiğinin süperiletken özellik göstermesi, süperiletkenliğin günümüzde kullanıldığı teknolojik araştırma ve uygulamalardaki önemi bakımından dikkat çekmektedir.

MgB_2 ince filmi birçok farklı teknik kullanılarak üretilmektedir. Beşinci bölümde anlatılan yöntem ile TVA tekniği magnezyum borür bileşiği üretiminde yer almakla birlikte ana yöntem değildir. Yapılan bu çalışma TVA tekniğinin bir bütün olarak da kullanılabilmesine yönelik sonuçlar vermiştir. Bu yönde çalışmalar yapılması gereklidir.

Elde edilen MgB_2 ince filmlerin, XRD, EDX, SEM, AFM ve R-T analizleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- XRD sonuçlarına göre cam alttaş üzerine üretilen ince filmlerin MgB_2 kristal yapısına sahip oldukları görülmüştür.
- Filmlerin SEM ve EDX görüntülerine bakıldığında karanlık bölgelerin MgB_2 , parlak bölgelerin ise MgO fazlarında oldukları görülmüştür. MgO oluşumunu minimum düzeye indiren çalışmalar yapılmalıdır.
- EDX sonuçlarına göre, filmin içerisindeki bor elementinin yüzde miktarı, % 49,41; magnezyum elementinin yüzde miktarı ise %37,19' dur. Diğer elementler ise düşük oranlarda ve alttaşdan kaynaklanmaktadır.
- Elde edilen MgB_2 ince filmlerin R-T sonuçlarına göre direnç 27 °K' de sıfıra düşmüştür. Bu sonuca göre, TVA katkısıyla elde edilen MgB_2 ince filmleri süperiletken özellik göstermektedir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile bor ve magnezyum elementlerinin ince filmleri Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile ilk kez üretilmiş ve incelenmiştir. Magnezyum borür bileşiminin ince filmi TVA tekniği katkısıyla ilk kez üretilmiştir. Böylelikle ince film üretiminde yeni bir teknik ortaya konulmuştur. İleride, tümüyle TVA tekniği kullanılarak üretilebilecek MgB_2 ince film çalışmaları için bir temel oluşturmuştur. Ayrıca, yüksek erime sıcaklığına sahip bor, düşük erime sıcaklığı ve çabuk oksitlenebilen magnezyum elementlerinin ince filmlerinin gerçekleştirilmesi, bu iki erime sıcaklıkları arasında ve kolay oksitlenebilen materyallerin ince filmlerinin üretiminde TVA sisteminin kullanılabilceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akan, T., 2003, Termiyonik Vakum Ark (TVA)'nın temel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Akan, T(a)., Balbag M.Z., Ekem N., Karakaş E., Pat S., Cenik M.İ., MUSA G., 2006, Bor Termiyonik Vakum Ark Deşarjda Gaz Depolama Etkisinin İncelenmesi, UGHEK': I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGU, Eskişehir
- Akan, T(b)., Ekem N., Demirkol S., Pat S., Balbag M.Z., Cenik M.İ., Deligoz H., Musa G., 2006, Studies on Ag-Al₂O₃ nano-layer composite produced by Thermionic Vacuum Arc Methode (TVA), 6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26, Istanbul,Türkiye
- Akan, T., Ekem N., Pat S., Issever U.G., Balbag M.Z., Cenik M.I., Vladioiu R., Musa G., 2007, Boron Thin Film Deposition By Using Thermionic Vacuum Arc(TVA) Technology, Materials Letters, 61, p. 23–26
- Akan, T., Ekem N., Pat S., Vladioiu R., Musa G., Studies on the Thermionic Vacuum Arc Discharges in the Vapors of Cu-Ag and Cu-Sn Alloys, 2005, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.7, No.5, p.2489-2494
- Akinaga, M., 2003, Synthesis of As-grown superconducting MgB₂ thin films by sputtering method, Cryogenics 43, 567-570
- Akinaga, M., Umeda S., Hasegawa H., Shirasawa T., 2003, A Simple Preparation of Superconducting MgB₂ Thin Films by Composite-Target Sputtering System, Physica C, 388-389, p. 119-120.
- Andrade, E., Chromik S., Jergel M., Falcony C., Strbik V., Rocha M. F., Zavala E.P., 2003, Study of Superconducting MgB₂ Films by Ion Beam Analysis Methods, Thin Solid Films, 443, p.103-107.
- Aswall, D.K. et al., 2001 Physica C 363,149
- Balbag, M. Z., Pat S., Cenik M.I., Akan T., Ekem N., Musa G., 2007, Boron Evaporation and Related Difficulties, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 9, No. 4, p. 858 – 861
- Baykal, D.E., 1999, Hidrotermal ve Mikrodalga Enerjiyle, Lityum İçeren Boratlı Fosfatlı Bileşiklerin Sentezlenmesi, Kristal Yapı ve Termokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Bor Enstitüsü, 2005, BOR, Bor Çalıştayı El Kitapçığı, Ankara.
- Bunshah, R. F., 2001, Handbook of Hard Coatings, Published in the United States of America by Noyes Publications / William Andrew Publishing, LLC Norwich, New York, U.S.A. , p.549
- Buzea, C; Yamashita, T; 2001, Review of Superconductor Properties of MgB₂, Cond-Mat/0108265 to Appear Superconductors, Science and Technology, Topical Review.
- Campbell, D. S., 1978, Active and passive thin films devices, Academic press, London, chapt.2.
- Ciupina, V., Musa G., Vladoiu R., Prodan G., Oancea I., Ekem N., Pat S., Sullivan J., Sayed S., Vasile E., 2007, Investigation of the carbon thin film properties deposited by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology, 8th International Balkan Workshop on Applied Physics, July 5-7, Constanta, Romania
- Chapnik, I. M., 1985, J. Of Matt. Science Lett. 4 -370.
- Chromik, S., Benacka S., Gazi S., Strbik V., Oszi Zs., Kostic I., 2003, Superconducting Properties of MgB₂ Thin Films Prepared By Sequential Deposition of Boron and Magnesium, Vacuum, 69, 351-354.
- Dolgert, A.J., 1999, Superheated and Dissipative Landau-Ginzburg Systems A Dissertation For The Degree Of Doctor Of Philosophy University Of Virginia.
- Edwards, B., 2005, Vacuum&Pressure, Product Catalog.
- Ekem, N., Akan T., Pat S., Issever U.G., Balbag M.Z., Cenik M.I., Demirkol S., Vladoiu R., Musa G., 2005, Boron Thin Film Deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology, XXVIIth ICPIG, Eindhoven, the Netherlands.
- Ekem, N., Musa G., Pat S., Balbag Z., Cenik I., Vladoiu R., Carbon thin film deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA), 2008, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Vol. 10, No. 3, p. 672 – 674.
- Eliezer, S. and Eliezer, Y., 2001, The fourth state of matter, IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 224p.

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Eremets, M, I; Struzhkin V,V; Mao H, K; and Hemley R, J; 2001, Superconductivity in Boron, Science 293, 272.
- Fenler, I., 2001, Absence of Superconductivity in BeB₂, Physica C, 353, 11
- Gasparov, V. A., Sidorov N, S., Zver'kova I, I., and Kulakov M, P., 2001, Electron Transport in Diborides: Observation of Superconductivity in ZrB₂, JETP Lett. 73, 532
- Geçkinli, A. E., 1992, İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası
- Goodstein, D. and Goodstein, 2000, J., Phys. Perspect. 2, 30.
- Gregor, M., Plecenik T., Tomesek M., Kus P., Micurek R., Stefecka M., Zahoran M., Grancic B., Kubinec M., Gasparik V., 2006, Preparation of Variable Thickness MgB₂ Thin Film Bridges by AFM Nanolithography, Physica C, 435, 82-86.
- Gril, A., 1993, Cold plasma in materials fabrications (from Fundamentals to applications), , 1993, The institute of electrical and electronics engineers, New York
- Hinks, D. G. et all., 2001, The Complex Nature of Superconductivity in MgB₂ Revealed By The Reduced Total Isotope Effect, Nature 411 457
- Hua, H. L., et all. , 2001, Chin. Phys. Soc. and IOP Publishing Ltd., 104
- Jadhav, A.B., and Pawar S.H., 2003, Electrochemical Synthesis of Superconducting Magnesium Diboride Films: A Novel Potential Technique, Supercond.Sci.Technol., 16, 752
- Johnson, R. L., 2005, Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric micro-cantilevers, Master Thesis, Electrical Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa, 98 p.
- Jones, M. E. and Marsh R. E. (1954). "The Preparation and Structure of Magnesium Boride, MgB₂". Journal of the American Chemical Society 76: 1434–1436

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Kaczorowski, D., Zaleski A, J., Zogal O, J., and Klamut J., 2001, Preprint, Incipient Superconductivity in TaB₂, Cond-mat/0103571
- Kanbur, D., 2007, Magnezyum Diboride (MgB₂)' nın Kritik Sıcaklığının İki Bantlı Eliashberg Teorisi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 49 s.
- Karakaş, E., 2006, Termiyonik Vakum Ark Teknolojisiyle Üretilen Bor Deşarjlarının Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, 85 s.
- Kaya, D., 2006, Vanadyum Katkılı MgB₂ Süperiletken Sisteminin Yapısal Ve Manyetik Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 59 s.
- King, R.B., 2002. The Similarities Between Magnesium Diboride and Cuprate Superconductors and the Role of Subvalent Magnesium, Polyhedron, 21, 2347–2350
- Kortus, J., Mazin I, I., Belashchenko K., D; Antropov V, P., and Boyer L, L., 2001, “Superconductivity of metallic boron in MgB₂” Phys. Rev. Lett. 86, 4656
- Larbalestier, D C, Rogado N, Regan K A, Hayward M A, He T, Slusky J S, Inumaru K, Haas M K and Cava R J, 2001, Thin Film Magnesium Boride Superconductor with Very High Critical Current Density and Enhanced Irreversibility Field, Nature 411 558
- Lee, S.G., Ahn, J.R., Kim, Y., Moon, S.H., Lee, K.W., In-Seon Kim and Park, Y.K., 2003, Supercond. Sci. Technol. 16, 1550–1553
- Lungu, CP; Mustata, I; Musa, G, et al., 2006, Unstressed carbon-metal films deposited by thermionic vacuum arc method, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Volume: 8 Issue: 1 Pages: 74-77.
- Lungu, CP; Mustata, I; Lungu, AM, et al., 2005, Influence of Re on the thermo-electron emission from thoriated W cathode during Re deposition by thermionic vacuum arc (TVA) method, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Volume: 7 Issue: 5 Pages: 2513-2519.

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Lungu, CP; Mustata, I; Musa, G, et al., 2004, Low friction silver-DLC coatings prepared by thermionic vacuum arc method, Vacuum, Volume: 76 Issue: 2-3 p.127-130.
- Mori, Z., Doi T., Ishizaki Y., Kitaguchi H., Okada M., Hakuraku K., 2004, Physica C 412_414 1371.
- Mori, Z., Eitoku K., Doi T., Koba S., Hakuraku Y., 2003, MgB₂ Thin Film Fabrication By RF Magnetron Sputtering, Physica C, 388-389, 115-116.
- Musa, G., Betiu, N., Mustata, I., Baltog, A. and Popescu, A., 1983, Low voltage arc welding in vacuum, Review Roum. Physics, 28, 907.
- Musa, G., Baltog, A., Popescu, A. and Mustata, I., 1986, Electrical and spectral characteristics of a heated cathode discharge in metal vapors, Contributions to Plasma Physics, vol.26, 171-177.
- Musa, G., Baltog, A., Popescu, A., Betiu, N. and Mustata, I., 1987, Possible high power laser construction using a new discharge type- heated cathode discharge in the copper vapors continuously evaporated from the anode, Contributions to Plasma Physics, vol.27, 431-437.
- Musa, G., Betiu N., Mustata I., Baltog A., Popescu A., 1984, Heated Cathode Arc In Vacuum Arc In Vacuum Developed In The Vapors of The Heated Anode, Proc. XI th Symp. On Discharges And Insulation In Vacuum, Berlin, p.229.
- Musa, G; Bob, CS; Lungu, CP, et al., 2007, Gaseous Thermionic Vacuum Arc(G-TVA) - an extension of TVA (Thermionic Vacuum Arc) input materials from solid samples to gases and liquids for carbon thin film deposition, JOURNAL OF OPTOELECTRONICS AND ADVANCED MATERIALS Volume: 9 Issue: 4 Pages: 867-870 Published: APR 2007
- Musa, G., Ehrich, H., Schuhman, J., Popescu, A., Mustata, I., Cretu, M., Salabas, A., Leu, G. F. and Biloiu, C., 1999, Plasma characteristics of Thermionic Vacuum Arc (TVA), Proc. 24th international conference. on phenomena in ionized gases (ICPIG), Poland.
- Musa, G(a)., Ekem N., Akan T., Pat S., Balbağ M.Z., İşsever U.G., Cenik M.İ., 2005, Termiyonik Vakum Ark (TVA) Teknolojisini Kullanarak Bor'un Plazma İle İşlenmesi, Bor Çalıştayı, Sözlü Bildiri, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Musa, G(b)., Ekem N., Vladoiu R., Akan T., Pat S., Issever U.G., Balbag M.Z., Cenik M.I., 2005, Use of Thermionic vacuum arc (TVA) technology for boron film deposition, 17th International Symposium on Plasma Chemistry, August 7-12 th, Toronto, CANADA
- Musa, G(c); Mustata, I; Blideran, M, et al., 2005, Thermionic vacuum arc - New technique for high purity carbon thin film deposition, Acta Physica Slovaca Volume: 55 Issue: 4 Pages: 417-421.
- Musa, G(d)., Mustata I., Lungu C. P., Bob C. S., Lungu A. M., Bursikova V., Vladoiu R., Prodan G., Ciupina V., 2005, Tungsten film deposition by thermionic vacuum arc method, XXVIIth ICPIG, 18-22 July, Eindhoven, the Netherlands.
- Musa, G; Mustata, I; Ciupina, V, et al., 2004, Diamond-like nanostructured carbon film deposition using thermionic vacuum arc, Diamond And Related Materials, Volume:13, Issue:4-8, p.1398-1401.
- Musa, G., Popescu, A., Mustata, I., Borcoman, I., Cretu, M., Ehrich, H., and Schuhman, J., 1997, Pure metal vapor plasma gun, international symposium Plasma'97, Opole University, Poland.
- Musa, G., Vladoiu R., Ciupina V., Lungu C.P., Mustata I., Pat S., Akan T., Ekem N., 2006, Characteristics of boron thin films obtained by TVA technology , Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol: 8 (2), p: 617-620
- Nagamatsu, J., Nakagawa N., Muranaka T., Zenitani Y., Akimitsu J., 2001, "Superconductivity at 39 K in MgB₂" , Nature 410, 63.
- Nishida, A., Taka C., Chromik S., Durny R., 2004, Investigation of Magnetic Properties of MgB₂ Thin Films on NbN/Si Substrate, Physica C 412-414, p. 201-205.
- Okur, S., Kalkanci M, Pat S., Ekem N., Akan T., Balbag Z., Musa G., Tanoglu M., 2007, MgB₂ Superconducting Thin Films Sequentially Fabricated Using DC Magnetron Sputtering and Thermionic Vacuum Arc Method, Physica C, 466, p. 205–208
- Ölçen, N., 2001, Bor Madeninin Enerji Alanındaki Önemi, Uludağ Üniversitesi Makine Müh. , Yüksek Lisans Tez, Bursa.

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Pat, S., Ekem N., Akan T., Küsmüş Ö., Demirkol S., Vladou R., Lungu C.P., Musa G., 2005, Study on Thermionic Vacuum Arc-A Novel and Advanced Technology For Surface Coating, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol.7, No.5, p.2495-2499
- Pierson, H.O., 1992, Handbook of chemical vapor deposition, Principles Technology and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, Second Edition, New Jersey, U.S.
- Plećenik, A., Kus P., Satrapinsky L., Xu Y. and Sobolewski R., 2002, Fabrication and Transport Properties of MgB₂ Thin Films and Tunnel Junctions, Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism, Vol.15, No.6.
- Rajteri, M., Gandini C., Monticone E., Portesi C., Masoero A., Boveri C., Mazzetti P., 2004, Current Noise in MgB₂ superconducting Thin Films, Nuclear Instruments&Methods in Physics Research A, 520, 351-353.
- Roth, J. R., 2001, Industrial plasma engineering, volume II, IOP publishing, Bristol and Philadelphia.
- Sen, S., Aswal D., Sing A., 2002. Preparation and Characterization of MgB₂ Superconductor, Journal of Physics, 867-870
- Serway, R. A., 1996, Ankara,(Çev. Editörü, K. Çolakoğlu), Fen ve Mühendislik için Fizik(Modern Fizik ilaveli), Palme Yayıncılık 3. Baskıdan çeviri, 3. cilt, 1290 s.
- Savaşkan, B., 2007, MgB₂ Süperiletkeninin Üretimi Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s.
- Shimakage, H., Saito A., Kawakami A., Wang Z., 2003, Optimizing Preparation of As-Grown MgB₂ Thin Films Made Using The Co- Evaporation Method, Physica C, 392-396, 1291-1295.
- Strukova, G, K., Degtyareva V, F., Shovkun D, V., Zverev V, N., Kiiko V, M., Ionov A, M., and Chaika A, N., 2001, Preprint, Superconductivity in the Re-B System, Cond-mat/0105293.

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

- Surdu-Bob, C; Musa, G; Vladioiu, R, et al., 2007, The synthesis of DLC using a novel cathodic arc technique: Gas-TVA, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Volume: 9 Issue: 8 Pages: 2660-2662
- Tarımcı Ç., Sarı H., 2006, Ankara, Vakum Tekniği, Seçkin Yayıncılık 1. Baskı, 168 s.
- Thornton, J. A., 1983, Plasma assisted deposition process: Theory, mechanism and applications, Thin Solid Film, vol.107, 3-19
- Tüzemen, E. Ş., 2007, ZnO İnce Filmlerinin Eldesi Ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 208s.
- Wang, S. F., Dai S.Y., Zhou Y.L., Chen Z. H., Cui D. F., Xu J. D., He M., Lu H.B., Yang G. Z., Fu, 2001, Superconducting MgB₂ Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition Al₂O₃(0001) and MgO(100) Substrates, Supercond. Sci. Technology 14 – 885.
- Watchman, J. B., Haber R.A., 1993 Ceramic films and coatings, Noyes Publications, New Jersey, USA, 447p.
- Vladioiu, R; Ciupina, V; Surdu-Bob, C, et al., 2007, Properties of the carbon thin films deposited by thermionic vacuum arc, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials Volume: 9 Issue: 4 p.862-866
- Vladioiu, R; Ciupina, V; Lungu, CP, et al., 2006, Thermoionic vacuum arc (TVA) deposited tungsten thin film characterization, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials, Volume: 8 Issue: 1 p. 71- 73.
- Vladioiu, R; Musa, G; Mustata, I, 2003, Thermoionic vacuum arc - A new method of thin film deposition, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials Volume: 5, Issue: 1 Pages: 325-330
- Young, D, P; Adams P, W; Chan C, Y; and Fronzek F, R; 2001, Preprint, Structure and Superconducting Properties of BeB₂, cond-mat/0104063
- Zhao, Y., Ionescu M., Horvat J., Li A. H. and Dou S. X., 2004, Si addition in in situ annealed MgB₂ thin films by pulsed laser deposition, Supercond. Sci. Technol. 17, 1247–1253

KAYNAKLAR DİZİNİ(Devam)

http://www.webelements.com/boron/crystal_structure.html

<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Mg.html>

http://www.webelements.com/magnesium/crystal_structure.html

<http://www.kimyaevi.org/elementler/magnezyum/alan.asp>

<http://www.kimyaevi.org/elementler/bor/bor.asp>

<http://kayaweb.envy.nu/superiletken.htm>

<http://nautilus.fis.uc.pt/>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: MUSTAFA ZAFER BALBAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir/ 02.09.1976

Adres: Akarbaşı mah. Beki sok. No:1/21 26030 Eskişehir

Fakülte: Eğitim Fakültesi

Bölüm: Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Bölümü

EĞİTİM:

- | | |
|------------------|--|
| 2003–2009 | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik A.B.D. Genel Fizik B.D. Doktora, Eskişehir |
| 1998–2001 | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik A.B.D. Katıhal Fiziği B.D. Yüksek Lisans, Eskişehir |
| 1994–1998 | Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen-Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü, Lisans, ESKİŞEHİR |
| 1990–1993 | Atatürk Lisesi, ESKİŞEHİR |
| 1987–1990 | Osmangazi Ortaokulu, ESKİŞEHİR |
| 1984–1987 | Osmangazi İlkokulu, ESKİŞEHİR |
| 1982–1984 | Yunusemre İlkokulu, ESKİŞEHİR |

Yüksek Lisans Tez Adı: “Yitrium İçeren Süperiletken Bileşiklerin Fiziksel Özellikleri”, Nisan -2001, Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömer ÖZBAŞ

Askerlik : 2001-Temmuz / ERZURUM

Bilimsel Toplantılar:

1. Eskişehir Milli Eğitim Müdürlüğünce Düzenlenen 1. Eğitim Kurultayında Üniversite adına temsilci. 23–24 Haziran **2004**, Eskişehir.

Faaliyetler:

1. Eskişehir İli Bahçelievler bölgesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yüksek Öğretim Temsilcisi. **2005**.
2. Eskişehir İli Bahçelievler bölgesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yüksek Öğretim Temsilcisi. **2004**.
3. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Görevlisi Temsilcisi(**ATEM**), Eğitim Fakültesi Fakülte Temsilcisi, ATEM Başkan Yardımcısı **2003**.
4. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Halkbilim Araştırma ve Uygulama Merkezi(**HAMER**) Genel Kurul Üyesi. **2002** -

Kitaplar:

1. Fen Bilgisi Laboratuar Uygulamaları I – II Deney Föyü, **2002**, (Eğitim Fakültesi).

Kulüp Danışmanlığı:

1. Bilim Kurgu Film Kulübü Danışmanlığı(Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi)

BİLİMSEL YAYINLAR (Son 5 yıl içindekiler):**I. Uluslar Arası Hakemli Dergilerdeki Makaleler (İndex)**

1. T. Akan, N. Ekem, S. Pat, U.G. Issever, **M.Z. Balbag**, M.I. Cenik, R. Vladoiu and G. Musa, “**Boron Thin Film Deposition by Using Thermionic Vacuum Arc(TVA) Technology**”, *Materials Letters*, vol.61, Issue 1, **2007**, p:23–26

2. **M.Z.Balbag**, S.Pat, M.I.Cenik, T.Akan, N.Ekem, G.Musa, “**Boron evaporation and related difficulties**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.9, No:4, April 2007, p.858-861.
3. G.Musa, N.Ekem, S.Pat, **M.Z.Balbag**, M.I.Cenik, T.Akan, V.Ciupina, R.Vladoiu, M.Tanisli, O.Ozen, “**Carbon synthesis in methane plasma**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.9, No:4, April 2007, p.871-874.
4. G.Musa, R.Vladoiu, N.Ekem, M.I.Cenik, S.Pat, **M.Z.Balbag**, “**Argon emission spectra change at molecular gas addition**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.9, No:4, April 2007, p.894-896.
5. S. Okur, M. Kalkanci, S. Pat, N. Ekem, T. Akan, **Z. Balbag**, G. Musa , M. Tanoglu, “**MgB₂ Superconducting Thin Films Sequentially Fabricated Using DC Magnetron Sputtering and Thermionic Vacuum Arc Method**”, *Physica C 466 (2007) 205–208*.
6. **M. Z. BALBAG**, S. PAT, I. CENIK, N. EKEM, T. AKAN, B. BAKSAN, R. VLADOIU, G. MUSA, “**Titanium Oxidation By Pulsed Oxygen Plasma**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.10, No:3, March 2008, p.680–682.
7. S. PAT, **Z. BALBAG**, I. CENIK, N. EKEM, S. OKUR, R. VLADOIU, G. MUSA, “**Carbon Deposition on The Stainless Steels Substrates Using Pulsed Plasma**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.10, No:3, March 2008, p.663–664.
8. N. EKEM, G. MUSA, S. PAT, **Z. BALBAG**, I. CENIK, R. VLADOIU, “**Carbon Thin Film Deposition By Thermionic Vacuum Arc(TVA)**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.10, No:3, March 2008, p.672–674.

9. S. PAT, N. EKEM, **Z. BALBAG**, M. CENIK, R. VLADOIU, G. MUSA, “**M – Effect Generating of Two–Spectral Lines**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.10, No:1, January **2008**, p.229–231
10. N. EKEM, Ş. KORKMAZ, S. PAT, M. **Z. BALBAG**, N. E. ÇETİN, M. ÖZMUMCU, R. VLADOIU, G. MUSA, “**ZnO Thin Film Preparation Using RF Sputtering At Various Oxygen Contents**”, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol.10, No:12, December **2008**, p.3279–3282.
11. N. Ekem, S. Korkmaz, S. Pat, **M. Z. Balbag**, E. N. Cetin, M. Ozmumcu, “**Some Physical Properties of ZnO Thin Films Prepared by RF Sputtering Technique**” *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx(**2009**)1-5(Basımda)

II. Uluslar arası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Geavit Musa, Naci Ekem, Tamer Akan, Suat Pat, **M.Zafer Balbag**, M.İlker Cenik, Rodica Vladioiu, Murat Tanişli and Ozlem Ozen, “**Investigation of carbon produced by methane pulsed discharge**”, *Phys.stat.sol.(c)*, No2, 521-523 (**2007**), DOI 10.1002/pssc.200673313
2. T. AKAN, N. EKEM, S. DEMIRKOL, S. PAT, **M. Z. BALBAG**, M.I. CENIK, H. DELIGOZ, G. MUSA, “**Studies on Ag-Al₂O₃ Nano-layer Composite Produced by the Thermionic Vacuum Arc Method (TVA)**”, **2007**, *American Institute of Physics* , p. 695, PACS: 52.75.Xx, 52.80Vp, 61.46.-w
3. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, E.KARAKAS, R.VLADOIU, G.MUSA, “**Investigation of Properties of Boron Thin Film Deposited By Thermionic Vacuum Arc Technology**”, **2007**, *American Institute of Physics* , p.699, PACS: 52.75.Xx, 52.80Vp
4. S.PAT, G.MUSA, N.EKEM, C.C. SURDU-BOB, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, T.AKAN, O.AYDIN, “**Optical Emission Spectra of Plasma Display Panel**”, **2007**, *American Institute of Physics* , p.691, PACS: 52.77.-j, 82.33.Xj

5. G.MUSA, C.C.SURDU-BOB, R.VLADOIU, N.EKEM, M.I. CENIK, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, T.AKAN, “**Emission Spectra of Two Interacting Plasmas**”, 2007, *American Institute of Physics* , p.693, PACS: 52.40.-w, 82.33.Xj
6. G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I.CENIK, V.CIUPINA, R.VLADOIU, M.TANISLI, O.OZEN, “**Investigation of the Carbon Produced by Methane Pulsed Discharge**”, 2007, *American Institute of Physics* , p. 692, PACS:52.77.Fv, 81.05.Uw, 52.77.-j
7. H. ANILAN, **M.Z. BALBAĞ**, B. ANILAN, A. GÖRGÜLÜ, F. ÇEMREK, “**Fizik, Kimya ve Biyoloji Dersi Ders Kitaplarının Öğretmen Adayları Tarafından Değerlendirilmesi**”, 2007, *e – Journal of New World Sciences Academy*, Volume:2, Number:4, p.313–320, Article Number: C0021, ISSN:1306–3111.
8. S.KORKMAZ, N.EKEM, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, “**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION of ZnO THIN FILMS PRODUCED BY REACTIVE RF SPUTTER**”, 2009, BALKAN PHYSICS LETTERS, Boğazici University Pres, BPL, 15 (1), 151045

II. Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. M. Bahaddin ACAT, **M. Zafer BALBAĞ**, Burcu DEMİR, Aslı GÖRGÜLÜ., (2005), “**Fen Edebiyat Fakültesi Eğitim Fakültesi ve Tezsiz Yüksek Lisans Programına Devam Eden Öğrencilerin Öğretmenlik Meslek Algıları**”, *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi/Eğitimde Bilime Katkı Sempozyumu/Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, Sayı 17 / Sayfa 27/ Özel Sayı

III. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında (Proceedings) Basılan Bildiriler

1. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z.BALBAG**, M.I.CENIK, A.IYILIKCI, M.POLAT, B.VARAN, G.MUSA, “**The Atmospheric pressure**

- high voltage pulsed discharge characteristics**”, *6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P22, p.105, 2005, Constanta, Romania.*
2. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.I.CENIK, O.OZEN, E.KILLI,G.MUSA, “**Studies on Carbon Produced From the High Voltage Pulse Discharge of Methane**”, *6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P23, p.106, 2005 Constanta, Romania.*
 3. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.I.CENIK, S.DEMİRKOL, Y.KUCUKBALABAN, G.MUSA, “**The Electron Temperatures of the Copper Thermionic Vacuum Arc (TVA) discharge**”, *6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P24, p.106, 2005, Constanta, Romania.*
 4. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**,M.I.CENIK, O.ARMAN, A.ELİDEMİR, G.MUSA, “**TiO₂ Thin Layer Depositions on Titanium by Pulsed Discharge in Oxygen at Elevated Temperature**”, *6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P25, p.106, 2005, Constanta, Romania.*
 5. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.I.CENIK, S.DEMİRKOL, O.KUSUMUS, G.MUSA, “**The Investigation of Electrical Properties of Ag-Al₂O₃ Composites Produced by the Thermionic Vacuum Arc (TVA)**”, *6th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2P26, p.107, 2005, Constanta, Romania*
 6. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, S.DEMIRKOL, R.VLADOIU, G.MUSA, “**Boron Thin Film Deposition by Thermionic Vacuum Arc (TVA) Technology**”, *18-22 July, 2005, XXVIIth ICPIG, Eindhoven, the Netherlands.*
 7. G.MUSA, N.EKEM, R.VLADOIU, T.AKAN, S.PAT, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENİK, “**Use of Thermionic vacuum arc (TVA) technology**

- for boron film deposition**”, *17th International Symposium on Plasma Chemistry, August 7-12 th, 2005, Toronto, CANADA*
8. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, U.G.İSSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.İ.CENİK, R.VLADOIU, G.MUSA, **“Boron Processes Using The Thermionic Vacuum Ark Technology”**, *TPS-23rd international Physics Congress, 13–16 September 2005, Mugla, Türkiye*
 9. G. MUSA, N. EKEM, T. AKAN, S. PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, V.CIUPINA, R.VLADOIU, M.TANISLI, O. OZEN, **“Carbon Synthesis In Methane Plasma”**, *7th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P 33, p.120, July 5-7, 2006, Constanta, ROMANIA*
 10. **M. Zafer BALBAG**, Suat PAT, M.Ilker CENIK, Tamer AKAN, Naci EKEM, Geavit MUSA, **“Boron Evaporation And Related Difficulties”**, *7th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P 35, p.120, July 5–7, 2006, Constanta, ROMANIA*
 11. Geavit MUSA, Rodica VLADOIU, Naci EKEM, M.Ilker CENIK, Suat PAT, **M.Zafer BALBAG**, **“Argon Emission Spectra Change At Molecular Gas Addition”**, *7th International Balkan Workshop on Applied Physics,S2 P34, p.120, July 5–7, 2006, Constanta, ROMANIA*
 12. G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, **M.Z.BALBAG**, M.I.CENIK, R.VLADOIU, M.TANISLI, O.OZEN, **“Investigation of the Carbon Produced By Methane Pulsed Discharge”**, *International Conference on Superlattices, Nano-Structures and Nano-devices, 20 July-04 Agust 2006, İstanbul,Türkiye*
 13. S.PAT, G.MUSA, N.EKEM,C.C.SURDU-BOB, **M.Z.BALBAG**, M.I.CENIK, T.AKAN, O.AYDIN, **“Optical emission spectra of Plasma Display Panel”**, *6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26, 2006, İstanbul, Türkiye*

14. G.MUSA, C.C.SURDU-BOB, R.VLADOIU, N.EKEM, M.I.CENIK, S.PAT, **M.Z.BALBAG**, T.AKAN, “**Emission spectra of Interacting two plasmas**”, *6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26, 2006, Istanbul, Türkiye*
15. G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, V.CIUPINA, R.VLADOIU, M.TANISLI, O.OZEN, “**Investigation of the carbon produced by methane pulsed discharge**”, *6th International Conference of the Balkan Physical Union-August22-26, 2006, Istanbul,Türkiye*
16. T.AKAN, N.EKEM, S. DEMIRKOL, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I.CENIK, H.DELIGOZ, G.MUSA, “**Studies on Ag-Al₂O₃ nano-layer composite produced by Thermionic Vacuum Arc Methode (TVA)**”, *6th International Conference of the Balkan Physical Union-August 22-26, 2006, Istanbul,Türkiye*
17. N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, E.KARAKAS, R.VLADOIU, G.MUSA, “**Investigation of properties of boron thin films deposited by Thermionic Vacuum Arc Technology**”, *6th International Conference of the Balkan Physical Union-August22-26, 2006, Istanbul,Türkiye*
18. E.KARADEMIR, N.EKEM, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, T.AKAN, G.MUSA, “**Plasma Processes that is used at thin film deposition**”, *4th International Conference of the balkan physical union, 29 Agust-1 September 2006, Bodrum, Turkey*
19. S.Okur, M.Kalkanci, M.Tanoğlu, N.Ekem, T.Akan, S.Pat, **Z.Balbag**, G.Musa, “**Fabrication of Boron Thin Films and Characterization of MgB₂ Superconducting Thin Films Produced in Mg Vapor**”, *2-4 November, 2006, International Boron Conference, BOREN, Ankara, Türkiye*
20. N. Ekem, T Akan, S. Pat, U. G. Issever, **M. Z. Balbag**, M. I. Cenik, S. Demirkol, O. Kusmus, G MUSA, (2006), “**Multilayer of Ag- Al₂O₃ Deposited**

Using Thermionic Vacuum Arc", *The 5th International Conference on Global Research and Education, 25–28 September, Iash, Romania*

21. G. Musa, N. Ekem, **M. Z. Balbag**, S. Pat, M.I. Cenik, R. Vladoiu, T. Akan,(2006), **"Thermionic Vacuum Arc Technology Use for Evaporation of Boron"**, *The 5th International Conference on Global Research and Education, 25–28 September, Iash, Romania*
22. N Ekem, T Akan, S. Pat, U. G. Issever, **M. Z. Balbag**, M. I. Cenik, O Ozen, E. Killi, G MUSA,(2006), **"Full synthesis of carbon from a pulsed high voltage discharge in flowing methane gas"**, *The 5th International Conference on Global Research and Education, 25–28 September, Iash, Romania*
23. **M. Zafer BALBAG**, Omer OZBAS, **"Physical Properties of Superconductor Compounds Containing Yitrium"**, *8th International Balkan Workshop on Applied Physics, S1 P20, p.73, July 5–7, 2007, Constanta, ROMANIA*
24. **Zafer BALBAG**, Suat PAT, İlker CENİK, Naci EKEM, Geavit MUSA, R. VLADOIU, **"Titanium Oxidation By Pulsed Oxygen Plasma"**, *8th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P26, p.156, July 5–7, 2007, Constanta, ROMANIA*
25. Suat PAT **Zafer BALBAG**, , İlker CENİK, Naci EKEM, Geavit MUSA, R. VLADOIU, **"Carbon Deposition on The Stainless Steels Subsrates Using Pulsed Plasma"**, *8th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P27, p.156, July 5–7, 2007, Constanta, ROMANIA*
26. Naci EKEM, Geavit MUSA, Suat PAT **Zafer BALBAG**, , İlker CENİK, R. VLADOIU, **"Carbon Thin Film Deposition By Thermionic Vacuum Arc(TVA)"**, *8th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P21, p.154, July 5–7, 2007, Constanta, ROMANIA*
27. G. MUSA, N. EKEM, Suat PAT, **M. BALBAG**, M. CONTULOV, G. PIRPILIU, R. VLADOIU, **"Ag-Al₂O₃ Composite Thin Films Deposited By**

- Thermionic Vacuum Arc(TVA)**”, p.791-793 15–20 July, **2007**, *28th ICPIG, Prague, Czech Republic.*
28. Naci EKEM, Suat PAT, **Zafer BALBAG**, Emre ÇETİN, Murat ÖZMUMCU, Rodica VLADOIU, Geavit MUSA, “**ZnO Thin Film Preparation Using RF Sputtering At Various Oxygen Contents**”, *9th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P35, p.125, July 7–9, 2008, Constanta, ROMANIA*
29. Naci EKEM, Sadan KORKMAZ, Suat PAT, **Zafer BALBAG**, R. VLADOIU, Geavit MUSA, “**ZrO₂ Thin Film Production Using Thermionic Vacuum Arc(TVA) For Ophthalmic Glass Coatings**”, *9th International Balkan Workshop on Applied Physics, S2 P36, p.125, July 7–9, 2008, Constanta, ROMANIA.*
30. Ş. KORKMAZ, N. EKEM, S. PAT, **M. Z. BALBAG**, “**Synthesis and Characterization of ZnO Thin Films Produced By Reactive RF Sputter**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 01_SB33, p.65, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*
31. M. POLAT, N. EKEM, G. MUSA, S. PAT, **M. Z. BALBAG**, M.İ. CENİK, “**Carbon Deposition By Using A Plasma Method At Atmospheric Pressure**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 01_SB40, p.72, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*
32. **M. Z. BALBAG**, S. PAT, N. EKEM, G. MUSA, “**A Novel Ultra High Vacuum Technology System(UHV-TVA) Design to Obtain Thin Films of Various Materials**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 01_PS13, p.312, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*
33. N. EKEM, S. PAT, **M. Z. BALBAG**, G. MUSA, “**Carbon Thin Films Deposition By Thermionic Vacuum Ark(TVA)**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 01_PS26, p.325, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*

34. S.K. AKAY, S. PAT, A. PEKSÖZ, **Z. BALBAG**, G. KAYNAK, N. EKEM, M. AHMETOĞLU, Ş. KORKMAZ, N. DEREBAŞI, A. AVİNÇ, “**Morphological Electrical And Some Optical Properties of ZnO Thin Film Produced By RF Sputter At The Various Oxygen Contents**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 03_PB3, p.424, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*
35. N. EKEM, Ş. KORKMAZ, S. PAT, **M. Z. BALBAG**, F. KARA, S. TEMEL, “**Synthesis and Characterization of BaTiO₃ Thin Films Produced By RF Sputter**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 03_SB77, p.498, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*
36. S. PAT, N. EKEM, G. MUSA, **M. Z. BALBAG**, M. İ. CENİK, “**M-Effect Generation for Two Spectral Lines At Electropositive-Electronegative Gas Mixing**”, *25th International Physical Congress, Turkish Physical Society, 03_SB78, p.499, 25–29 August 2008, Bodrum, Turkey*

IV. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan (Proceedings) Bildiriler

1. ACAT B., **BALBAĞ Z.**, DEMİR B., GÖRGÜLÜ A., (2003), “**Fen Edebiyat Fakültesi Eğitim Fakültesi ve Tezsiz Yüksek Lisans Programına Devam Eden Öğrencilerin Öğretmenlik Meslek Algıları**”, Eğitimde Bilime Katkı: Lisansüstü Eğitim Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
2. N.EKEM, S.PAT, M.Z. BALBAG, A.İYİLİKÇİ, G.MUSA, “**Sivri Elektrotlar Arasında Oluşturulan Pulsu Deşarjın Karakteristiğinin Belirlenmesi**”, TFD–22, 14–17 Eylül, 2004, Bodrum, Türkiye
3. **BALBAĞ M.Z.**, AYDOĞU S., ÖZBAŞ Ö., (2004) “**Yitriyum İçeren Süperiletken Bileşiklerin Fiziksel Özellikleri**” TFD – 22 Fizik Kongresi, Bodrum, Türkiye

4. S.PAT, N.EKEM, T.AKAN, Ö.ÖZEN, E.KILLI, U.G.ISSEVER, **M.Z. BALBAG**, M.I. CENIK, G.MUSA, “**Atmosferik Basınc Pulsu Desarj (PD) Kullanılan Karbon Üretimi**”, Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II, 25–28 Mayıs, **2005**, Erzurum.
5. G.MUSA, N.EKEM, T.AKAN, S.PAT, **M.Z. BALBAG**, U.G. ISSEVER, M.I. CENIK, “**Termiyonik Vakum Ark (TVA) Teknolojisini Kullanarak Bor’un Plazma ile İşlenmesi**”, I.Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, 28–29 Nisan **2005**, Ankara
6. Fatih Çemrek, Burcu Anılan, Hüseyin Anılan, Aslı Görgülü, **M. Zafer Balbağ**, (2005), “**Bilim-Kurgu Filmlerinin Öğretmen Adaylarının Fen Derslerindeki Başarılarına Yansımaları**”, XIV. Ulusal Eğitim Bilimleri Kongresi, Pamukkale Üniversitesi / DENİZLİ, Türkiye
7. Naci EKEM, **M. Zafer BALBAĞ**, M.İlker CENİK, Suat PAT, Tamer AKAN, Geavit MUSA, “**Boron Thin Film Deposition By Using Thermionic Vacuum Arc (Tva) Technology**”, Nano-TRII Nanoscience and Nanotechnology, 2006, Middle East Technical University, , 3–5 Mayıs, **2006**, Ankara, Turkey.
8. Tamer AKAN, Suat PAT, Naci EKEM, **M. Zafer BALBAĞ**, M. İlker CENİK, Geavit MUSA, (2006), “**Metan Plazması ile Hidrojen Enerjisi Kullanımlarına Uygun Hidrokarbon ve Karbon Üretimi**”, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi(Ughek), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
9. Tamer AKAN, **M. Zafer BALBAĞ**, Naci EKEM, Erdiñç KARAKAŞ, Suat PAT, M. İlker CENİK, Geavit MUSA, (2006), “**Bor Termiyonik Vakum Ark Deşarjda Gaz Depolama Etkisinin İncelenmesi**”, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi(Ughek), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
10. Burcu ANILAN, Aslı GÖRGÜLÜ, Hüseyin ANILAN, Fatih ÇEMREK, **M. Zafer BALBAĞ.**, (2006), “**Eğitim Fakültesi Öğrencilerinin Fen Bilgisi**

Laboratuvar Uygulamaları Dersine Yönelik Görüşleriyle Ders Başarıları Arasındaki İlişki”, XV. Ulusal Eğitim Bilimleri Kongresi, Muğla Üniversitesi/ MUĞLA, TÜRKİYE

11. Aslı GÖRGÜLÜ, **M. Zafer BALBAĞ**, Hüseyin ANILAN, Burcu ANILAN, Fatih ÇEMREK., (2006), **“Öğretmen Adaylarının Ortaöğretim Okullarındaki Laboratuvar Kullanımına İlişkin Görüşleri”**, XV. Ulusal Eğitim Bilimleri Kongresi, Muğla Üniversitesi/ MUĞLA, TÜRKİYE

12. Burcu ANILAN, Aslı GÖRGÜLÜ, **M. Zafer BALBAĞ**, (2007), **“Öğretmen Adaylarının Kimya Laboratuvarı Endişeleri(ESOGÜ Örneği)”**, 20–22 Haziran, Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi, Maçka/İstanbul

V. Projeler

V.1. Yurt içi destekli

1. **“Yüksek Erime Sıcaklığına Sahip Materyallerin Plazma ile İşlenmesi ve Yüzey Kaplama Teknolojisinin Geliştirilmesi”** 2005, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonu(ESOGU-BAP)(Bitti).

V.2 Yurt dışı destekli

1. **“Synthesis and Analysis of Hard Carbon Coatings using the Thermionic Vacuum Arc”**, Alexander Von Humboldt Foundation(Bitti).