



**RADYO FREKANSI SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE
TİTANYUM NİTRÜR (TiN) İNCE FİLMLERİN
ÜRETİLMESİ VE BAZI FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat POLATER

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran 2016

Bu tez çalışması 13.FEN.BİL.26 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**RADYO FREKANSI SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE TİTANYUM
NİTRÜR (TiN) İNCE FİLMLEİN ÜRETİLMESİ VE BAZI
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Murat POLATER

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Murat POLATER tarafından hazırlanan “Radyo Frekansı Saçtırma Yöntemi İle Titanyum Nitrür (TiN) İnce Filmlerin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

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

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

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Emin Gülmez Teknik Bilimler

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

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

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

30/06/2016

Murat Polater

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

RADYO FREKANSI SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE TİTANYUM NİTRÜR (TiN)
İNCE FİLMLERİN ÜRETİLMESİ VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Murat POLATER
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN

Bu çalışma kapsamında titanyum nitrür (TiN) ince filmler radyo frekansı saçtırma yöntemi ile cam tabanlar üzerine depolanmıştır. Elde edilen ince filmlerin mikro yapıları ve yüzey morfolojisi X - ışınları difraktometre (XRD), atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Filmlerin kalitatif analizleri ise enerji dağılımlı X - ışını spektroskopisi (EDX) ile yapılmıştır. Ayrıca UV-Vis spektrofotometri cihazı ile optiksel geçirgenlikleri belirlenmiştir.

2016, xiv + 74 sayfa

Anahtar Kelimeler: Titanyum Nitrür, Radyo Frekansı Saçtırma Yöntemi, İnce film.

ABSTRACT
M.Sc Thesis

**RADIO FREQUENCY AND METHODS SPUTTERING TITANIUM NITRIDE (TiN)
INVESTIGATION OF GENERATION OF THIN FILMS AND SOME PHYSICAL
PROPERTIES**

Murat POLATER

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Assist. Prof. Mehmet ÖZKAN

In this study, titanium nitride (TiN) thin films were deposited on glass substrates with Radio Frequency Sputtering method. The microstructure and surface morphology of thin films were analyzed with X-ray diffractometer (XRD) , Atomic Force Microscopy and Scanning Electron Microscope(SEM).The qualitative analysis of films were made with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy(EDX). Also the optical transmission of films were determined with UV-Vis Spectrophotometer

2016, xiv + 74 pages

Key Words: Titanium Nitride, Radio Frequency Sputtering Method, Thin Film.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN' a teşekkür ederim

Deney ölçümlerinin yapılması aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Soner ÖZEN ve Özgün AĞAR' a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, zor günlerimde beni destekleyen, yardım eden, moral veren, benim için çok değerli eşim Sevim POLATER ve çocuklarım M. Asım ve A. Efe' ye teşekkür ederim.

Çalışmaların çevirilerinde desteğini esirgemeyen çok değerli Esra YILDIRIM' a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında 13.FEN.BİL.26 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine vermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederim.

Murat POLATER

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Titanyum Nitrür Metalinin Özellikleri.....	4
2.2 Titanyum Nitrür (TiN) İnce Film Özellikleri	6
2.3 Kullanım Alanları.....	10
3. MATERYAL VE METOT.....	13
3.1 Termal Buharlaştırma Tekniği (Thermal Evaporation)	15
3.2 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği (e - Beam Evaporation)	16
3.3 Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği [Chemical Vapor Deposition,(CVD)]	16
3.4 Saçtırma (Sputtering) Tekniği	17
3.4.1 Radyo frekansı (RF) Saçtırma tekniği	20
3.4.2 Radyo frekanslı (RF) Magnetron Saçtırma Tekniği	21
3.4.3 Doğru akım (DC) Saçtırma tekniği.....	21
3.4.4 Doğru akım (DC) Magnetron Saçtırma Tekniği.....	22
4. BULGULAR	23
4.1 Giriş.....	23
4.2 Kullanılan DeneySEL Sistem	24
4.3 Titanyum Nitrür (TiN) Kaplamaların Karakterizasyonu	27
4.3.1 Üretilen Filmlerin X Işınları Kırınımı (XRD) ölçümleri	27
4.3.2 Üretilen Filmlerin AFM Yüzey İncelemeleri	30
4.3.3 UV-Vis (Ultraviyole ve görünür ışık) Geçirgenlik Ölçümleri.....	54
4.3.4 Kırılma İndisi Dalga Boyu Ölçümleri	59
4.3.5 SEM ve EDS Analizi	63
4.3.6 Yasak Enerji Aralığı İçin Kullanılan Hesaplama Modeli	64
5.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	67
6.KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

TiN	Titanyum Nitrür
Ar	Argon
N	Azot
mbar	Milibar
mm	Milimetre
nm	Nanometre
Mm	Mikron metre
Al	Aliminyum
T	Geçirgenlik
A	Absorbans
μ	Mikron
λ	Dalgaboyu
Eg	Yasak Enerji Aralığı
d	Film Kalınlığı

Kısaltmalar

XRD	X ışınları difraktometre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDX	X - ışını spektroskopisi
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
RF	Radyo Frekansı
DC	Doğru Akım
Dk	Dakika
eV	Elektron volt
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AC	Alternatif Akım
UV-Vis	Mor ötesi ve görünür bölge
3D	Üç Boyutlu
2D	İki boyutlu
Ra	Aritmetik ortalama pürüzlülük
<i>et al,</i>	Diğerleri
vd	Diğerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi (Akan 2003).....	15
Şekil 3.2 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi (Türküz 1997)	16
Şekil 3.3 Saçtırma (Sputtering) sisteminin sematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı 2006)..	19
Şekil 3.4 RF Saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Özkan 2010). .	20
Şekil 3.5 RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson 2005).....	21
Şekil 3.6 DC Saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Kokkokoğlu 2010).....	22
Şekil 4.1 RF manyetik saçtırma sisteminin fotoğrafı.	25
Şekil 4.2 Topraklama elektrotu üzerine tutturulmuş lamel alt taş.....	26
Şekil 4.3 RF manyetik tabanca hedef elektrot.....	26
Şekil 4.4 RF manyetik saçtırma sisteminin vakum odası.....	27
Şekil 4.5 Titanyum nitrür (TiN) 7.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları	28
Şekil 4.6 TiN 6.3 numunesine ait XRD analiz sonuçları	28
Şekil 4.7 TiN 3.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları	29
Şekil 4.8 TiN 4.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları	29
Şekil 4.9 TiN 5.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları	30
Şekil 4.10 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	31
Şekil 4.11 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	31

Şekil 4.12	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.2. ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	32
Şekil 4.13	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	32
Şekil 4.14	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	33
Şekil 4.15	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	33
Şekil 4.16	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri	34
Şekil 4.17	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	34
Şekil 4.18	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	35
Şekil 4.19	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	35
Şekil 4.20	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	36
Şekil 4.21	100 W sistem gücü 1 saat Kaplama süresinde elde edilen TiN 2.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	36
Şekil 4.22	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	37
Şekil 4.23	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	37
Şekil 4.24	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	38

Şekil 4.25	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	38
Şekil 4.26	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	39
Şekil 4.27	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	39
Şekil 4.28	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	40
Şekil 4.29	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	40
Şekil 4.30	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	41
Şekil 4.31	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	41
Şekil 4.32	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	42
Şekil 4.33	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	42
Şekil 4.34	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	43
Şekil 4.35	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	43
Şekil 4.36	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	44
Şekil 4.37	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	44

Şekil 4.38	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	45
Şekil 4.39	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	45
Şekil 4.40	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	46
Şekil 4.41	100 W sistem gücü 1saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	46
Şekil 4.42	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	47
Şekil 4.43	100 W sistem gücü 1saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	47
Şekil 4.44	100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	48
Şekil 4.45	100 W sistem gücü 1saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	48
Şekil 4.46	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri	49
Şekil 4.47	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	49
Şekil 4.48	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	50
Şekil 4.49	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	50
Şekil 4.50	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.3. ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	51

Şekil 4.51	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.3. ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	51
Şekil 4.52	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	52
Şekil 4.53	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	52
Şekil 4.54	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	53
Şekil 4.55	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	53
Şekil 4.56	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.	54
Şekil 4.57	150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.	54
Şekil 4.58	100 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde %50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 1.1, TiN 1.2 ve TiN 1.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	55
Şekil 4.59	100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde ,%50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 2.1, TiN 2.2 ve TiN 2.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	55
Şekil 4.60	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde %50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 3.1, TiN 3.2 ve TiN 3.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	56
Şekil 4.61	150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde %50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 4.1, TiN 4.2 ve TiN 4.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	56

Şekil 4.62	100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 5.1, TiN 5.2 ve TiN 5.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	57
Şekil 4.63	100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 6.1, TiN 6.2 ve TiN 6.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	57
Şekil 4.64	150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 7.1, TiN 7.2 ve TiN 7.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	58
Şekil 4.65	150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 8.1, TiN 8.2 ve TiN 8.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.	58
Şekil 4.66	%50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 1.1, TiN 1.2 ve TiN 1.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	59
Şekil 4.67	%50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 2.1, TiN 2.2 ve TiN 2.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	59
Şekil 4.68	%50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 3.1, TiN 3.2 ve TiN 3.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	60
Şekil 4.69	%50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 4.1, TiN 4.2 ve TiN 4.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	60
Şekil 4.70	%70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 5.1, TiN 5.2 ve TiN 5.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	61

Şekil 4.71	%70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 6.1, TiN 6.2 ve TiN 6.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	61
Şekil 4.72	%70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 7.1, TiN 7.2 ve TiN 7.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	62
Şekil 4.73	%70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 8.1, TiN 8.2 ve TiN 8.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.....	62
Şekil 4.74	7.1 Numunesine ait Titanyum Nitrür (TiN) kaplı ince filmlerin SEM görüntüsü	63
Şekil 4.75	7.1 Numunesine ait Titanyum Nitrür (TiN) kaplı ince filmlerin SEM grafiği	63
Şekil 4.76	Titanyum Nitrür 1.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	64
Şekil 4.77	Titanyum Nitrür 2.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	64
Şekil 4.78	Titanyum Nitrür 3.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	65
Şekil 4.79	Titanyum Nitrür 4.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	65
Şekil 4.80	Titanyum Nitrür 5.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	65
Şekil 4.81	Titanyum Nitrür 6.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	65
Şekil 4.82	Titanyum Nitrür 7.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	66

Şekil 4.83 Titanyum Nitrür 8.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.....	66
--	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Titanyum nitrür (TiN)’e ait bazı özellikler (Patrick 1998).	6
Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan parametreler.	23
Çizelge 4.2 7.1 Numunesine ait Titanyum Nitrür (TiN) kaplı ince filmlerin EDS sonuçları.....	64



1. GİRİŞ

Bu çalışma da amacımız titanyum nitrür (TiN) kullanarak radyo frekansı saçtırma yöntemi ile cam tabanlar üzerine ince film kaplama yapmak. Elde edilen ince filmlerin mikro yapıları ve yüzey morfolojisi X - ışınları difraktometre (XRD), atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak incelemek. Filmlerin kalitatif analizleri ise enerji dağılımlı X - ışını spektroskopisi (EDX) ile yapmak. Ayrıca UV-Vis spektrofotometri cihazı ile optiksel geçirgenlikleri tespit etmek.

Yüzey bir maddenin kendi dışındaki ortamla temasta olan kısmı, çevreyle olan sınırı olarak tanımlanmaktadır. Maddenin çevreyle olan etkileşimi yüzey üzerinden belirlenir. Buna sürtünme, aşınma, yorulma, optik özellik, dış görünüm ve renkler örnek gösterilebilir. Bu açıdan maddelerdeki iyileştirmeler çoğu zaman yüzeydeki iyileştirmeler sayesinde yeterli olabilir. Yüzeydeki iyileştirmelerden yeterli sonuç alınamadığı hallerde ise yüzeydeki malzemede yapılacak olan değişikliklerle amaca ulaşılmış olur. Bunun yanında teknolojik ve ekonomik imkân açısından da malzemeyi yeniden üretmek her zaman mümkün olmayabilir. Ama yüzeyine yapılacak olan kaplama ile ekonomik olarak tasarruf sağlamış olur. Altın kaplamalar buna örnek gösterilebilir. Kaplamayla yapılan yüzey iyileştirmelerinde malzemenin küçük bir kesitine müdahale etmişken; ömründe ciddi oranda artışlar gözlemlenmektedir. Bu da yüzeysel iyileştirmelerin ekonomik ve teknolojik olarak ne denli önemli olduğunu göstermektedir (Keleşoğlu 2011).

Kaplama teknolojileri günümüzde ince filmlerin üretiminde, manyetik kayıt ve algılama sistemlerinde, optoelektronikte ve bir takım dekoratif işlerde oldukça sık kullanılmaktadır. Ayrıca, bugünkü yüksek teknolojileri kullanmamızda ve bu teknolojiye ulaşmada kaplama teknolojilerinin büyük payı vardır.

Birbiri ile sürtünerek çalışan makine elemanlarında aşınma çok önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü için sürdürülen çalışmalar her geçen gün biraz daha artmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda kullanılan malzemelerin ekonomik ömürlerinin artırılması ve geri dönüşümleri hedeflenmektedir. Makine parçalarının ömürleri ve takımların kullanım süreleri, aşınma nedeni ile sınırlıdır. Makine parçalarında kullanılan malzemeleri, daha pahalı yenileri ile değiştirmek yerine, yüzeyin aşınma özelliklerini

geliştirmek soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşım olarak kabul görmektedir.

Yüzeylerin kaplanması için değişik yöntemler ve kaplamada kullanılan farklı elementler mevcuttur. Biz bu çalışmamızda TiN kullanarak ince film kaplama yapmaya çalıştık. Çünkü TiN ince filmler gelişen kaplama teknolojisi ile birlikte, günlük yaşamın her alanında sıklıkla kullanılmaktadır.

TiN'in benzersiz özellikleri, onu kaplama teknolojisinin gözde malzemelerinden biri kılmaktadır. Yüksek ısıl dayanıklılık, mükemmel korozyon ve aşınma mukavemeti, yüksek ergime sıcaklığı, olağanüstü sertlik, yüksek kimyasal ve ısısal dayanıklılık ve altın rengi gibi pek çok mükemmel özelliğe sahip olması sebebiyle TiN çok önemli bir malzemedir (Jianhua *et al.* 2009).

Bu özellikleri TiN'i kesme ve delme aletlerinde koruyucu kaplama olarak, mikro elektronikte difüzyon bariyeri olarak, metal eritme işleminde pota olarak, optikte kaplama olarak ve kuyumculukta objelere altın rengi vermekte kullanılır (Meining 2009).

TiN kaplamalar korozyona karşı dayanıklılığı ve sertliği sayesinde, kesici ve delici aletlerin kenarlarını koruyarak kullanım ömürlerini üç katına kadar uzatabilmektedirler. Sanayinin pek çok dalında da TiN kaplamaların kullanımı yaygındır. Sağlık açısından zarar verici olmadığından, tıp sektöründe TiN kaplamalar vücut içi protezlerde ve tıbbi kesici aletlerde kullanılırlar. TiN kaplamalar, yarı iletken endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Bakır temelli çiplerin yapımında metalin, silikon içerisine difüzyonunu engeller. Film, bu görevini yerine getirirken aynı zamanda, iki taraf arasında yeterli miktarda iletkenlik sağlamaktadır (Meng 1997).

Zamanla malzemelerin birtakım özelliklerini değiştirmek ve incelemek adına, yüzeyleri üzerine çeşitli kaplamalar yapabilmek için bugüne kadar birçok kaplama tekniği kullanılmıştır. Bunlar kimyasal buhar biriktirme, fiziksel buhar biriktirme ve plazma destekli kimyasal buhar biriktirme gibi çeşitli kaplama teknikleriyle uygulanır (Yazdani *et al.* 2011).

Bu teknikler sahip oldukları teknolojiler itibariyle oluşturulan filmlerin karakteristik özellikleri bakımından birtakım farklılıklar göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında TiN ince filmler radyo frekansı saçtırma yöntemi ile cam tabanlar üzerine depolanmıştır. Çalışma gazı olarak Ar kullanılan deneyde ortam plazma olarak ayarlanmıştır. Elde edilen ince filmlerin mikro yapıları ve yüzey morfolojisi X - ışınları difraktometre (XRD), atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Filmlerin kalitatif analizleri ise enerji dağılımlı X - ışını spektroskopisi (EDX) ile yapılmıştır. Ayrıca UV-Vis spektrofotometri cihazı ile optiksel geçirgenlikleri belirlenmiştir.

TiN kaplamalar; malzemelerin yüzey özelliklerini zenginleştirerek, daha kaliteli daha uzun ömürlü malzemeler elde etmek için kullanılan bir yöntemdir.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Titanyum Nitrür Metalinin Özellikleri

TiN kullanıldığı yüzeyin özelliklerini zenginleştirerek, daha kaliteli ve daha uzun ömürlü malzemeler elde etmek için sıkça kullanılan bir metaldir. Birkaç mikrometre kalınlıktaki titanyum nitrit kaplamalar, aletler için aşınmaya karşı koruyucu tabaka olarak kullanılır. Kübik yapıdaki TiN gibi yüksek nitrojen içerikli ince filmler kaplandığı malzemeye altın rengini verir. Partikül boyutu nanometre mikrometre arası olan toz haldeki TiN, metaller, silikon nitrit veya zımparalar gibi sert malzemelerin yapısına aşınma dayanıklılığını artırmak için katkılanır. Bunun yanında kısmen PET gibi plastiklerin yapısına da katkılanır. TiN, malzemelerin ve PET şişelerin yüzeyinin termal özelliklerini zenginleştirir. Saf TiN tozu ergimiş malzemeler için seramik pota ve buharlaştırma teknesi üretiminde kullanılabilir (Meining 2009).

Titanyum nitrit formları için en önemli nokta, bileşikteki titanyum ve azot atomlarının arasındaki bağın doğasıdır. Kristaldeki ya da moleküldeki atomları bir arada tutan etkileşim kuvvetine bağ denir. Bu bağın karakteristiği iki faktör tarafından belirlenir. Bunlar bağın uzunluğu ve bağın kuvvetidir. Genel olarak kısa bağlar uzun bağlara göre daha dayanıklıdır. Muhtemel birçok bağ mevcuttur. Elektronegatiflikteki büyük farklılıklar, iletim elektronlarının iki atom arasındaki transferi ile oluşan, iyonik bağın oluşmasını sağlar. Kovalent bağlar, elektronların transfer edilmesinden çok ortaklaşa kullanılması ile oluşurlar. Metalik bağda, elektronlar serbest haldedir ki gerektiğinde yapı içinde gereken yere yapı boyunca hareket edebilirler. Bağlanma; elektronlar ve pozitif yüklü metal iyonları arasındaki elektrostatik etkileşme ile meydana gelir. Titanyum nitrür, titanyum (Ti) ve nitrojen (N) atomlarının bir bileşiğidir. Titanyum nitrür'ü özel kılan şeylerden birisi TiN_x kimyasal formülüyle ifade edilen nitrojen içeriğindeki çeşitliliktir. Titanyum nitrür, zımpara gibi aşındırıcılarda kullanılan bir malzeme olan Al_2O_3 ile kıyaslanacak kadar çok serttir. Bütün fiziksel özellikleri nitrojen içeriğine bağlıdır ve kısmen malzemenin mikro yapısına dayanır. Titanyum nitrit suda çözünmez ve soğuk asitlere dayanıklıdır, fakat sıcak haldeki asitler tarafından zarar görebilir (Nebi 2013).

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında TiN gelmektedir. Bu kaplamanın

avantajları ve özellikleri şöyle sıralanabilir.

- ✓ Isıl geçirgenliği düşük olması nedeniyle talaşın takıma ısı transferini engeller ve takımın ısınarak, yumuşamasını önler. Krater oluşumunu ve serbest yüzey aşınmasını minimuma indirir. Bu sebep ile kesme ve ilerleme hızları % 20 kadar arttırılabilir
- ✓ Kimyasal stabilitesi yüksek bir malzeme olduğundan iş parçasına yapışmaz, kayganlık özellikleri yükselir. Kesme anında uç birikintilerinin büyümesini engelleyerek iş parçası yüzeyinin temiz çıkmasını sağlar.
- ✓ Sürtünme katsayısı düşük olduğu için kesme ve sürtünme kuvvetleri azalır ve buna bağlı olarak takımın ısınmasını önleyerek ve plastik deformasyonu geciktirir ,
- ✓ Kimyasal reaksiyonlara girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyleri daha uzun süre aktif kalır. Özellikle paslanmaz çelik iş parçalarında takımdan, iş parçasına demir transferi olmadığı için paslanmayı önler.
- ✓ Kaplama yüzeye mükemmel yapıştığından sıvama kenarlarında ve kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz. Yüksek tonajlı preslerde dahi yüzeyden dökülmezler.
- ✓ Kalınlığı 1-4 mm arasında olduğunda takımların toleranslarını değiştirmezler. Kaplama sonrası ilave bir işlem gerektirmeden takım kullanılır.
- ✓ Kaplamalar ince olduklarından ısıl genleşme katsayıları takımların ısıl genleşme katsayılarını kadardır. Bu nedenle ısıl genleşme ve eğilme ile takım yüzeyinden dökülmezler.
- ✓ Renkleri ana malzeme renklerinden farklı olması nedeniyle takımın aşınma miktarı kolaylıkla görülebilir
- ✓ Titanyum nitrür kaplama, takımların, kalıpların ve diğer makine elemanlarının aşınmalarını engellemesine karşın her türlü aşınma probleminin çözümü değildir. PVD teknikleri ile daha başka birçok metal ve metal bileşiği kaplama yapmak mümkündür. Bu kaplamaların titanyum nitrür' ün fiziksel özelliklerini taşıması yanı sıra ayrıca ilave değişik özelliklere de sahiptirler (Kalkan 2008).

Çizelge 2.1 TiN'e ait bazı özellikler (Patrick 1998).

Özellik	TiN
Yapı	fcc(NaCl)
Stokiyometri aralığı	TiN _{0,6-1,1}
Renk	Altın Sarısı
Yoğunluk	5,4 g/cm ³
Ergime Sıcaklığı	2950 °C
Özgül Isısı	37,0 J/mol.K
Termal İletkenliği	30 Watt/m.K

TiN_x yapılar nitrojen içeriğine bağlı olarak gri, açık sarı (TiN₂), altın sarısı (TiN), kahverengi, bronz ve kırmızı gibi farklı renklerde olabilir. Eğer oksijen içeriği varsa morda olabilir (Patrick 1998).

2.2 Titanyum Nitrür (TiN) İnce Film Özellikleri

Son yıllarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları arasında büyük bir ivme kazanan ince filmler, elektronik aygıt teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. Çok geniş bir yelpazede kullanım alanına sahip olan ince filmlerden elde edilen performans oldukça önemli bir parametredir. Bunun nedeni elde edilen performans üretim teknikleriyle doğrudan ilişkili olmasıdır. Üretim teknikleri ve üretim koşullarındaki farklılıklar ince filmlerde hacimli malzemelerde bulunmayan pek çok özelliği ortaya çıkarmaktadır. Bu özellikler, ince film malzemelere hacimli malzemelere göre üstün özellikler kazandırmakta ve yeni çalışmaların önünü açmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ince filmlerin üretilmesinde birbirine alternatif olabilecek yeni üretim teknolojileri ortaya çıkmış ve geliştirilmiştir (Sönmezoğlu vd. 2012).

Bu üretim teknolojilerinde vakum un etkisini de göz ardı etmemek lazım. Pek i vakuma neden ihtiyaç duyuluyor ve ince filmin üretilmesinde ne gibi kolaylıklar sağlamaktadır?

Bu sorulara cevap verebilmek ve ince film kaplamayı daha iyi anlatmak için vakum dan

da bahsetme lüzumu duydum. Çünkü günümüzde vakum düzeneği bulundurmayan araştırma laboratuvarı ve ileri teknoloji üretim merkezi yok gibidir. Vakum teknolojisi ilk kullanılmaya başlandığı yıllardan bugüne büyük gelişmeler göstermiştir. Evimizde kullandığımız aletlerden uzay teknolojisinde kullanıma kadar geniş bir alanda görmek mümkündür.

Vakum, latin kökenli bir kelime olup dilimiz de ki karşılığı boşluk olarak ifade edilmektedir. Amerikan vakum topluluğunun yapmış olduğu tanıma göre vakum, basıncı atmosferik basıncın altında olan gazların doldurduğu kapalı hacim olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımda sözü edilen basınç değerine karşı gelen birim hacimdeki gaz moleküllerinin sayısı, deniz seviyesinde ve 22° C sıcaklıkta bulunan $2,5 \times 10^{25}$ molekül/m³'den daha düşüktür (Tarımcı ve Sarı 2006). Bunun yanında var olan gözle göremediğimiz boyutlarda canlı cansız birçok parçacıkta vardır. Vakumlanmış ortam bize göre gazlardan temizlenmiş ortam, arındırılmış ortam anlamı taşımaktadır.

Vakum yapay ve doğal olarak gözlenebilmektedir. Doğal olan uzayda ki vakum, yapay olan ise bizim, ortamdaki gaz molekülleri sayısını pompalar vasıtasıyla azaltmamızla oluşturduğumuz ortamdır. En basitinden insan ağzını kullanarak ta vakum oluşturabilir. Buda yaklaşık 400 mbar mertebesinde. Yapay vakumlu ortam oluşturmak için kapalı ortam hacmi ve vakum için üretilen pompalara ihtiyaç var.

Pompalar ile elde edilen vakum, kullanılan pompalama gücüne bağlı olarak farklı değerler alır. Bu değerlere göre kullanılan pompa ve vakum düzeneği değişir. Bunları kısaca ifade edecek olursak; alçak vakum düzenekleri 10^{-3} - 10^{-6} mbar aralığına, yüksek vakum düzenekleri 10^{-6} - 10^{-9} mbar aralığında ve ileri yüksek vakum düzenekleri 10^{-9} - 10^{-12} mbar aralığında ki vakum düzenekleridir. Biz bu çalışmamızda alçak vakum düzeneğini kullandık. Deneyimizi vakum ortamında plazma yardımıyla gerçekleştirdik. Ortam özelliklerinden yeterince bahsettikten sonra Titanyum nitrür ince filmlerin özelliklerinden bahsetmeye devam edelim.

TiN kaplamalar, yüksek sertlikleri, düşük aşınma oranları ve görünüşlerinden dolayı yıllardır, aşınma önleme ve dekoratif amaç ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum nitrür yapılarında elde ediliş yöntemleri çok önemlidir. Uygun bir kaplama yönteminin

belirlenmesi fiziksel, kimyasal, teknolojik ve ekonomik açıdan çok sayıda parametreye bağılı olarak yapılmaktadır. Kullanılacak kaplama tekniğı, özellikle üretilecek kaplamanın türü ve kaplama-altlık özelliklerine bağılı beklentiler, altlık malzemesinin şekli ve boyutları, ayrıca kaplama işlemi esnasında oluşacak ısı yüklemeler gibi etkenler göz önüne alınarak belirlenir.

1950’li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgahlar üretilmiştir. Bu tezgahların üretilmesiyle teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımların ömrünün nasıl arttırılabileceğı sorusu çıkmıştır. Seri üretimde kullanılan söz konusu makinelerin, ömrünü arttırmak için, yapılan araştırmalar sonucunda aşınma riski olan takımların yüzeyinin TiN gibi sert tabakalarla kaplanması uygun bir çözüm olabileceğı fark edildi. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermedi. Bunun nedeni Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) adı verilen yöntemle 1000 - 2000°C gibi sıcaklıklarda kaplama yapılabildiğı için hassas olarak işlenen ısı işlem görmüş takım çeliklerinde (soğuk iş çelikleri, sıcak iş çelikleri, ve yüksek hız çelikleri) sertlik kaybına ve ölçülerin değışmesine neden olmaktaydı. Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960’lı yılların sonunda Amerika’da ION – PLATING adlı bir PVD metodu geliştirildi. Hedef metalden kopan pozitif yüklü iyonlar yüzeye (altlık) gelerek birikir. İvmelenerek gelen pozitif yüklü iyonlar yüzeyden elektron, atom vs. söker (Özet 2008).

İşlem sıcaklığı açısından CVD için yukarıda bahsedilen sıcaklığa çıkılması gerekirken, PVD tekniğinde ise bu sıcaklık oda sıcaklığı ile 500°C arasındaki sıcaklıklarda kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Biz bu çalışmamızda PVD tekniğinden yararlandık. PVD teknikleri CVD tekniklerine oranla oldukça esnek yöntemlerdir. Metal ve ya metal alaşımlarını buharlaştırma ya da saçtırma esasına dayalı yöntemlerde PVD işlemleri malzemelerin reaktif olarak kaplanmasına oldukça uygundur. Bununla birlikte yapıyı etkileyen kompozisyon ve TiN geniş bir azot kompozisyonu aralığında kimyasal olarak kararlıdır. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi diğer kaplama yöntemleriyle yapılamayan ya da istenilen kalitede olmayan ince filmlerin kaplanmasına olanak sağlamıştır.

TiN kaplamalarının bazı dezavantajları da vardır. TiN kaplamaları öncelikle sınırlı bir oksidasyon direncine sahiptirler. TiN kaplamaların 550°C civarında okside oldukları

belirlenmiştir. Yeterince adhezyon sağlanabilmesi için, biriktirme sırasında altlık sıcaklığının yüksek tutulması da bir dezavantaj olabilir. Diğer bir olumsuz etken ise, takım uygulamalarında sürekli olarak daha iyi ve daha performanslı kaplamaların tercih edilmesidir.

TiN, bir aşırı sert seramik malzemedir ve genellikle titanyum, çelik, karbit ve alüminyum komponentler üzerine kaplama yapılarak, substratların özelliklerinin geliştirilmesini sağlar. TiN kaplamalar genellikle korozyona karşı direnç ve keskin kenarların yapısının bozulmasını engelleyerek, kesici ve delici takımların ömrünü 3 katına kadar çıkarabilmektedir. TiN kaplamaların görüntüsü ve rengi altına benzer olduğu için dekoratif amaçlı olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kuyumculuk sektöründe, otomotiv sektöründe ve inşaat sektöründe uygulamaları bulunmaktadır. TiN kaplama, tesisat parçalarında ve kapı pencere parçalarında, nikel veya krom kaplamaların üzerine, üst kaplama olarak uygulanmaktadır. TiN kaplama sağlık açısından bir tehlike içermediği için, vücut içi protezlerde, tıbbi kesici aletlerde kullanılırlar. Bisiklet ve motosiklet süspansiyonları, radyo kontrollü arabaların, şok emici gibi sürekli olarak kayma olan yüzeylerinde kullanılırlar.

TiN kaplamalar, yarı iletken endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır temelli çiplerin yapımında, filmler, silikon parçalar ile metal parçacıklar arasında iletken bariyer görevi görürler.

1981'in başlarında ABD'de ilk defa ticari olarak kullanılmaya başlanan TiN kaplamalar, bugün PVD'nin, yüksek hız çeliklerinin temperlenme noktasını geçmeyen düşük sıcaklıklı bir işlem olduğundan, en uygun kaplama olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle kaplamayı izleyen herhangi bir ısıtılma işlemi gerek kalmamaktadır.

TiN'in iş parçası ve malzemeye önemli bir reaksiyona girmemesi ve böylece yapışmaya bağlı aşınmaların azalmasını sağlayan kimyasal kararlılık. TiN kaplamaların sürtünme katsayısı düşük olduğundan kesme işlemi sırasında ortaya çıkan ısı azdır ve böylece kesici ucun metalürjik olarak daha uzun süre sağlam kalması ve kesici kenarların daha etkin olarak korunması sağlanır. Düşük sürtünme kuvveti kesme kuvvetlerini de düşürür. TiN ayrıca yüksek sıcaklığa da dayanıklıdır ve yukarıda sözü

edilen özelliklerini kesme işlemi sırasında karşılaşılan yüksek sıcaklıklardan da büyük ölçüde korur (İnt. Kyn.1).

2.3 Kullanım Alanları

Yüzyıllar önce soy metallerin ince filmleri cam ve seramik üzerine dekorasyon olarak kullanılmış olması, 1940'lı yıllardan itibaren ince film teknolojisi üzerine olan ilgiyi artarak günümüze kadar taşımıştır. Mikro ve nano yapıli optoelektronik malzeme endüstrisinin temelini oluşturan, teknolojik ve bilimsel araştırmalarda önemli bir yer tutan ince filmler, son zamanlarda en çok çalışılan güncel araştırma konulardan biridir. İnce filmler, farklı üretim teknikleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmi destekleyerek filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan ve kalınlıkları genel olarak 1mm nin altında olan malzemelerdir (Bilgin 2003).

İnce film formatındaki nano kristal materyaller, bu materyallerle yapılan malzeme ve araçların optik, mekanik ve elektriksel gibi temel karakteristik özelliklerinin müthiş oranlarda artırılmasına imkân vermektedir. Bu tip malzemelerde, materyali oluşturan parçacık sayısının artmasından dolayı katı yapıdan moleküler yapıya doğru aşamalı bir geçiş gözlenmektedir. Ayrıca bir ince filmin nano kristal büyüklüğü, malzemenin bant yapısını etkilediği için, malzemeyi oluşturan parçacıkların yeterince küçük olması yük taşıyıcılarının kuantum sınırında bulunmasını ve bant yapılarının kesikli enerji seviyelerine ayrışmasına neden olmaktadır (Sönmezoğlu vd. 2012).

Günümüzde teknolojik gelişmelerin temel ve belirleyici unsurlarından birini oluşturan ince film teknolojisi, insanlığın kullandığı kişisel bilgisayar ve donanımlardan, haberleşme sistemlerine kadar çoğu elektronik aracın içinde bulunmaktadır. Farklı amaçlara hizmet eden ince filmler çeşitli özellikleri dikkate alınarak farklı teknolojik uygulamalarda kullanılırlar. Günlük yaşantımızda hemen her alanda kullandığımız aygıtlar içerisinde ince filmler çok önemli bir yere sahiptir. Elektriksel özellikleri sayesinde yarıiletken ve süper iletken cihazlarda, yalıtım ve iletim kaplamalarında, devre elemanı yapımında, optiksel özelliklerinden dolayı yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalarda, girişim filtrelerinde, optiksel disklerde, manyetik özelliklerinden dolayı hafıza disklerinde, kimyasal özelliklerinden dolayı oksidasyon veya korozyona karşı

korumada, sensörlerde ve bunlar gibi daha birçok uygulamada ince filmler kullanılmaktadır (Horzum 2005, Eckertova 1986).

Günümüzde ince film malzemelerindeki ve gereçlerindeki hızlı değişim; yeni işlemlerin, malzemelerin ve teknolojilerin gelişimi için yeni fırsatlar yaratmaktadır. Bu yüzden, çeşitli uygulamalardaki ince film performans ve yapısı ile ilgili temel fiziksel ve kimyasal özelliklerin önceden bilinen özelliklerini geliştirmek ve bu alandaki ilerlemeyi artırmak için birçok deney yapılmış ve model sistemleri geliştirilmiştir. Deneysel ve teorik incelemelerin birleştirilmiş sonuçları, yeni ince film sistemlerinin geliştirilmesi ile yapı ve performanslarının şekillendirilmesinde bir önkoşuldur.

İnce film üretimi, entegre edilecek malzemeye göre pahalı olmayan bir yöntemdir çünkü üretilmek istenilen büyük ve geniş örnekler değil, kaplanmak istenilen alt taş malzemeye göre kolayca biriktirme işlemi yapılabilen bir yöntemdir. İnce filmler beklenen fonksiyonları gösterebilmeleri için uygun kalınlık ve karakteristik özelliklere sahip olmalıdırlar. Dolayısıyla, farklı üretim metotları ve birbirinden farklı alt taş malzemelerin üzerine üretimi denenerek daha kaliteli ince filmlerin üretim çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı fazda gerçekleştirilen bu teknikler alt türleriyle detaylı bir şekilde anlatılmış, hem kendi avantaj ve dezavantajları, hem de birbirlerine göre üstünlüklerinin incelenmesi amaçlanmıştır (Sönmezoğlu vd. 2012).

Titanyum nitrür birçok ortamda çok iyi korozyon özellikleri göstermektedir. Ancak TiN gibi sert metal kaplamalar gözenekli olabildiklerinden her zaman korozyona karşı dirençli değildirler. TiN kaplamaya Al ilave edilmesiyle daha fazla tane sınırı oluşması sonucunda korozyon direnci özellikle de tuz solüsyonlara karşı olan korozyon direnci arttırılmış olur. Son yıllarda TiN, ZrN, TiTiN, NbN gibi metal nitrürleri sahip oldukları yüksek aşınma direnci, sertlik ve düşük sürtünme katsayısı özelliklerinden dolayı birçok alanda koruyucu kaplama olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Gaitan *et al.* 2007).

Çoğunlukla, titanyum, krom ve alüminyum esaslı nitrür kaplamalar gibi sert kaplamaların aşınma ve korozyona karşı dayanım isteyen uygulamalardaki kullanımları artmaktadır (Souto and Alanyali 2000, Aghaie-khafri and Fazlalipour 2008).

Titanyum nitrür kaplamalar, sahip oldukları yüksek sertlik, aşınma ve korozyon dirençlerinden dolayı metal işleme takımlarının ve makine parçalarının kullanım ömürlerini uzatmak amacıyla kullanılmaktadır. Titanyum nitrür birçok ortamda çok iyi korozyon özellikleri göstermektedir. Ancak TiN gibi sert metal kaplamalar gözenekli olabildiklerinden her zaman korozyona dirençli değildir. TiN kaplama üzerinde birkaç küçük delik bulunmasıyla birlikte homojen ve kompakt bir yapıya sahiptir (Çeğil ve Şen 2012).

Otomotiv, ulaşım ve inşaat endüstrilerindeki uygulamalar için maliyet ana faktörlerdendir. Yüksek sertlik ve aşındırma özelliğinden dolayı, kesici takımların çabuk aşınmasına sebep olması ve takım ömrünü azaltmasıdır. Aşırı miktardaki takım aşınmasını önlemek için yüksek hız çeliğinden takımlar, tungsten karbür, titanyum nitrür veya elmasla kaplanır. Kesme hızının aşınmaya etkisinin çok fazla olmadığı belirlenmiştir. Buna rağmen tüm takım malzemeleri için genel olarak kesme hızı arttıkça takım aşınmasının arttığı görülmüştür (Şahin 2014).

TiN ile kaplanmış matkapların, kaplamasız matkaplara göre 5-8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Endüstride aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliği iyileştirmek için benimsenen yaklaşımlardan birisi de, kesici takımlara PVD tekniği ile TiN kaplanmasıdır. TiN kaplamanın önemli faydaları, yüksek sertlik ve aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklık mukavemeti ve kimyasal kararlılık ile kesme kenarında temas şartlarının iyileşme kabiliyetidir. Bu ise TiN kaplamalara, mükemmel abrazyon, adhezyon, kraterleme ve düşük kesme hızlarında kesilen kenarlarda talaş yığılması direnci kazandırır. Bunun sonucunda da kaplanmış takımların iş parçası malzemesi ve kesme şartları bakımından çalışma aralığı genişler.

3. MATERYAL VE METOT

Bilimsel ve endüstriyel çalışmalar için önemli bir yere sahip olan ince filmler; ilk olarak cam ve seramikler üzerinde dekorasyon olarak kullanılmıştır. Daha sonra, gümüş tuzları kullanılarak, cam yüzeyler üzerinde gümüş filmleri elde edilmiştir. 19.yüzyıldan itibaren bilimsel çalışmalardaki artış, daha yeni ve daha modern ince film elde etme yöntemlerini de beraberinde getirmiştir. İlk ince film, 1838’de ‘elektroliz’ yöntemi ile elde edilmiş olup, daha sonra 1852’de Bunsen ‘kimyasal reaksiyon’ yöntemiyle, Faraday ‘asal gaz içerisinde buharlaştırma’ yöntemiyle, Nahrwold ve Kundt ‘Joule ısıtması’ yöntemiyle yine ince film elde etmişlerdir (Zor 1982).

Ancak, ince filmler üzerinde yapılan bu çalışmalar, vakum cihazlarının gelişmesine kadar laboratuvar çalışmaları olarak kalmıştır. Vakum cihazları geliştirildikten sonra modern yöntemlerle elde edilen ince filmlerin kristal yapıları, elektriksel ve optik özellikleri araştırılmaya başlanmıştır (Sönmezoğlu vd. 2012).

PVD (physical vapor deposition) kaplama teknolojisi 19. yüzyılın başlarından beri bilinmesine rağmen, ancak son yıllarda kendisine endüstride bir yer bulabilmiştir. Günümüze kadar geliştirilen farklı kaplama işlemleri ile uygulanan bu tekniğin mekanizması

- i. Vakumlu ortamda, bir ısıtıcı ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde biriktirilmesi.
- ii. Katı haldeki ham madde yüksek enerji ile iyonlaştırılmış ve reaktif gazlarla oluşturulmuş plazma haline getirilerek, kontrollü olarak kaplanacak malzemenin üzerine yapıştırılması, işlemi olarak özetlenebilir.

19. yüzyıl sonlarında özellikle sanayileşmenin artması ile birlikte aşınma dayanımı ciddi anlamda bir ihtiyaç haline gelmiş ve 1960’lı yıllarda günümüzde kullanılan vakum sistemlerin ilk adımları atılmıştır. Yarıiletken endüstrisinin gelişimi ile kendine endüstride yer bulabilen PVD tekniği, günümüzde mikro-elektronik, tıp, dekoratif amaçlı, oksidasyon ve korozyona karşı direnç gerektiren uygulamalar gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Holmberg and Matthews 1994).

Vakum ortamında katı veya sıvı halde bulunan malzemelerin buharlaştırılarak veya

sıçratılarak atomlarının yüzeyden koparılması ve kaplanacak olan altlık malzemesi yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanan PVD kaplama yöntemi “buharlaştırma” ve “saçtırma” olmak üzere iki grupta incelenmektedir (Sönmezoğlu vd. 2012).

Bilimsel araştırma çalışmalarında ve teknolojiye, elektrokimyasal kaplama, sprej püskürtme gibi birçok ince film üretim teknikleri mevcuttur. Ancak üretim parametrelerinin kontrol edilebilmesi açısından vakum altında ince film kaplama teknikleri son yıllardaki teknolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Vakum altında ince film kaplama tekniklerinden bazıları; termal buharlaştırma, elektron demetli buharlaştırma, kimyasal buhar biriktirme, RF ve DC saçtırma, RF ve DC magnetron saçtırma, vb. dir (Özkan 2010).

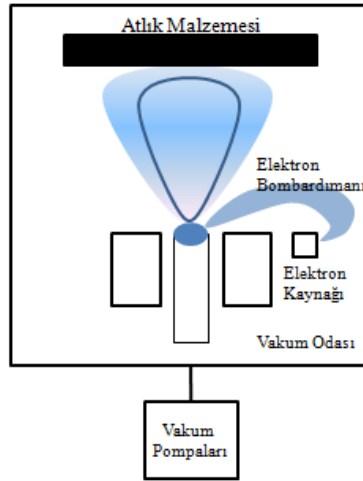
Kaplama ile ilgili olarak şunları söyleyebiliriz. Kullanılan malzemenin dayanıklılığı bizim için, kullanıcılar için önemlidir. Bunu daha kalıcı hale getirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yüzey kaplamaları da bu durumun ihtiyacını karşılama amaçlı ortaya çıkmıştır. Kullanılan malzemelerdeki sürtünme ve aşınmalar, dış görünümü, dekoratif yapısı dikkatleri çekmeye başlamıştır. Bunu daha alıcı hale getirmek için ise çeşitli kaplamalar ve kaplama teknikleri geliştirilmiştir. Örneğin insanlar tarafından ilgi duyulan altın elementi öyle bir hal almıştır ki, altın kaplama malzemeler de toplumlar tarafından kabul görmeye başlamıştır. Bunun yanında kullanılacak malzemelerdeki yüzey davranışları malzemenin davranışı olarak algılanmaya başlanmıştır. Bu istek ve arzular insanları kaplama sanayisine yönlendirmiştir (Keleşoğlu 2011).

1800’lü yıllardan beri bilinmekte olan, ancak son 50 senedir kendisine endüstride bir yer bulabilmiş olan çeşitli ince film üretim yöntemleri mevcuttur. Bilimsel araştırma çalışmalarında ve teknolojiye, sol gel, elektrokimyasal kaplama, sprej 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 demet li buharlaştırma, kimyasal buhar biriktirme, RF ve DC saçtırma, RF ve DC magnetron saçtırma, moleküler demet li epitaksi, termiyonik vakum ark vb. dir. Bizde bu çalışmada TiN kullanarak cam üzerinde vakumlu ortamda plazma ortamı oluşturarak ince film kaplaması yaptık.

3.2 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği (e - Beam Evaporation)

Metal kaplama işleminde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik, elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı tekniktir. Bu teknik ilke olarak termal buharlaştırma tekniği ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Bu tekniğin en belirgin farklılığı buharlaştırılacak 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 teknik de malzemeyi ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilir. Ayrıca pota su ile soğutulabildiğinden potanın yapıldığı metalin buharlaşması önlenerek film üzerinde oluşacak safsızlıkta iyileştirilmiş olur (Akan 2003, Tarımcı ve Sarı 2006).

Malzemenin direk ısıtılabilmesi nedeniyle buharlaşma sıcaklığı yüksek olan malzemelerin bu teknikle buharlaştırılması mümkündür.



Şekil 3. 2 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi (Türküz 1997).

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, yer değiştirme gibi) ile katının depolanması olarak tanımlanabilir. CVD sistemi başlıca üç kısımdan oluşur. Bu kısımlar; buhar

haldeki reaksiyon bileşenlerini besleyen kısım, CVD reaktörü (tabanı ısıtıcı sistem) ve çıkış (egzoz) gazlarını atan kısımdır (Geçkinli 1992).

CVD tekniğinin sahip olduğu birçok avantaj vardır. Bunlar,

- ✓ Genellikle taban ile uyumlu olmasıdır. Yani, bu filmler karmaşık şekilli parçalara uygulanabilir.
- ✓ Çok yüksek saflıkta depolamaya imkan vermesi,
- ✓ Yüksek depolama oranı (bazı durumlarda santimetre kalınlığında)
- ✓ Genellikle diğer pek çok tekniğe göre yüksek vakuma gerek duyulmamasıdır.

CVD tekniğinin dezavantajları,

- ✓ Yüksek ısıya karşı dayanıksız olan tabanlar üzerine depolama yapılamaması (600 °C ve üzeri sıcaklıklardaki kaplama tabanları için uygundur),
- ✓ Kullanılan reaktif gazlar çoğu kez tehlikeli ve pahalıdır.
- ✓ Reaksiyon sonucu oluşan istenmeyen bazı bileşenler tabana etki edebilmektedir. (Geçkinli 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 tekniği de bir materyal yüzeyine vuran iyonların bu materyal yüzeyinin atomlarını sökmesi olayıdır (Campbell 1978).

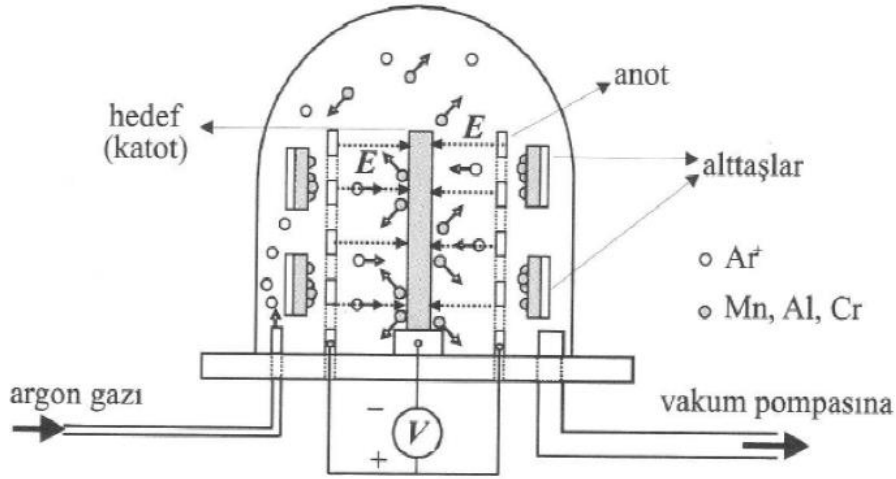
Saçtırma tekniğinde, malzemeler ile reaksiyona girmeyecek gazlar kullanılmalıdır. Bu teknikte, kaplama işlemi soy gaz ortamında yapılmaktadır. Bu tekniğin basıncı diğer benzer tekniklere göre daha yüksektir (Tarımcı ve Sarı 2006).

Saçtırma yöntemi, hedef malzeme yüzeyinin, genellikle plazma veya iyon tabancası aracılığı ile hızlandırılmış atomik boyuttaki yüksek enerjili gaz iyonlarıyla bombardıman edilerek, atomların yüzeyden sıçratılması ve hedef malzeme yüzeyinden koparılan atomların buhar fazına geçerek altlık malzemesi üzerine biriktirilmesi esasına dayanır. Saçtırma ile kaplama ilk kez 1852 yılında DC (doğru akım) gaz parlama deşarj tüpü ile yapılan deneyde gözlemlenmiştir. Gaz deşarjı içinde tüpün katotundan yüksek

enerjili iyonlar sıçratılması ile katot malzemesi tüpün iç kısımlarına biriktirilmiştir. O zamanlarda saçtırma katodun bozunmasına neden olduğu için istenilmeyen bir durumdu. Fakat bugün saçtırma yaygın olarak yüzey temizlemede, yüzey aşındırmada, ince film biriktirmede ve yüzey analizinde kullanılmaktadır (Kiyotaka and Shigeru 1992).

Saçtırma tekniği ile birçok malzeme başarılı bir şekilde kaplanmasına rağmen, birikme hızının ve plazma içindeki iyonlaşma etkisinin düşük olması ve taban sıcaklığının yükselmesi sistemin kullanımını sınırlamıştır. Son yıllarda saçtırma teknolojisindeki gelişmelerin çoğu, manyetik alanda yapılmıştır. Bunun nedeni, manyetik alanda saçtırma yöntemi ile yapılan kaplamaların, mikroelektronik, optik, türbin bıçakları, manyetik ve optik diskler ve kesici takımlar gibi birçok endüstriyel alanda kullanılmasıdır (Smallman and Ngan 2007).

Saçtırma yönteminin en önemli avantajı farklı buhar basınçlarında farklı buharlaşma hızlarına sahip alaşımların, bileşimleri değişmeksizin başarıyla biriktirilebilmesidir. Ayrıca bu yöntemde film yapısına makro partiküllerin girme olasılığı çok düşüktür. Elde edilen kaplamaların alt malzemeye saçtırma yönteminde kullanılan soygaz iyonları, hedef malzeme yüzeyine çarparak sahip oldukları enerjiyi malzemeye verirler ve böylece malzeme yüzeyinden atomları sı ratırlar yapışması oldukça iyidir ve alt malzemenin saçtırma ile temizlenmesi ile daha da iyi hale getirilebilir. Sonuç olarak saçtırma ile elde edilen filmin kalitesi ve yapısı mükemmeldir. Yöntemin dezavantajları olarak ise limitli kaplama kalınlığı ve yüksek maliyeti sayılabilir çünkü saçtırma yöntemindeki elektrik tüketimi buharlaştırmaya nazaran çok daha fazladır. Saçtırma işlemi kullanılarak elde edilen fiziksel buhar biriktirme (PVD) kaplamaları diyot, triyot, manyetik alanda saçtırma ve iyon demeti ile saçtırma olarak gruplandırılmaktadır. (Sönmezoğlu vd. 2012)



Şekil 3. 3 Saçırma (Sputtering) sisteminin sematik gösterimi (Tarımcı ve Sarı 2006).

Şekil 3.3 de saçırma işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Saçırma işlemi için öncelikle elektrotlar arasına bir soy gaz doldurulur (Ör. Argon). Elektrotlar arasına uygulanan potansiyel ile bu elektrotlar arasında soy gazın plazması üretilir. Elektrotlar arasında plazmanın oluşmasıyla akım birden artar ve buna bağlı olarak bir potansiyel düşümü oluşur. Akımın yükselmesi, plazma içinde oluşan pozitif iyonların katoda vurarak ikincil elektron emisyonu yapması nedeniyle, yüklü parçacık sayısının çok hızlı bir şekilde artmasından kaynaklanır. Plazma içindeki pozitif iyonlar bu potansiyel düşümünde katoda doğru hızlanırlar ve bu hızla katoda çarparlar. Katot yüzeyinin bu bölgelerinden bir süre sonra nötral materyal atomları sökülmeğe baslar. Sökülen bu nötral atomlar katodun hemen karşısında bulunan anodun üzerindeki taban yüzeyine kaplanırlar (Thornton 1983, Akan 2003).

İki tür Saçırma tekniği mevcuttur. Bunlar, radyo frekansı (RF) ve doğru akım (DC) saçırma teknikleridir. Saçırma tekniğinin adı kullanılan güç kaynağının cinsine göre değişmektedir (Tarımcı ve Sarı 2006, Johnson 2005). Örneğin elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir radyo frekans güç kaynağından elde ediliyorsa 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, katodun arka kısmında mıknatıs kullanılır. Bu şekilde yapılan saçırma işlemi, magnetron saçırma (magnetron sputtering) olarak adlandırılır (Akan 2003, Johnson 2005).

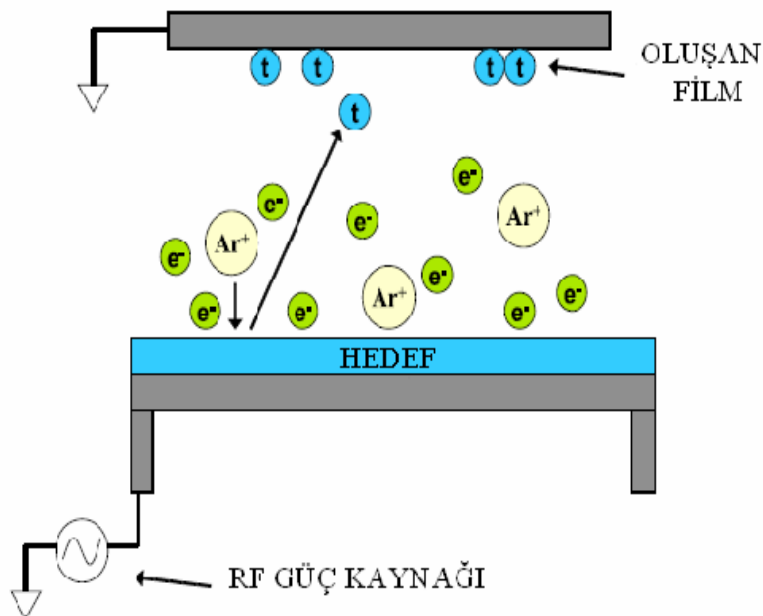
3.4.1 Radyo frekansı (RF) Saçtırma tekniği

Bu tekniğin önemli olan tarafı saçtırma işleminde RF güç kaynağının kullanılmasıdır. RF saçtırma sistemi; vakum odası, vakum pompası, radyo frekansı güç kaynağı, eşleştirme ünitesi olmak üzere dört ana kısımdan oluşur (Grill 1993a, Johnson 2005).

Vakum pompası; vakum odasının basıncını düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Basıncın düşürülmesinin nedeni; vakum odasını havadaki diğer gazlardan temizlemek ve iyonize olmuş parçacıkların ortalama serbest yolunu arttırarak yüksek enerjili çarpışmalar elde etmektir (Grill 1993b).

Radyo frekansı güç kaynağı ile elektromanyetik dalgalar oluşturulur. Bu dalgalar eşleştirme ünitesi sayesinde vakum odası içinde titreşim frekansı oluşturarak hedef materyalin iyonize olmasını sağlar. Frekansın yüksek olması plazma deşarjını sürekli hale getirir (Grill 1993a, Johnson 2005).

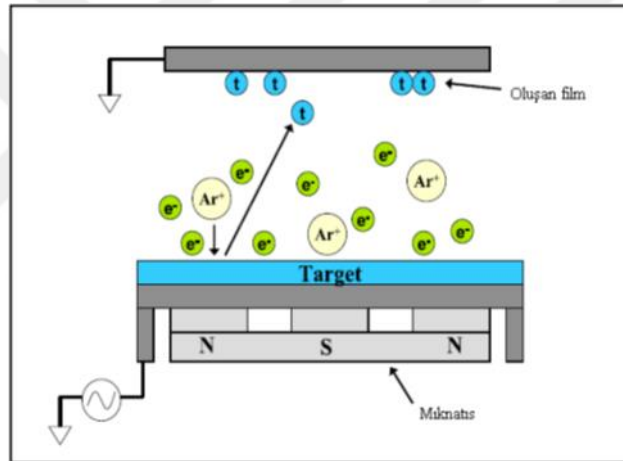
RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi şekil 3.4 de gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 RF Saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Özkan 2010).

3.4.2 Radyo frekanslı (RF) Magnetron Saçtırma Tekniği

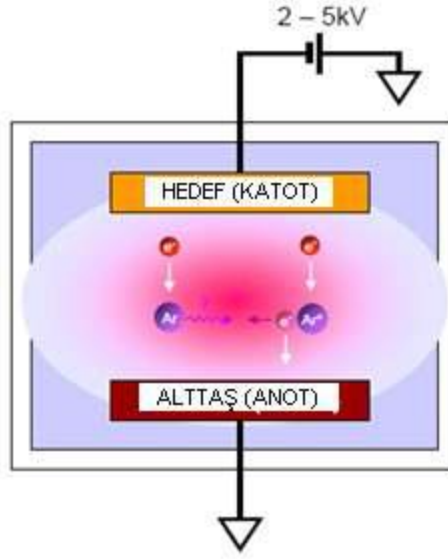
Bu teknik de, iyonlaşmış soy gaz (argon) atomlarını hızlandırmak için kullanılan elektriksel alana ek olarak bu alana dik doğrultuda bir de manyetik alan uygulanır. Manyetik alan sayesinde elektronlar sarmal yörünge boyunca hareket ederler. Elektronların bu sarmal yörüngesi nedeniyle yolları uzadığı için hareketleri boyunca daha çok sayıda nötr soy gaz atomlarıyla çarpışma yaparak hedef üzerinde iyon konsantrasyonunu artırırlar. Bu sayede hedeften atom koparma işlemi daha yoğun bir şekilde gerçekleşir ve aynı zamanda daha düşük basınçlarda plazma oluşturulabilir. Bu teknikle ayrıca hedeften kopan elektronların tabana ulaşması manyetik alan sayesinde önlediğinden taban üzerindeki filmin ısınması da bir dereceye kadar önlenmiş olur. Isıya duyarlı örnekler için bu yöntem özellikle tercih edilmektedir (Tarımcı ve Sarı 2006, Johnson 2005).



Şekil 3. 5 RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson 2005).

3.4.3 Doğru akım (DC) Saçtırma tekniği

Bu teknikte elektrotlar arasında uygulanan potansiyel fark, doğru akım güç kaynağı ile sağlanır. Metal malzemelerin kaplanmasında kullanılır. Ancak yalıtkan malzemelerin kaplanması için uygun değildir. Homojen ve iyi tutunmuş filmler üretilebilir. 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).



Şekil 3. 6 DC Saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Kokkokoğlu 2010).

3.4.4 Doğru akım (DC) Magnetron Saçtırma Tekniği

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

4. BULGULAR

4.1 Giriş

Bu çalışmada TiN ince filmler RF magnetron saçtırma yöntemi ile plazma ortamında oluşturulmuştur. Çalışmada TiN bileşiği plazma yardımıyla hedef metal üzerinden titanyum atomları kopartılması ve azot gazıyla reaksiyona girip TiN bileşiği halinde oluşturulmuş ve ince film halinde cam alt taş üzerinde depolanmıştır. Oluşturulan bu TiN ince filmlerin morfolojik mikro yapı ve yüzey özellikleri incelenerek, farklı sürede ve farklı gazı konsantrasyonunda (50%N - 50% Ar ve 70% Ar – 30 % N) kaplama özellikleri ve farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır. 13,56 MHz. radyo frekansında basınç sabit tutulmuştur. Basınç değeri olarak $7,0 \times 10^{-2}$ torr kullanılmıştır. Güç değeri ise değiştirilmiştir. Deneyde kullanılan çalışma parametreleri çizelge 4.1deki gibidir.

Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan parametreler.

Numune	Numune No	Ar%	N %	Frekans(MHz.)	Çalışma Basıncı (Torr)	Uygulanan Güç(W)	Süre (dk)
TiN	1.1-1.2-1.3	50%	50%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	100	30
TiN	2.1-2.3-2.3	50%	50%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	100	60
TiN	3.1-3.2-3.3	50%	50%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	150	30
TiN	4.1-4.2-4.3	50%	50%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	150	60
TiN	5.1-5.2-5.3	70%	30%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	100	30
TiN	6.1-6.2-6.3	70%	30%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	100	60
TiN	7.1-7.2-7.3	70%	30%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	150	30
TiN	8.1-8.2-8.3	70%	30%	13,56	$7,0 \times 10^{-2}$	150	60

4.2 Kullanılan Deneysel Sistem

Bu çalışmada RF manyetik Saçtırma yöntemi kullanılarak, farklı güç ve sürelerde sabit gaz karışım oranında (50%N-50%Ar ve 70%Ar-30%N) TiN ince filmleri cam tabanlar üzerine biriktirilerek depolanmıştır.

RF manyetik saçtırma sistemi beş ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- Vakum odası
- Vakum pompası
- Gaz karıştırıcı
- RF güç kaynağı
- Eşleştirme ünitesi
- RF manyetik tabanca

RF magnetron saçtırma sisteminde öncelikle, vakum pompası vasıtasıyla vakum odası (vacuum chamber) ve gaz karıştırıcının içi atmosferik gazlardan arındırmak ve sağlıklı bir plazma oluşumunu sağlamak adına vakumlanır. Vakum odasının içinde plazmanın oluşmasını ve devam etmesini sağlayan RF manyetik tabanca bulunmaktadır. Depolanmak istenen hedef malzeme olan titanyum nitrür, RF magnetron tabancanın üzerine yerleştirilir. Kaplanacak alt taş malzemesi cam lamel ise uygun yüzey temizlemesi yapıp karşı topraklama elektrotuna yerleştirilir.

Deneysel çalışmanın devamında vakumlanan gaz karıştırıcının içine Ar ve N gazı belirlenen oranlarda depolanır. Gazların oranları hassas akış vanaları ile sabitlenmesi gerekmektedir. Ar ve N gazları istenilen kaplama parametrelerine bağlı olarak her seferinde sabit oranlarda depolanmıştır. İstenilen basınç değerine düşürülen vakum odası içine kontrollü olarak Ar ve N gazları gönderilir.

Son olarak RF güç kaynağından gönderilen radyo frekansı eşleştirme ünitesi sayesinde dengeli bir dalgalı akım gücünü oluşturarak bu gücü RF manyetik tabancaya iletir. Manyetik tabancada elektrik akımı ve buna eşlik eden manyetik alan ile Ar gazının plazması oluşması sağlanır.

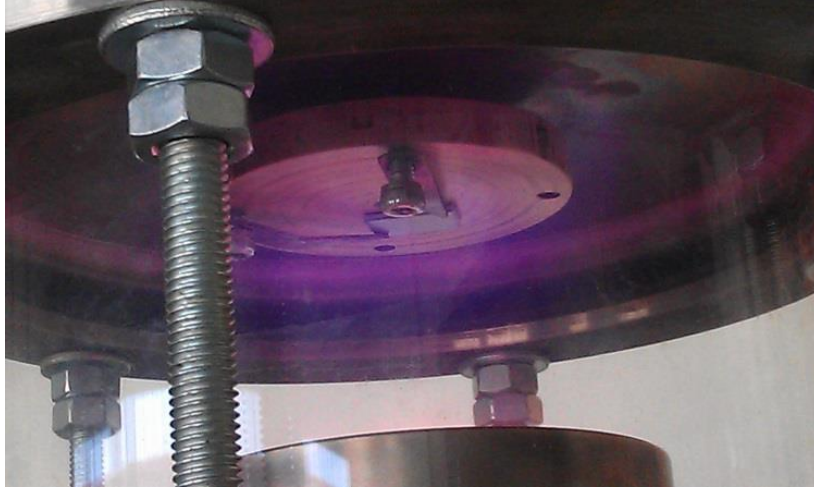
Temel düzeyde eşleştirme (matching) ünitesi iki kapasitör arasına bir indüktör yerleştirilerek oluşturulan bir sistemdir. Sistemi asıl fonksiyonu RF akımının dalgalı bir

akım olması nedeniyle sistem iç direncinde (empedans) seyreden değişimler neticesinde güç değişimlerindeki değişimleri dengelemek ve RF manyetik tabancaya daha kararlı bir güç aktarımı sağlamaktır. Eşleştirme ünitesinde ve güç ünitesinde elektriksel nedenlerden dolayı ısınmaların önüne geçmek için fanlı soğutma sistemi kullanılmıştır. Ayrıca RF manyetik tabanca da elektriksel güç nedeniyle ısınmaya maruz kalmakta ve bu ısınma gerek oluşan plazmanın kararlılığı gerek RF manyetik tabancanın elektronik kararlılığını ve ömrünü olumsuz etkileyebilmektedir. Aşırı ısınma nedeniyle tabancada oluşabilecek bozulmalar ve sistem çalışma olumsuzluklarının önüne geçebilmek için RF tabanca sistemi kendi bünyesinde bulunan soğutma kanalları vasıtasıyla açık devre sus sistemi ile kaplama süreci boyunca soğutulmaktadır.



Şekil 4. 1 RF manyetik saçtırma sisteminin fotoğrafı.

Bu çalışmada, vakum odası içine hedef malzeme olarak TiN yerleştirilmiştir. Vakum odasının içinde Ar ve N gaz karışımının plazması oluşturularak hedef materyal bombardıman edilip iyonlaştırılmış ve N gazı ile materyal reaksiyona girerek lamel alt taş üzerine TiN bileşği depolanarak ince filmler üretilmiştir.



Şekil 4.2 Topraklama elektrotu üzerine tutturulmuş lamel alt taş.

Şekil 4.3 'de ise RF Saçtırma sisteminin içerisindeki kaplama malzemesi olarak kullanılan titanyum nitrür' ün üzerine konulduğu RF manyetik tabanca hedef elektrot un fotoğrafı görülmektedir. Bu elektrotun alt ucu bakırdan imal edilmiştir. Materyalin üzerine konulduğu yer ise 316 numaralı paslanmaz çelik malzemedan imal edilmiştir.



Şekil 4.3 RF manyetik tabanca hedef elektrot.

Şekil 4.4' de ise RF Saçtırma yöntemiyle TiN ince film üretilirken çekilen fotoğraf gösterilmiştir.



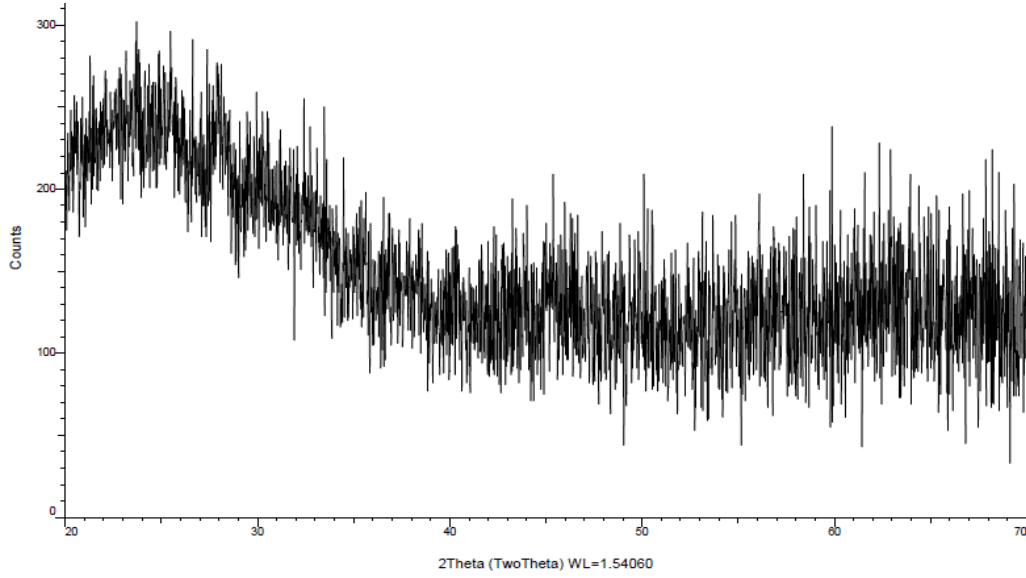
Şekil 4.4 RF manyetik saçtırma sisteminin vakum odası.

4.3 Titanyum Nitrür (TiN) Kaplamaların Karakterizasyonu

RF magnetron Saçtırma yöntemiyle üretilen TiN ince filmlerin minerolojik ve yüzey özellikleri incelenmiş ve üretilen filmlerin kalınlıkları ölçülmüştür. Minerolojik karakterizasyonu X ışınları kırınım yöntemiyle (XRD), yüzey özellikleri incelemesi atomik kuvvet mikroskobu (AFM) metoduyla, kalınlık ölçümleri ise interferometrik ölçüm prensibiyle tespit edilmiştir.

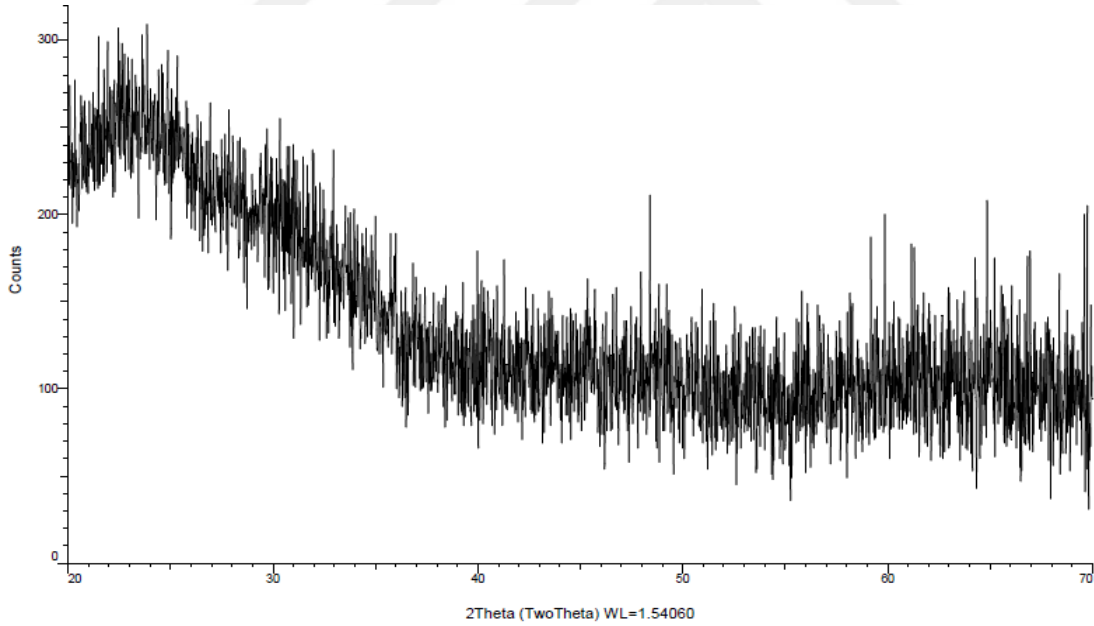
4.3.1 Üretilen Filmlerin X Işınları Kırınımı (XRD) ölçümleri

RF Saçtırma tekniği ile cam alt taş üzerine üretilen farklı konsantrasyonlardaki TiN ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,1540$ nm dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığının da kırınım desenleri alınarak yapılmıştır. Farklı Ar konsantrasyonlarında elde edilen XRD sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 4.5 teki numune için kullanılan deney parametreleri; %70 Ar , %30 N, güç 150 W ve süre 30 dk olarak alınmıştır.



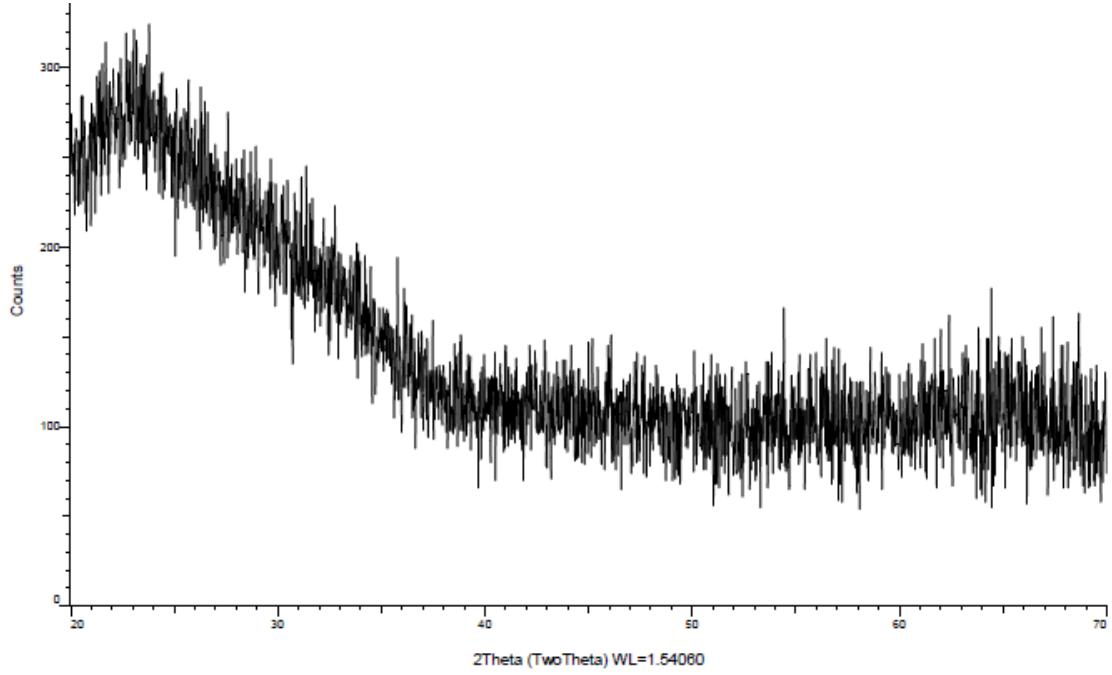
Şekil 4.5 TiN 7.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları.

Şekil 4.6 daki numune için kullanılan deney parametreleri; %70 Ar , %30 N, güç 100W ve süre 60 dk olarak alınmıştır.



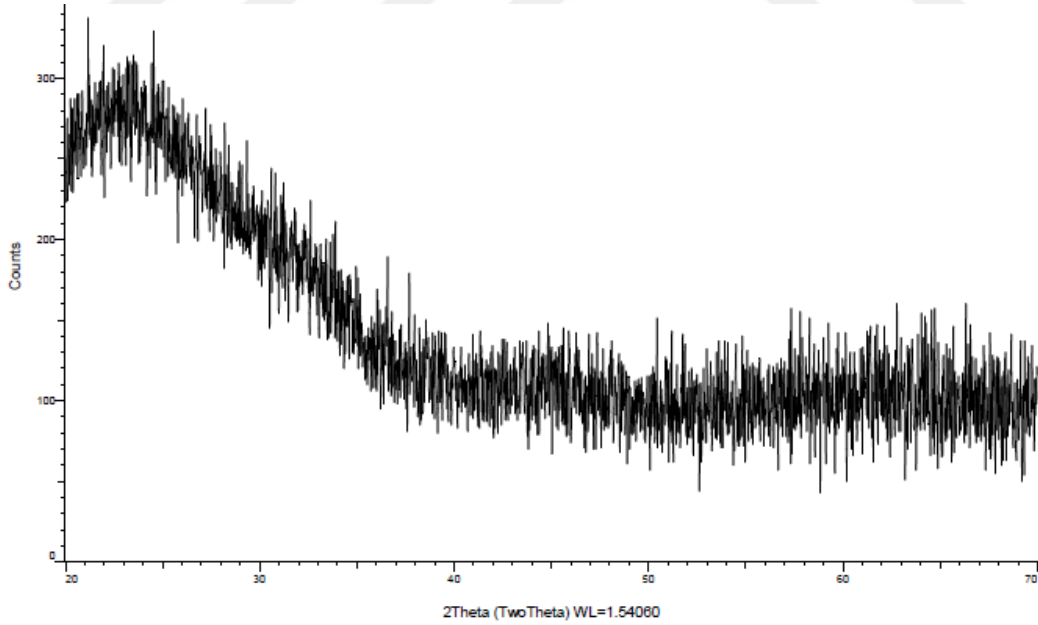
Şekil 4.6 TiN 6.3 numunesine ait XRD analiz sonuçları.

Şekil 4.7 de ki numune için kullanılan deney parametreleri; %50 Ar , %50 N, güç 150W ve süre 30 dk olarak alınmıştır.



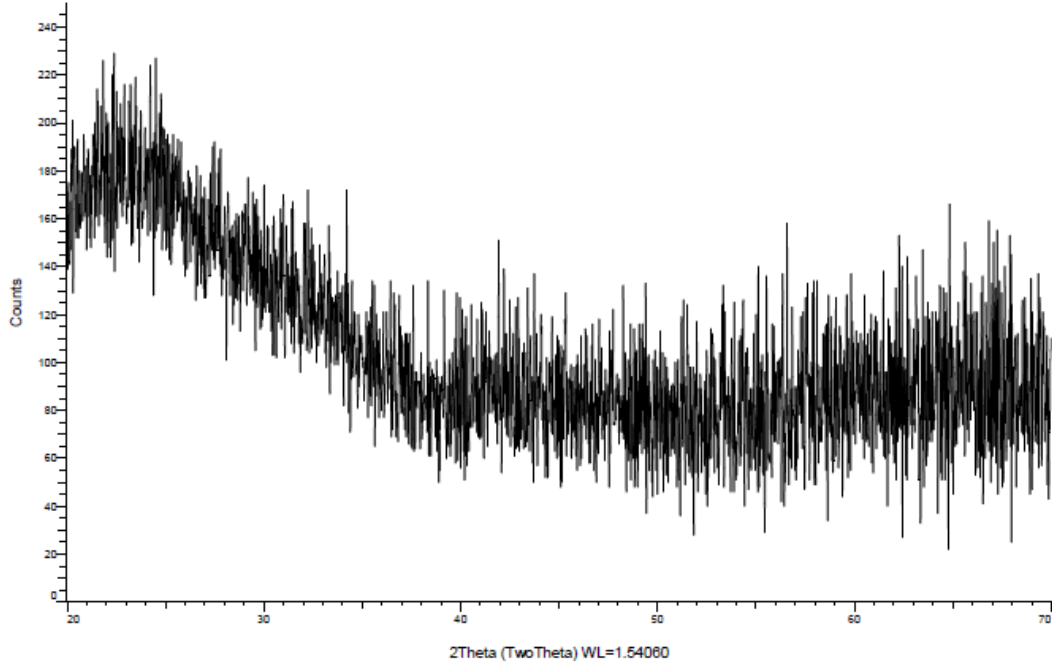
Şekil 4.7 TiN 3.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları.

Şekil 4.8 de ki numune için kullanılan deney parametreleri; %50 Ar , %50 N, güç 150W ve süre 60 dk olarak alınmıştır.



Şekil 4.8 TiN 4.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları.

Şekil 4.9 de ki numune için kullanılan deney parametreleri; %70 Ar , %30 N, güç 100W ve süre 30 dk olarak alınmıştır.

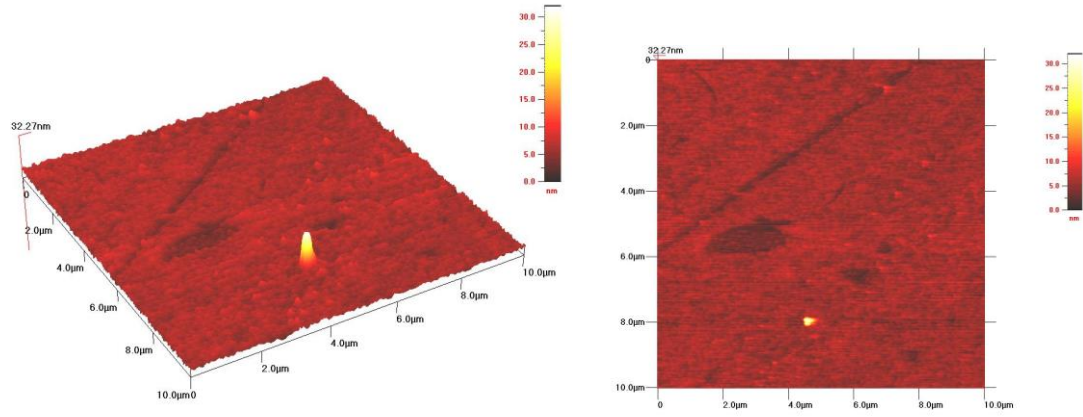


Şekil 4.9 TiN 5.1 numunesine ait XRD analiz sonuçları.

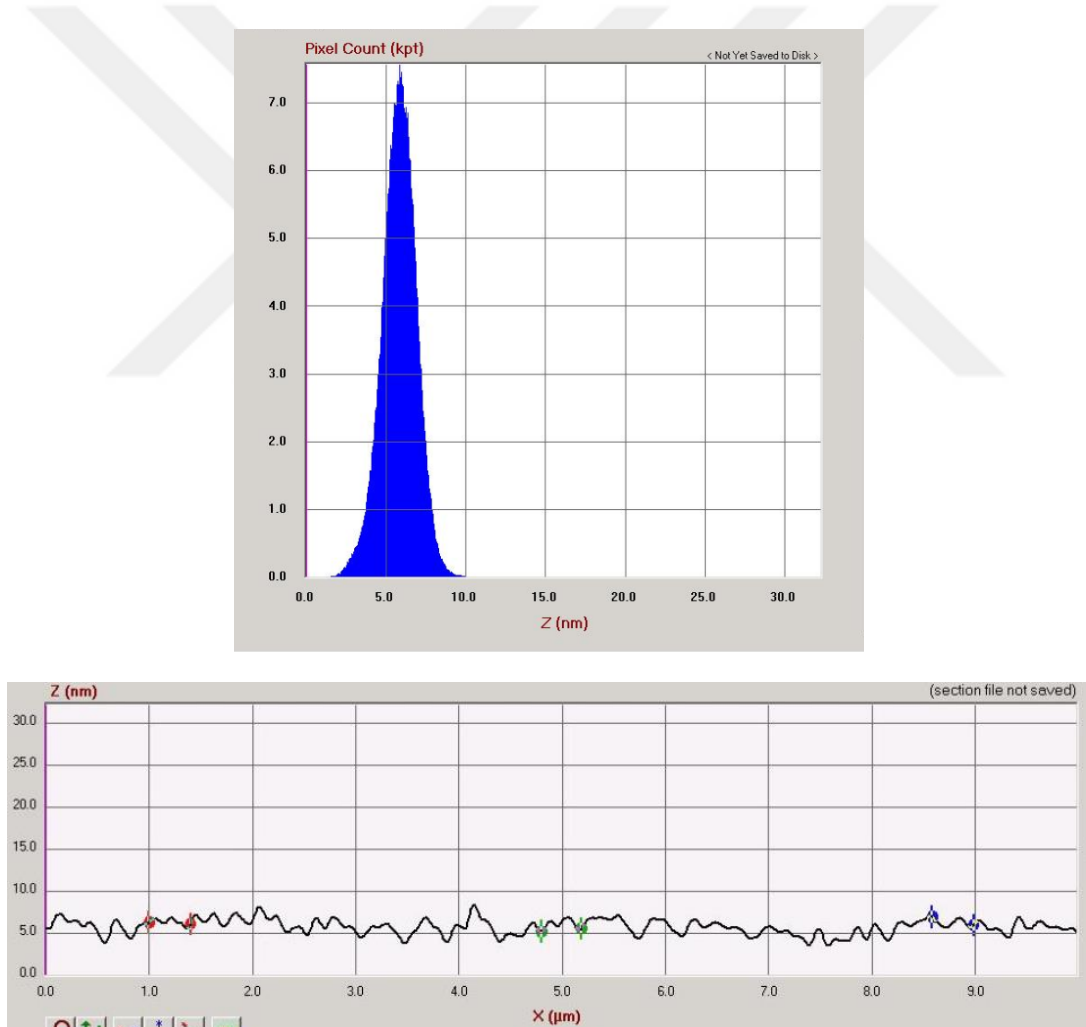
Üretilen ince filmlerin amorf yapıda olduğu gözlenmiştir. Bunun ince filmlerin oluşumu esnasında reaksiyona giren titanyum ve azot atomların belirli bir oranda bir araya gelmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Jeyachandran *et al.* 2007, Pihosh *et al.* 2005).

4.3.2 Üretilen Filmlerin AFM Yüzey İncelemeleri

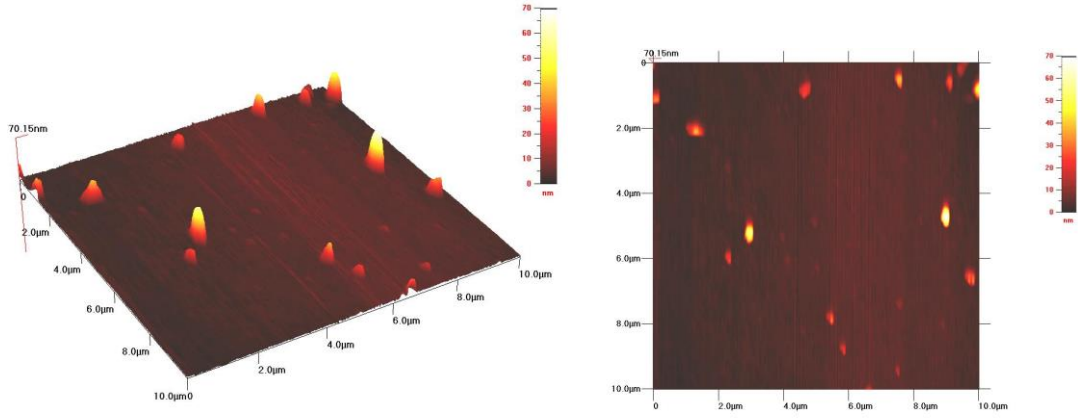
RF Saçırma yöntemi ile üretilen TiN ince filmlerinin yüzey görüntüleri; Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) aleti ile yapıldı. Ölçümlerde kaplanan malzemelerin üç boyutlu (3D), iki boyutlu (2D), histogram ve pürüzlülük görüntüleri elde edilmiştir. Görüntüler incelendiğinde deneysel parametrelere bağlı olarak şekillerde farklılıklar gözlemlenecektir. Sabit basınç ve radyo frekansı değerlerine karşın güç, süre ve gaz oranlarında yapılan değişikliklerle elde farklı sonuçlar elde edilmeye çalışıldı. Aynı zamanda aynı güç ve sürede üç farklı numuneye ait atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntülerinden elde edilen sonuçları kıyaslama imkanımız da oldu. Elde edilen tüm görüntülerin aşağıdaki gibi şekiller halinde dizilimi yapıldı. Şekillerin diziliminden de anlaşılacağı üzere her bir numuneye ait 2D, 3D, histogram ve pürüzlülük atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntüleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu dizilim sayesinde numuneye ait sonuçların bir kısmını tek sayfa da inceleme imkânımız oldu.



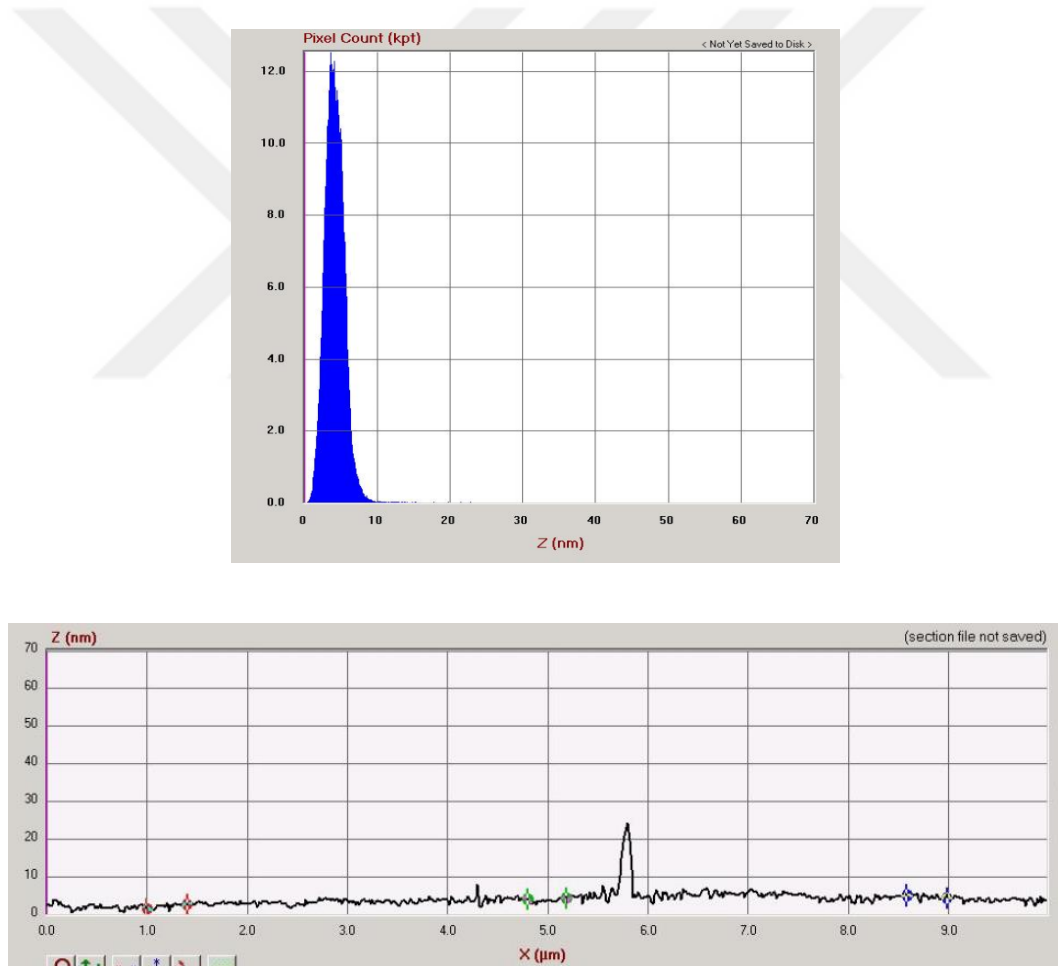
Şekil 4.10 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



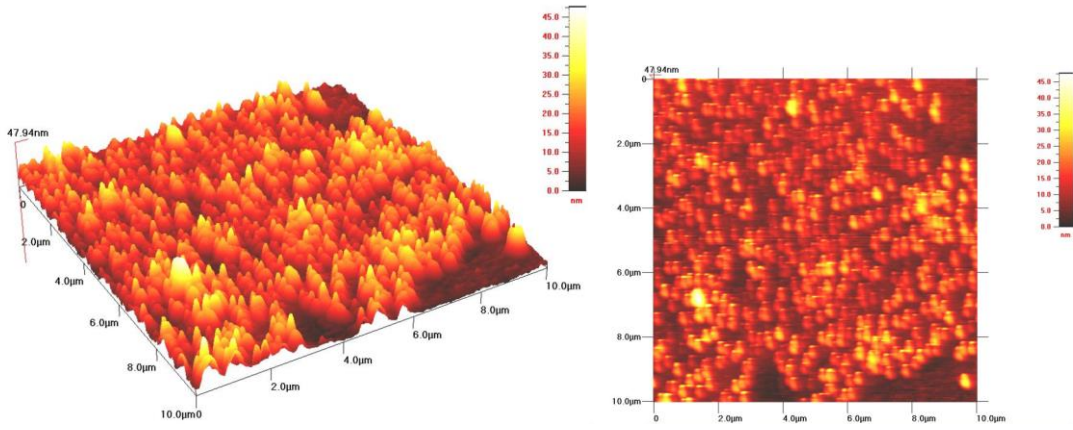
Şekil 4.11 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



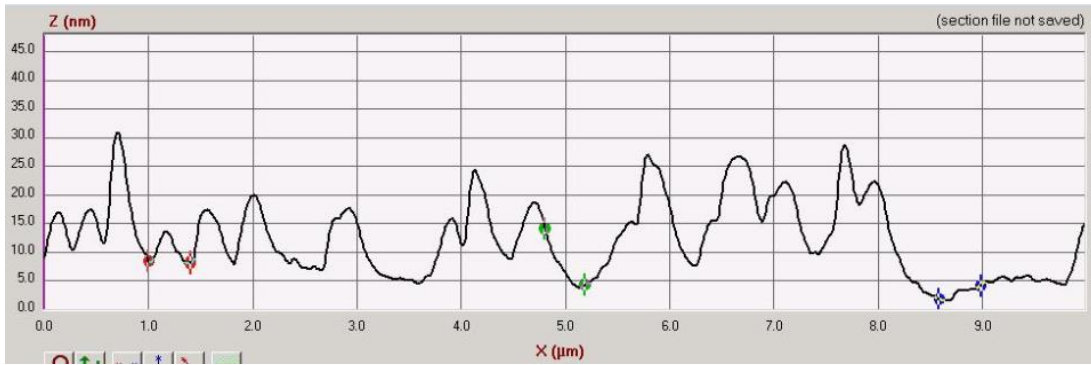
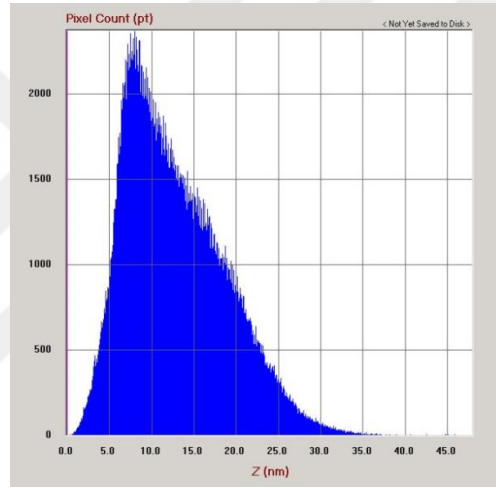
Şekil 4.12 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.2. ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



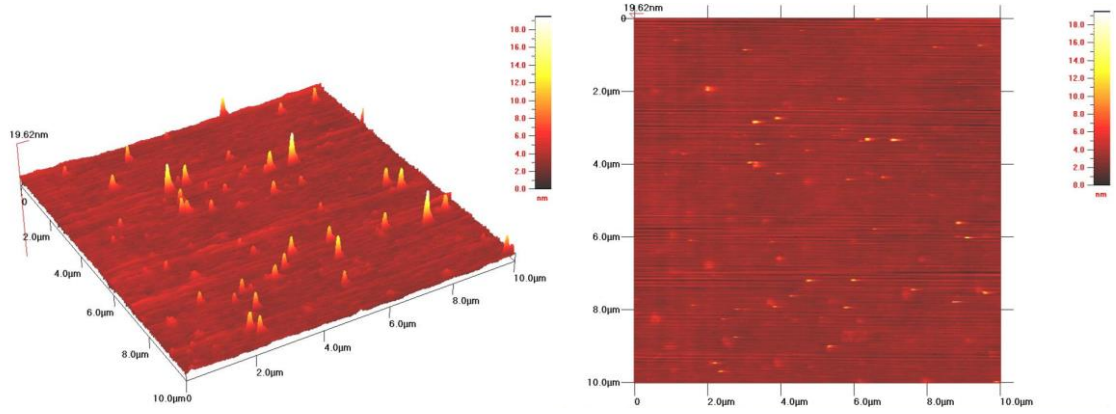
Şekil 4.13 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



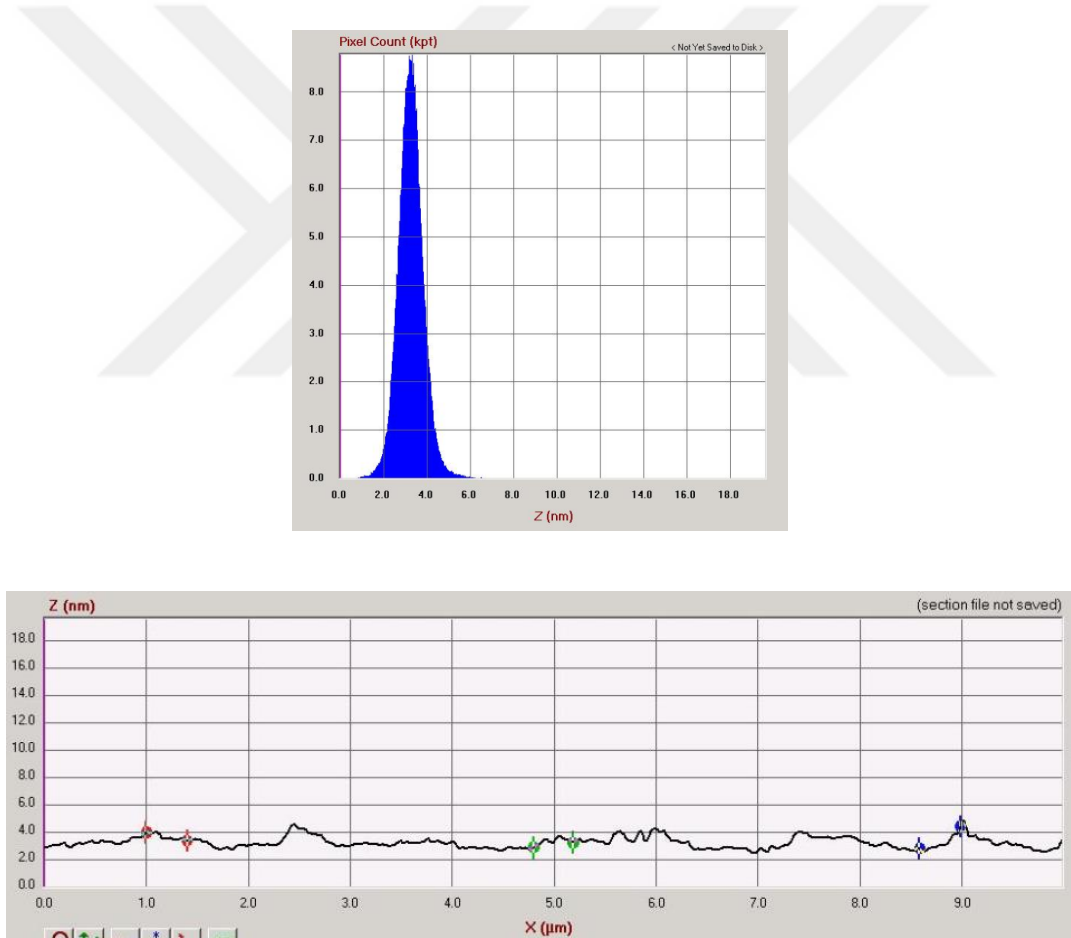
Şekil 4.14 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



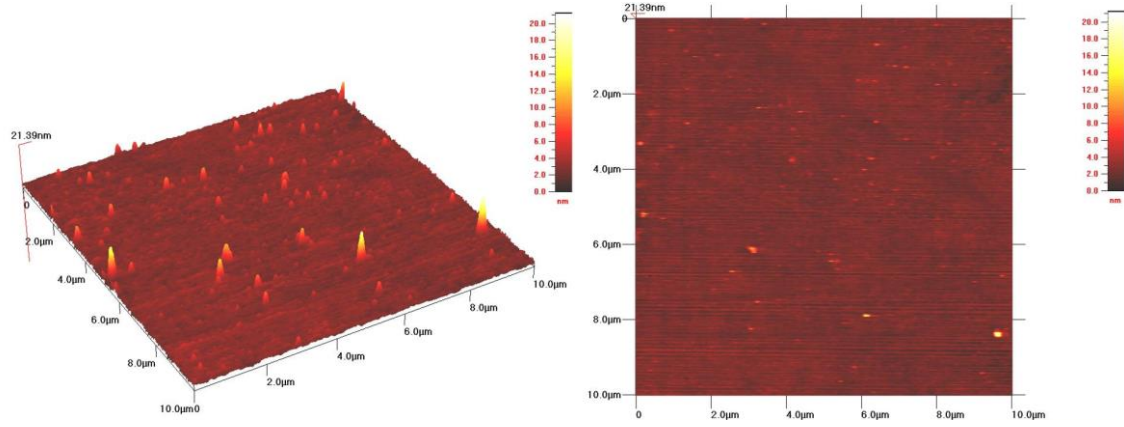
Şekil 4.15 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 1.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



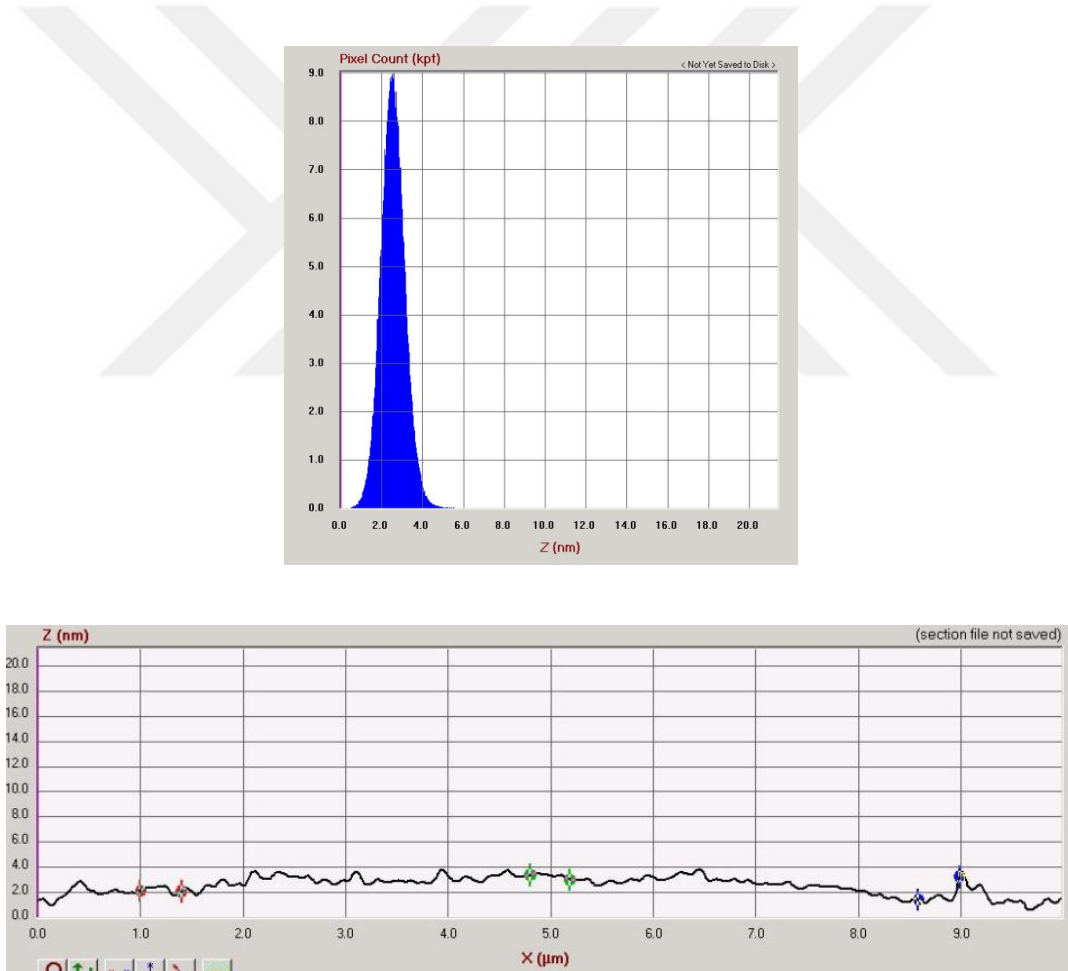
Şekil 4.16 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



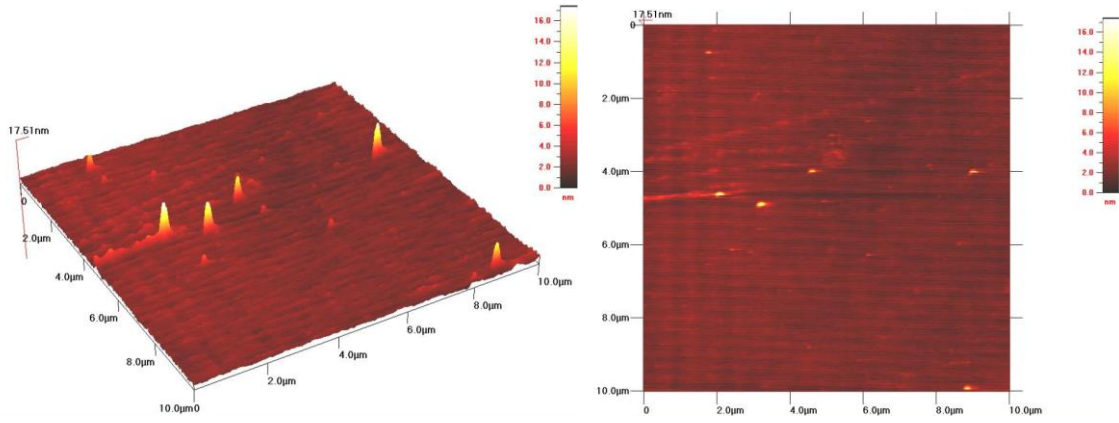
Şekil 4.17 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



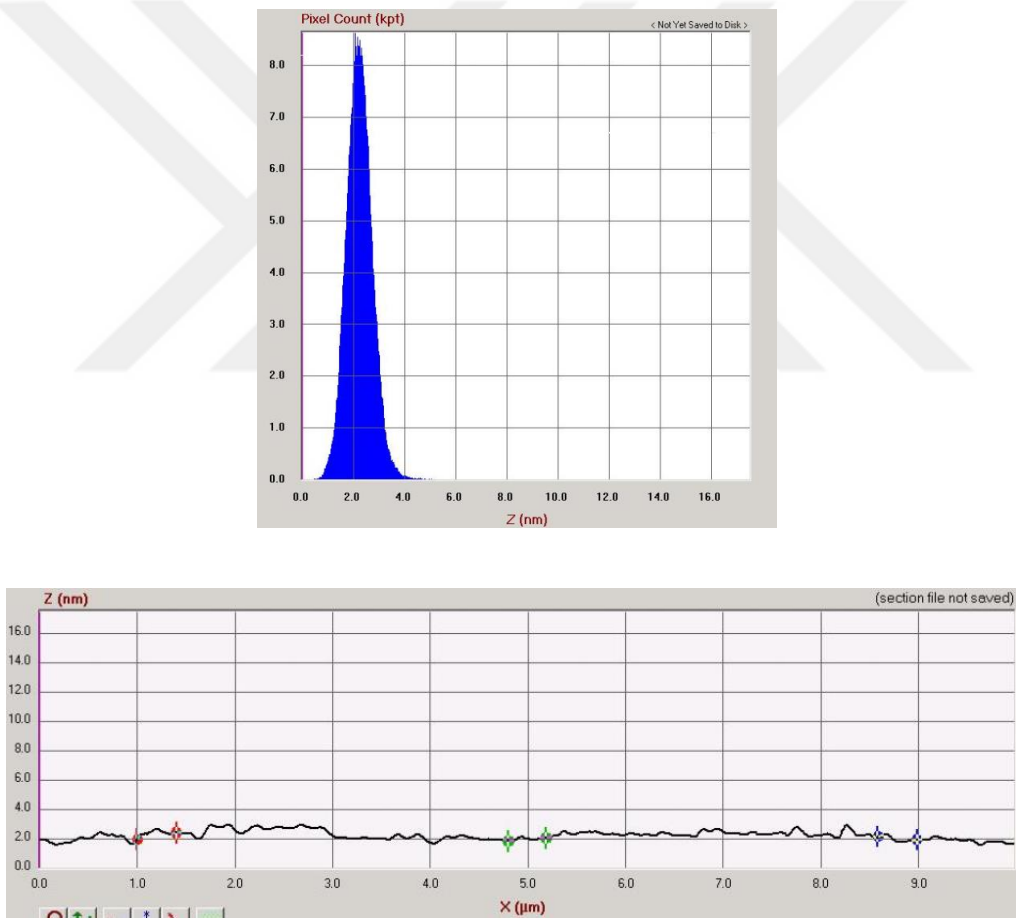
Şekil 4.18 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



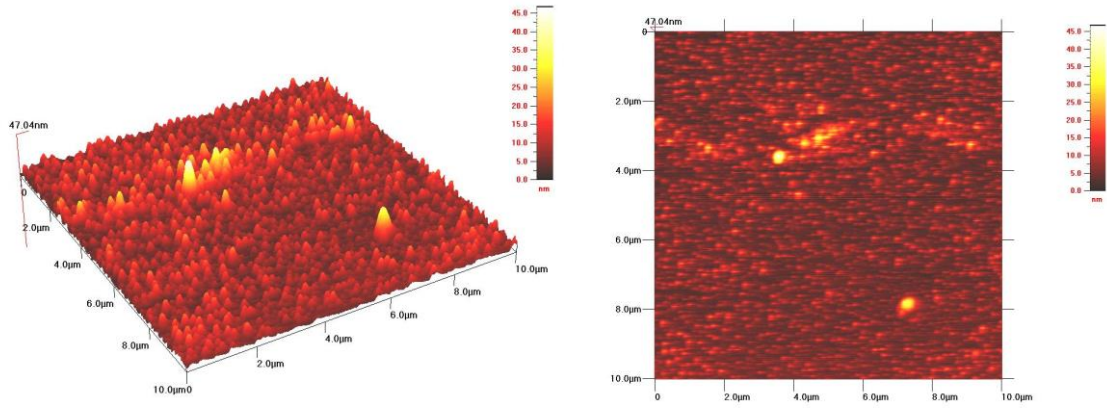
Şekil 4.19 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



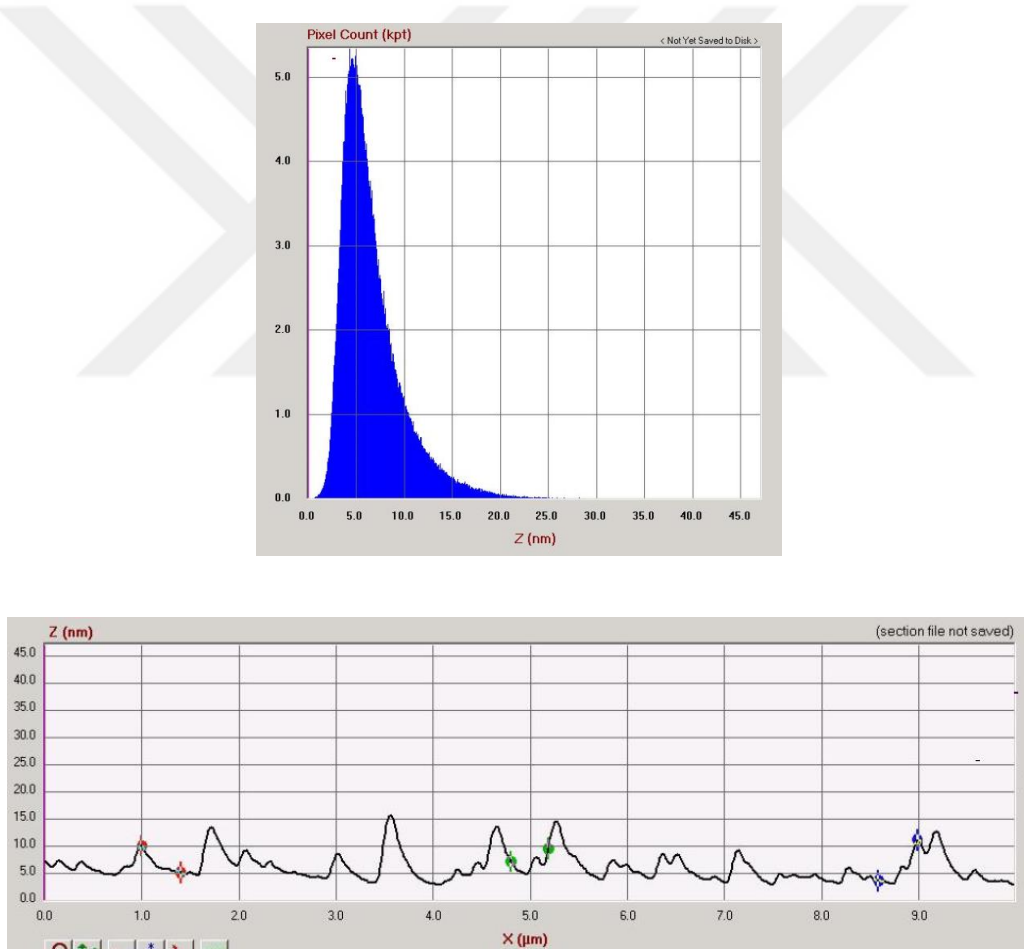
Şekil 4.20 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 2.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



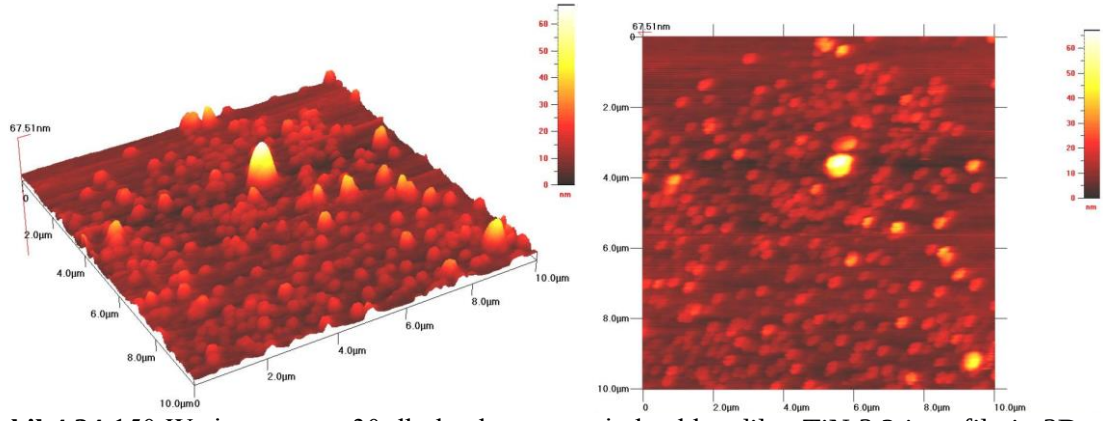
Şekil 4.21 100 W sistem gücü 1 saat Kaplama süresinde elde edilen TiN 2.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



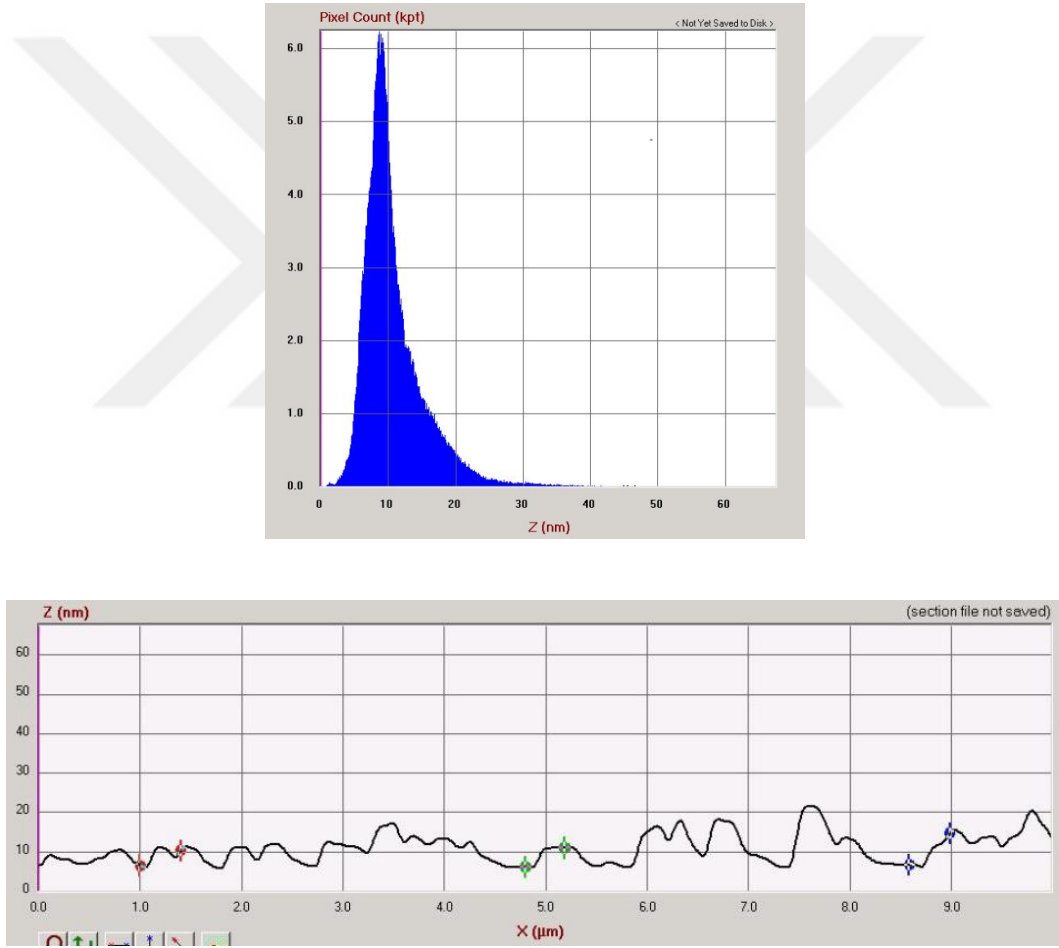
Şekil 4.22 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



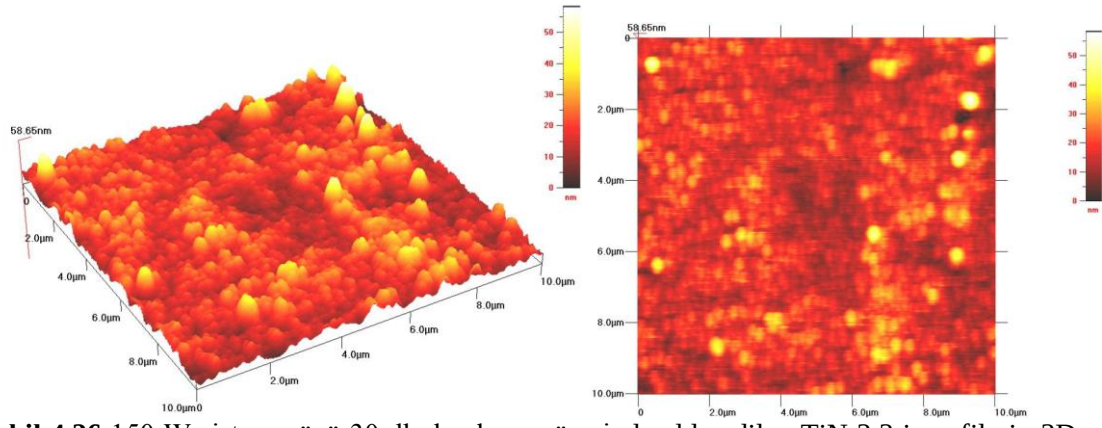
Şekil 4.23 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



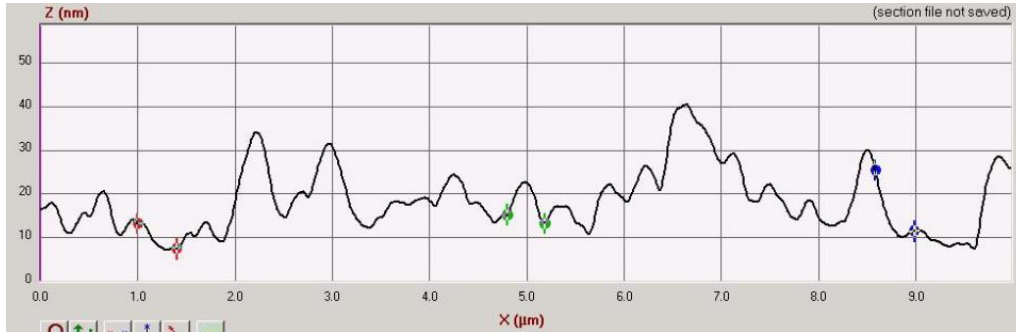
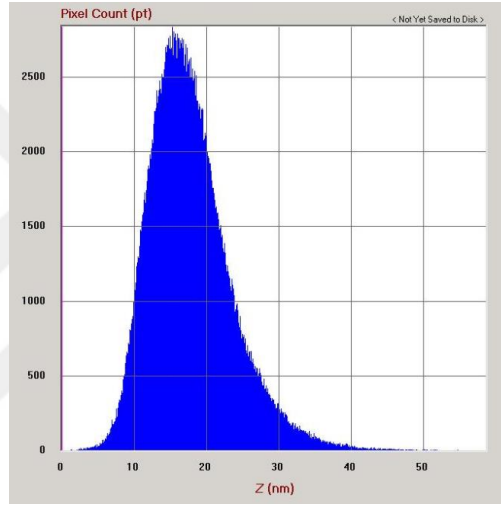
Şekil 4.24 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



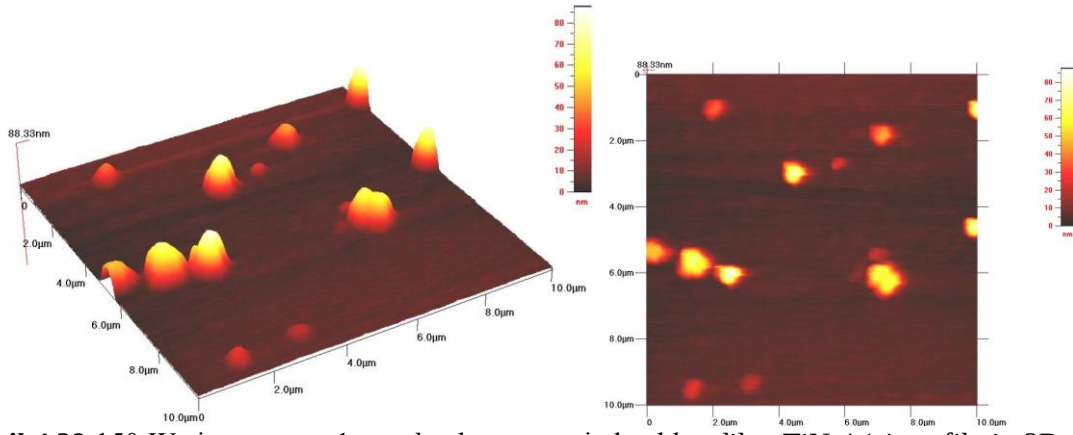
Şekil 4.25 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



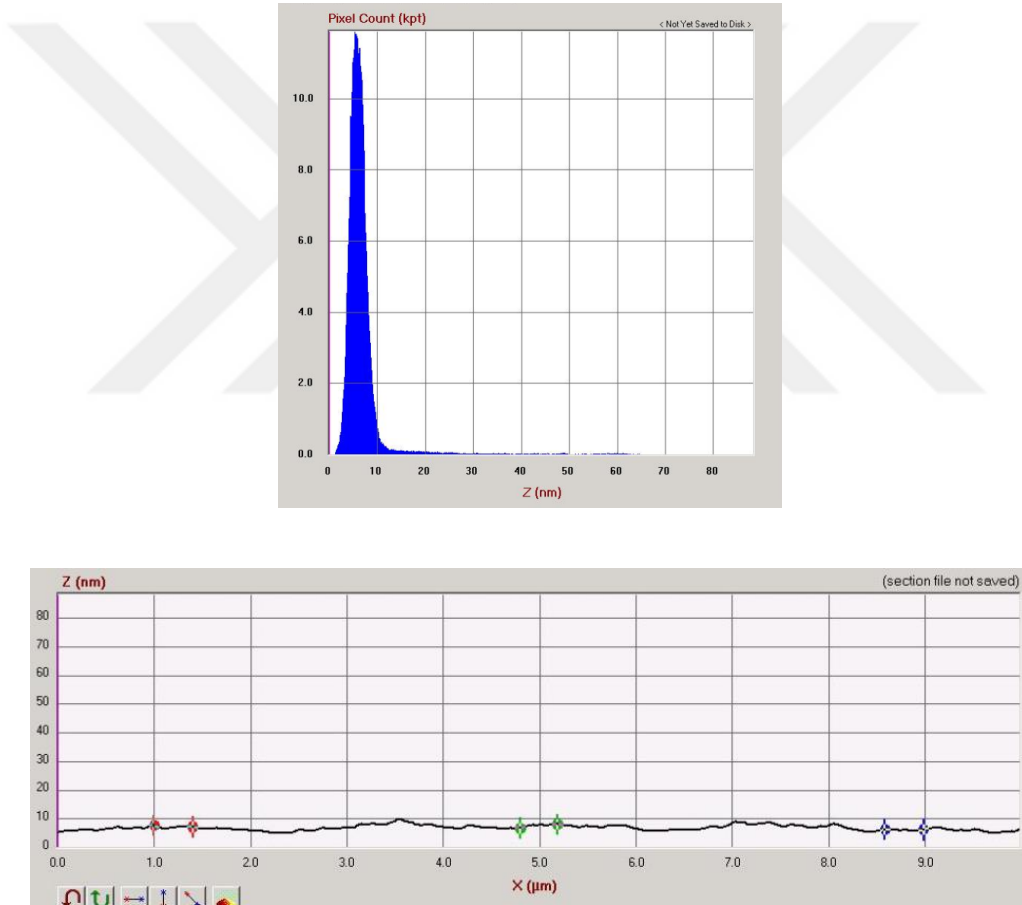
Şekil 4.26 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



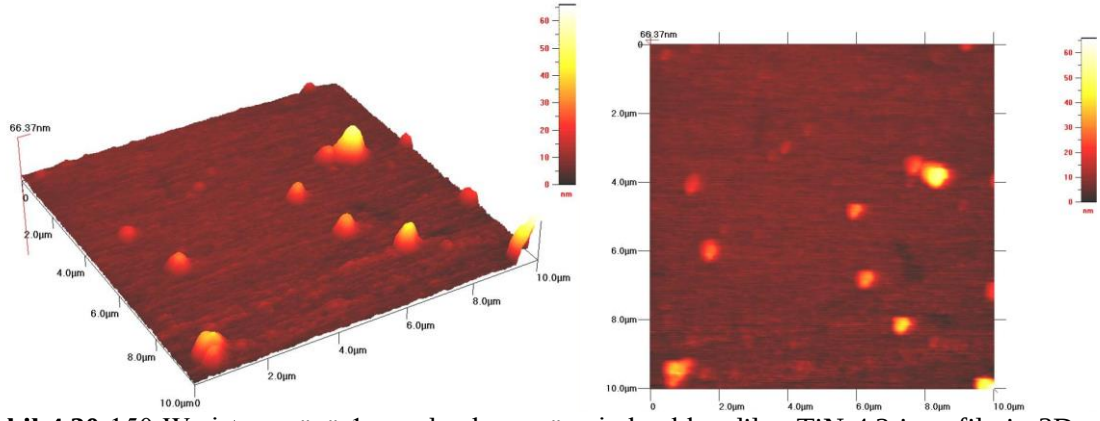
Şekil 4.27 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 3.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



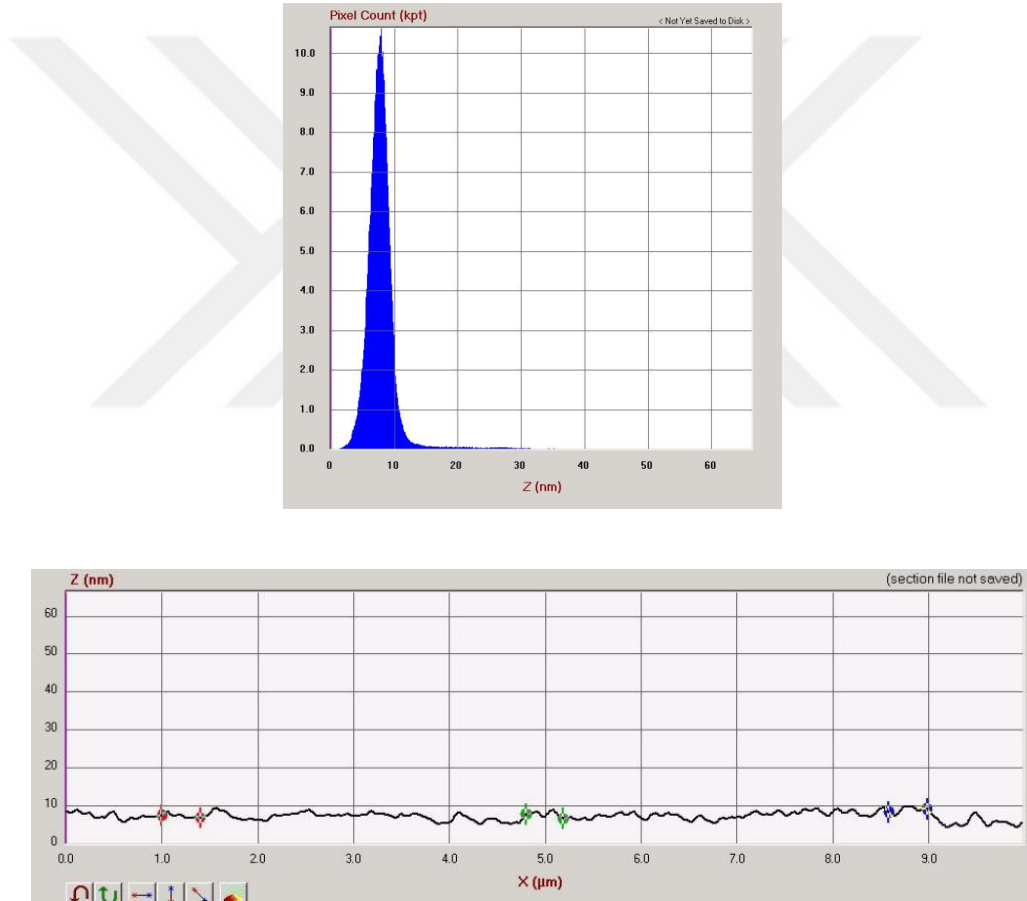
Şekil 4.28 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



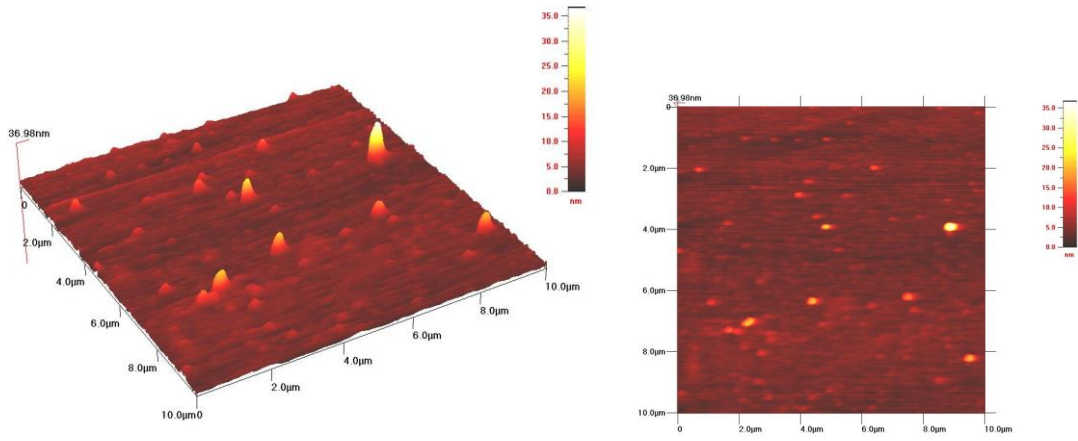
Şekil 4.29 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



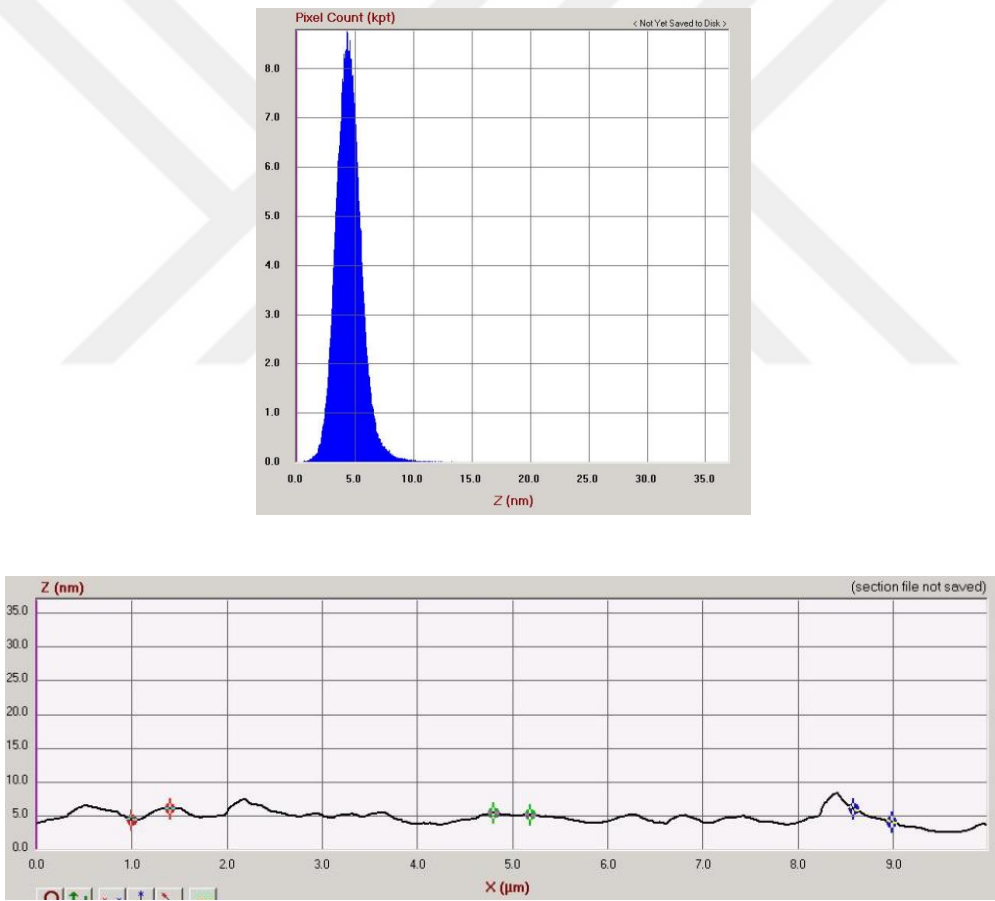
Şekil 4.30 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



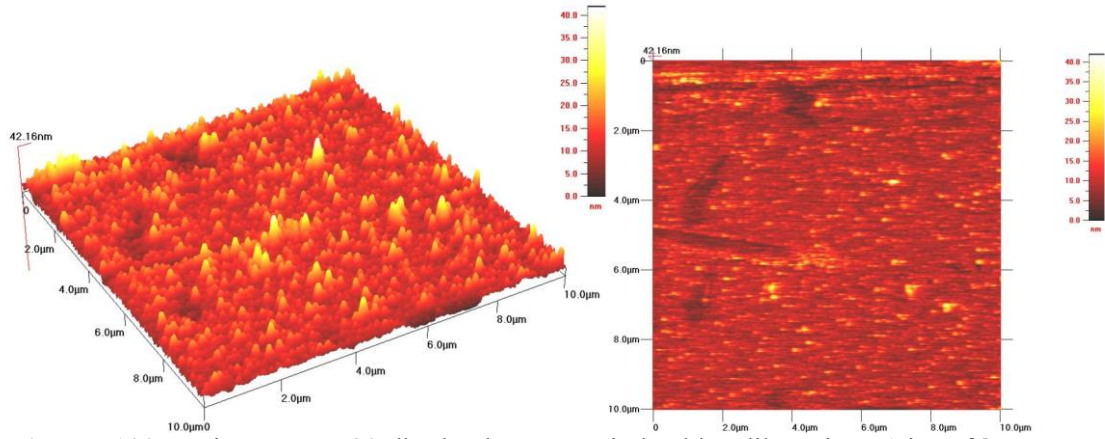
Şekil 4.31 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



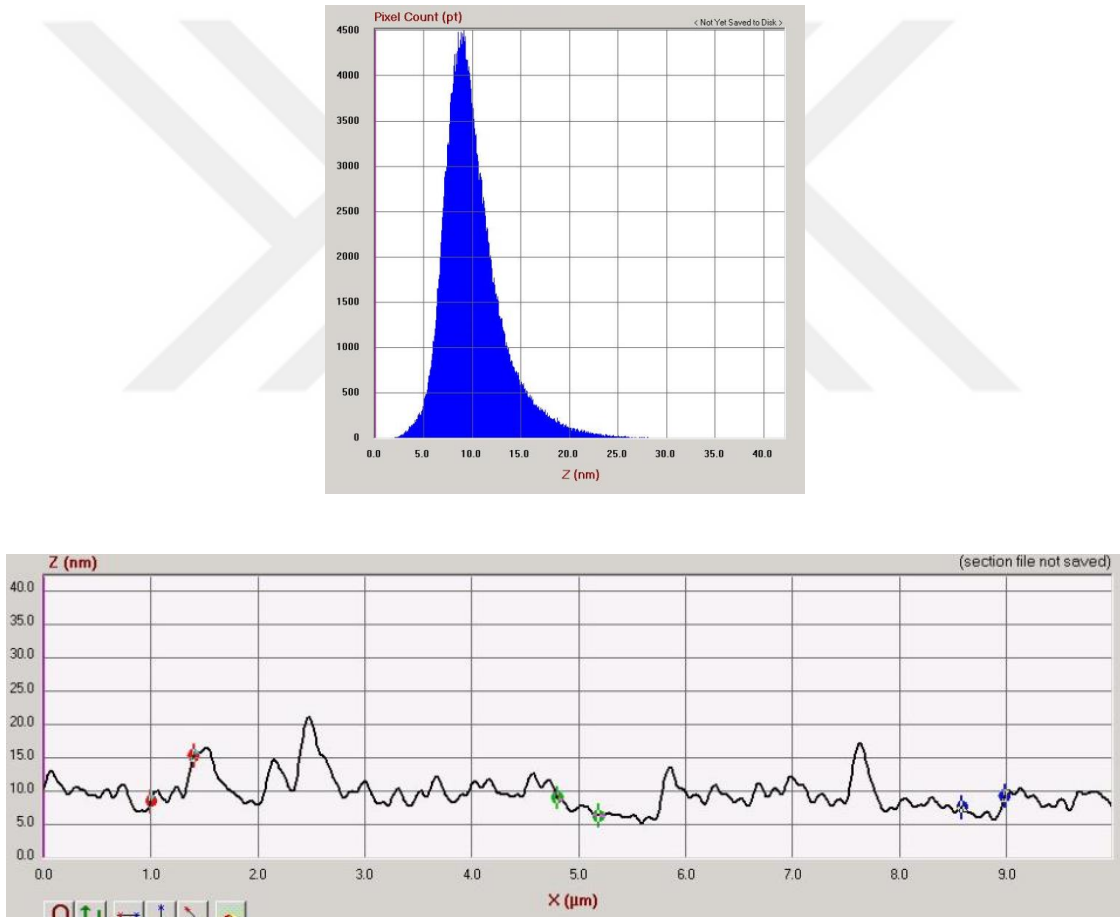
Şekil 4.32 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



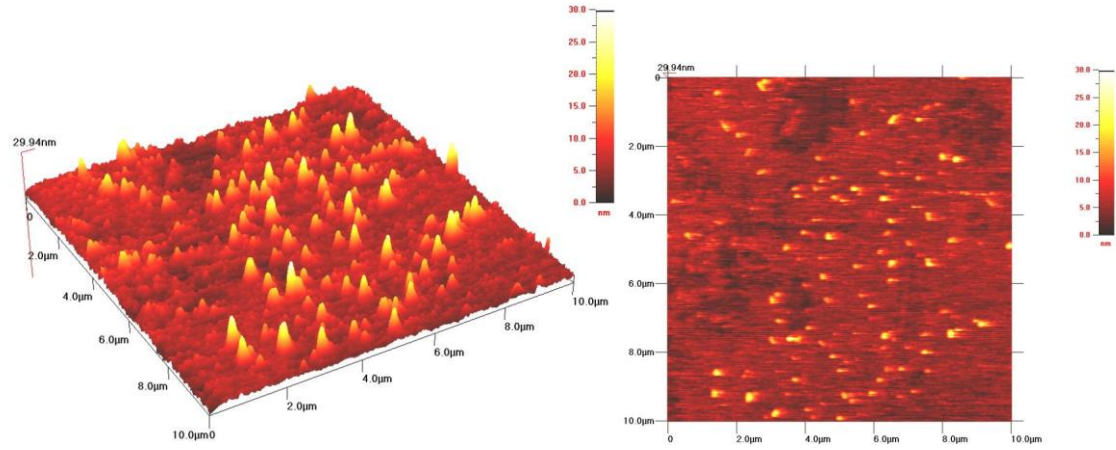
Şekil 4.33 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 4.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



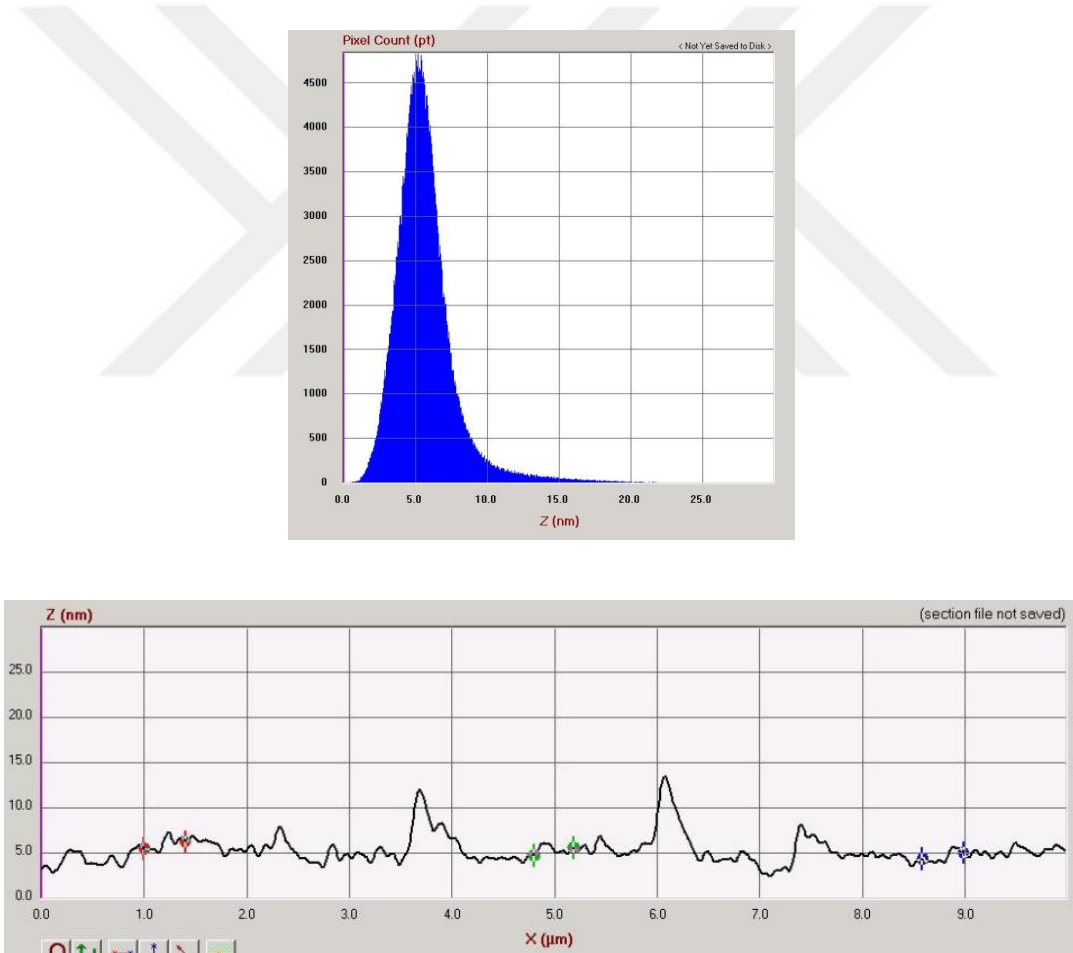
Şekil 4.34 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



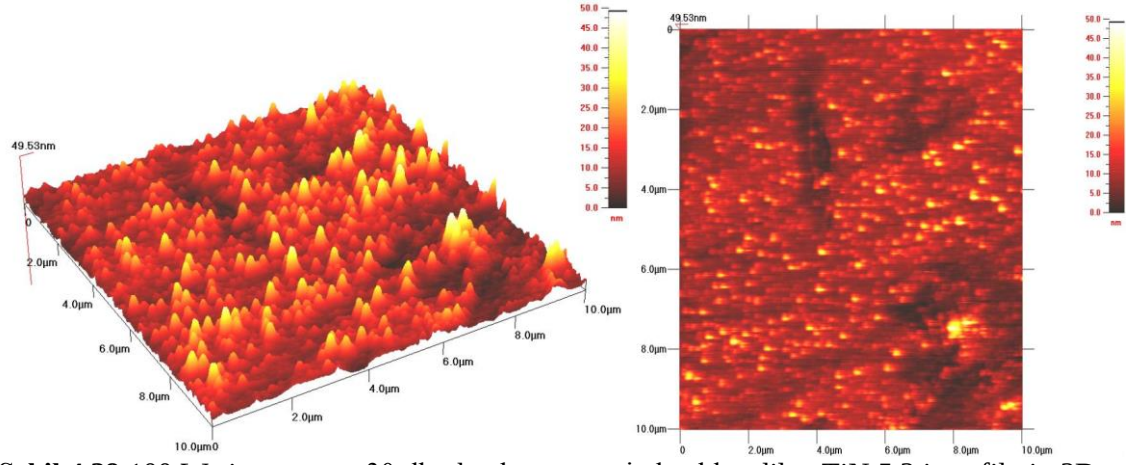
Şekil 4.35 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



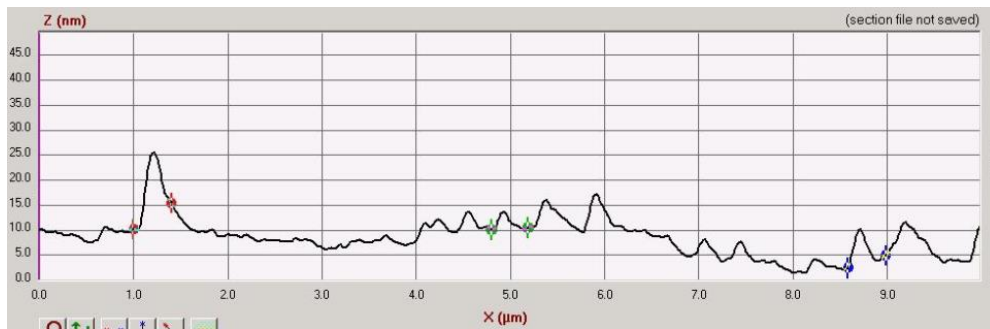
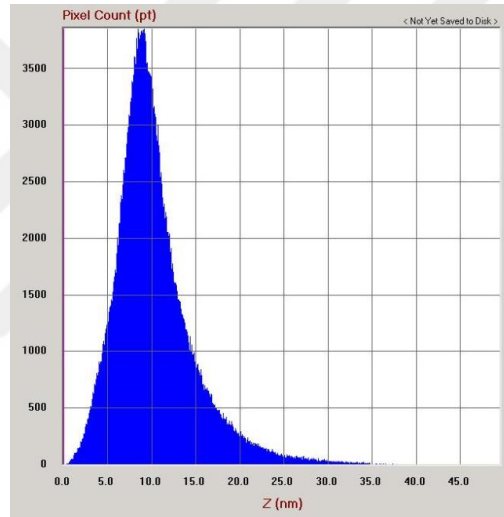
Şekil 4.36 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



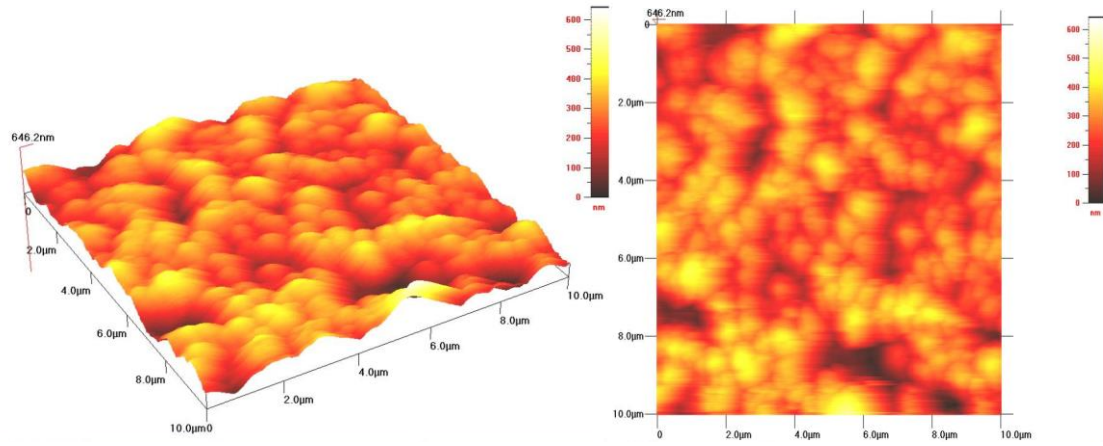
Şekil 4.37 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



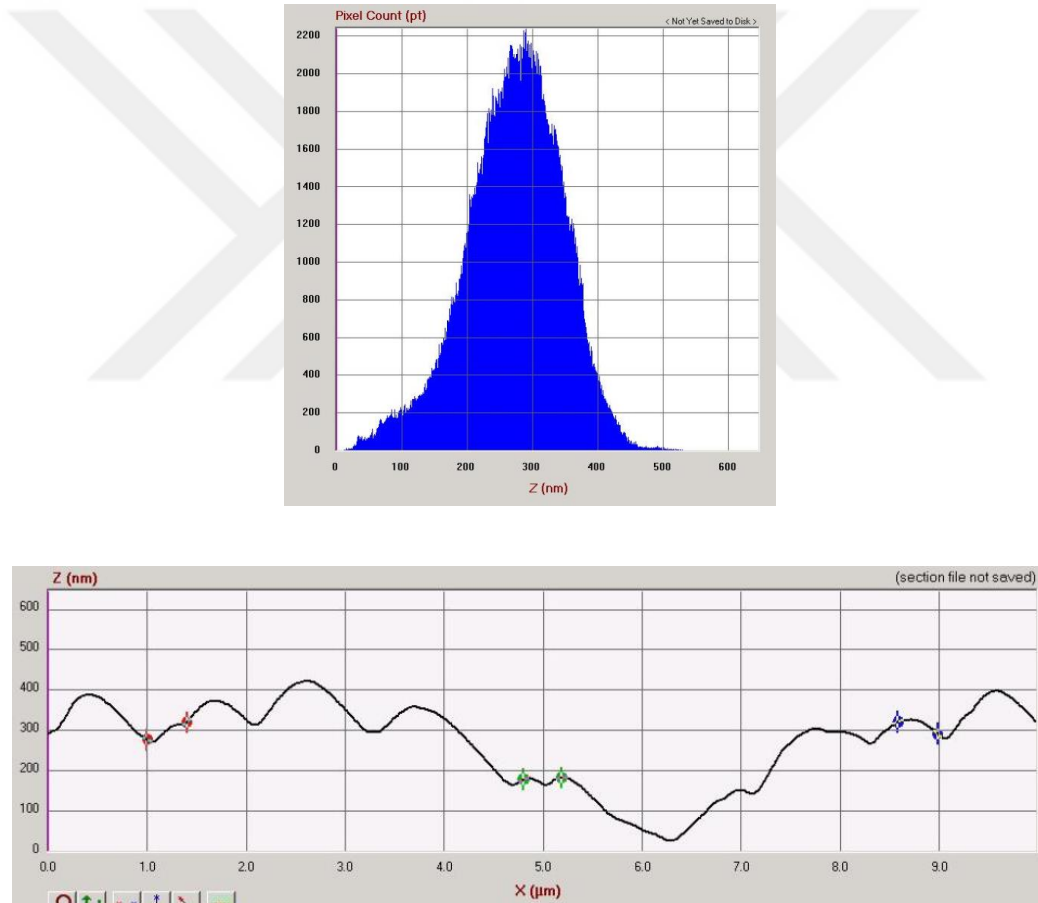
Şekil 4.38 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



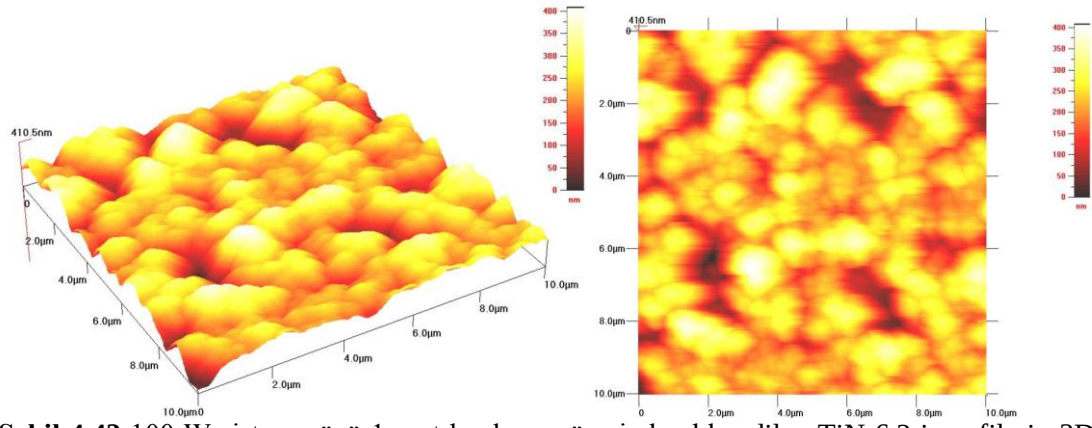
Şekil 4.39 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 5.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



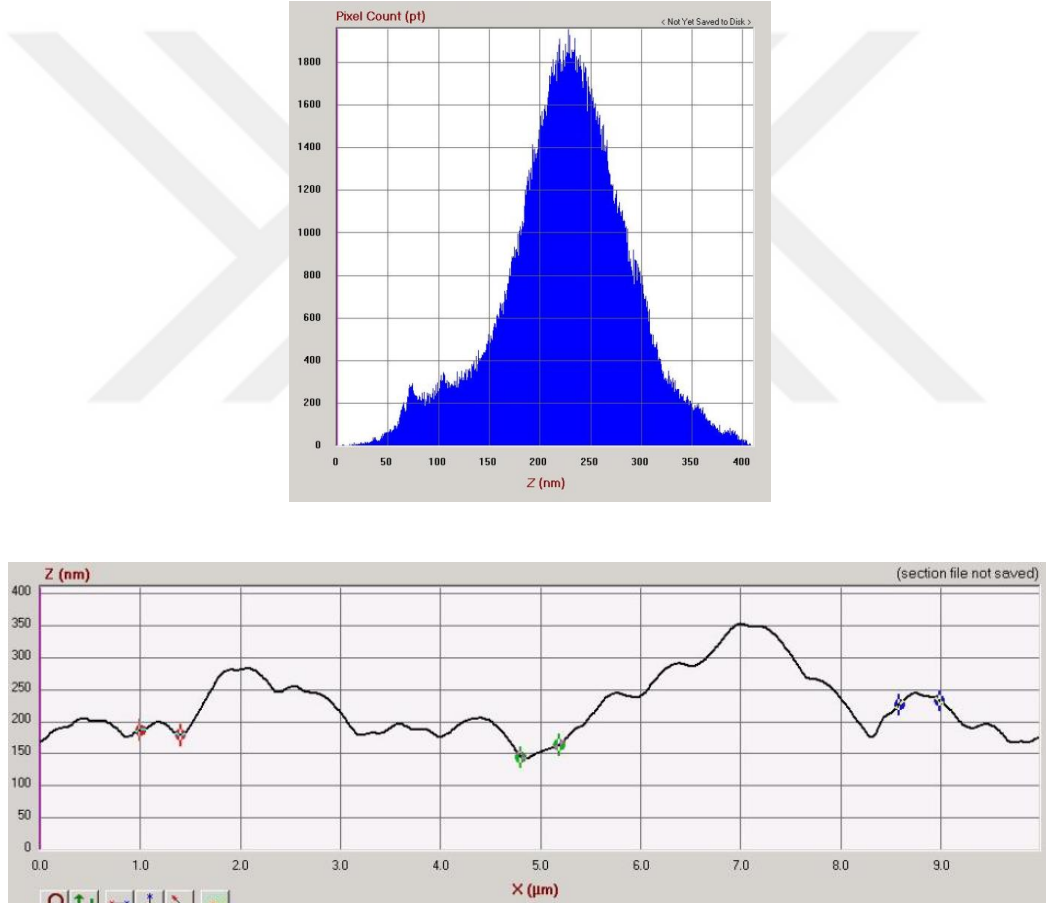
Şekil 4.40 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



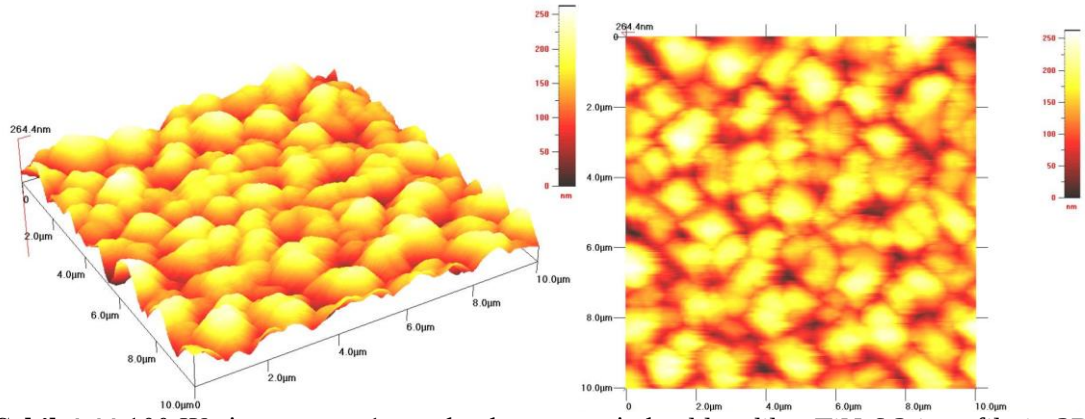
Şekil 4.41 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



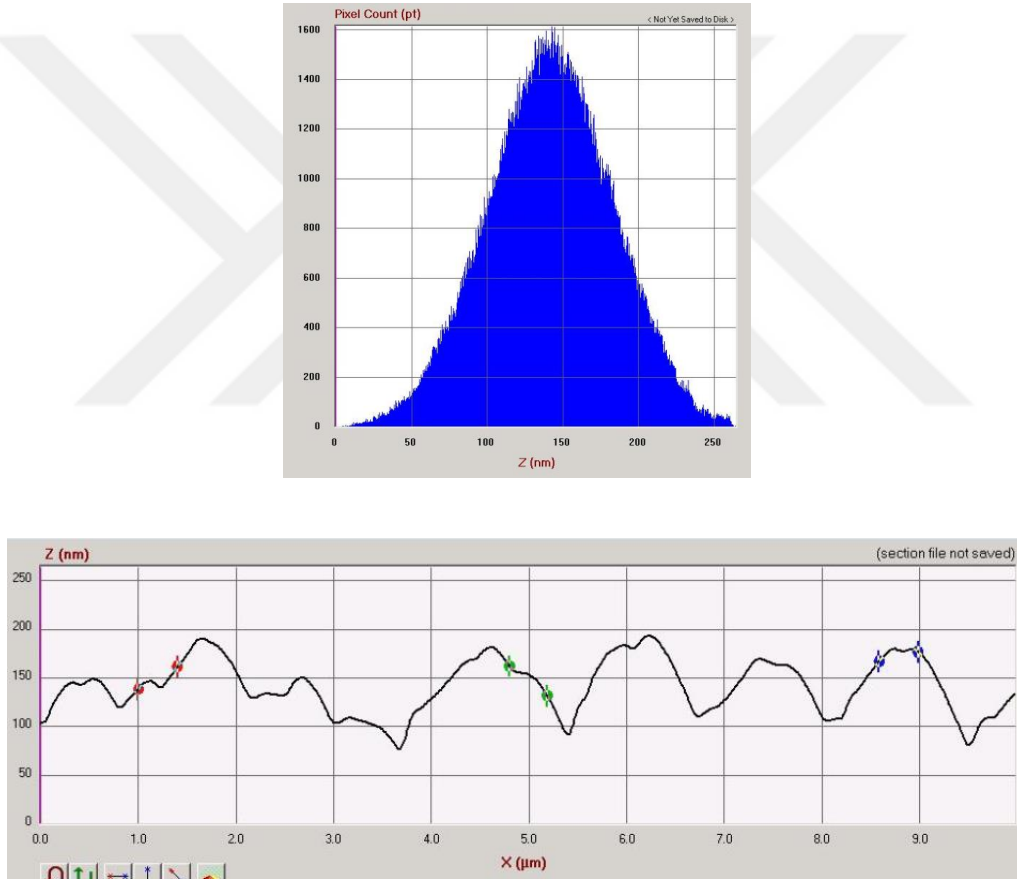
Şekil 4.42 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



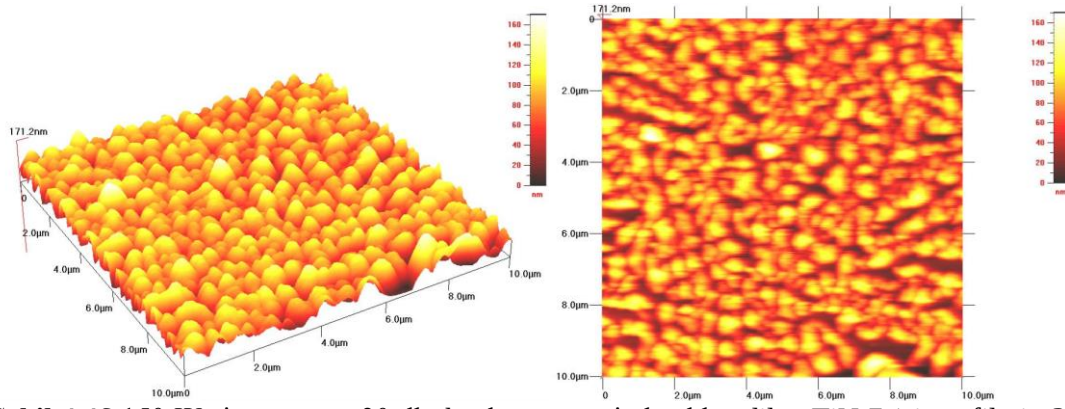
Şekil 4.43 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



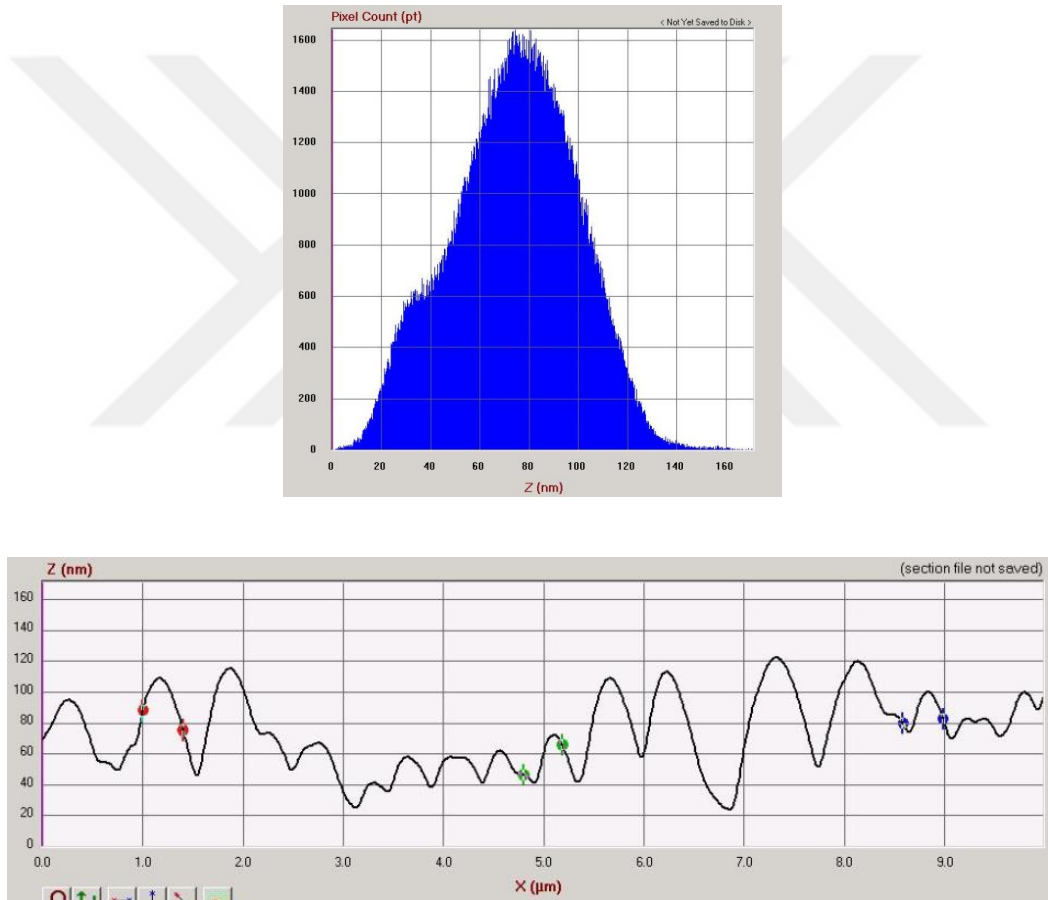
Şekil 4.44 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



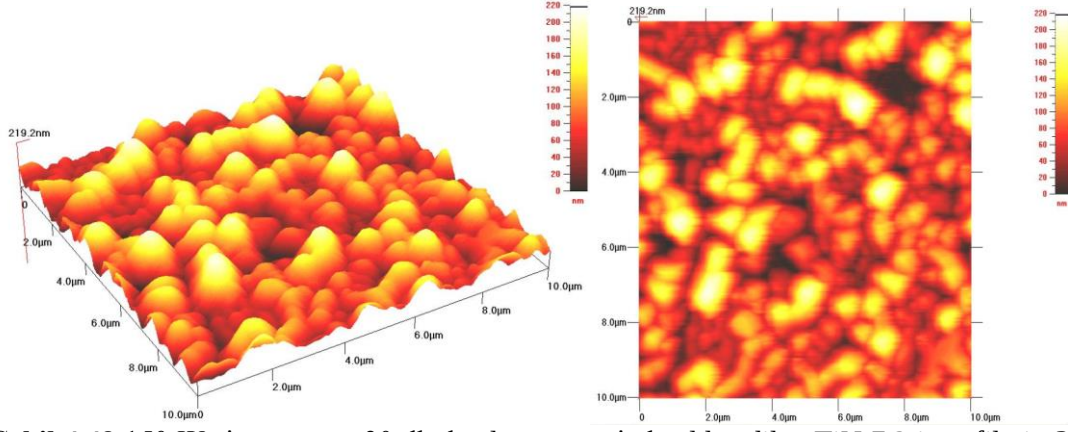
Şekil 4.45 100 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 6.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



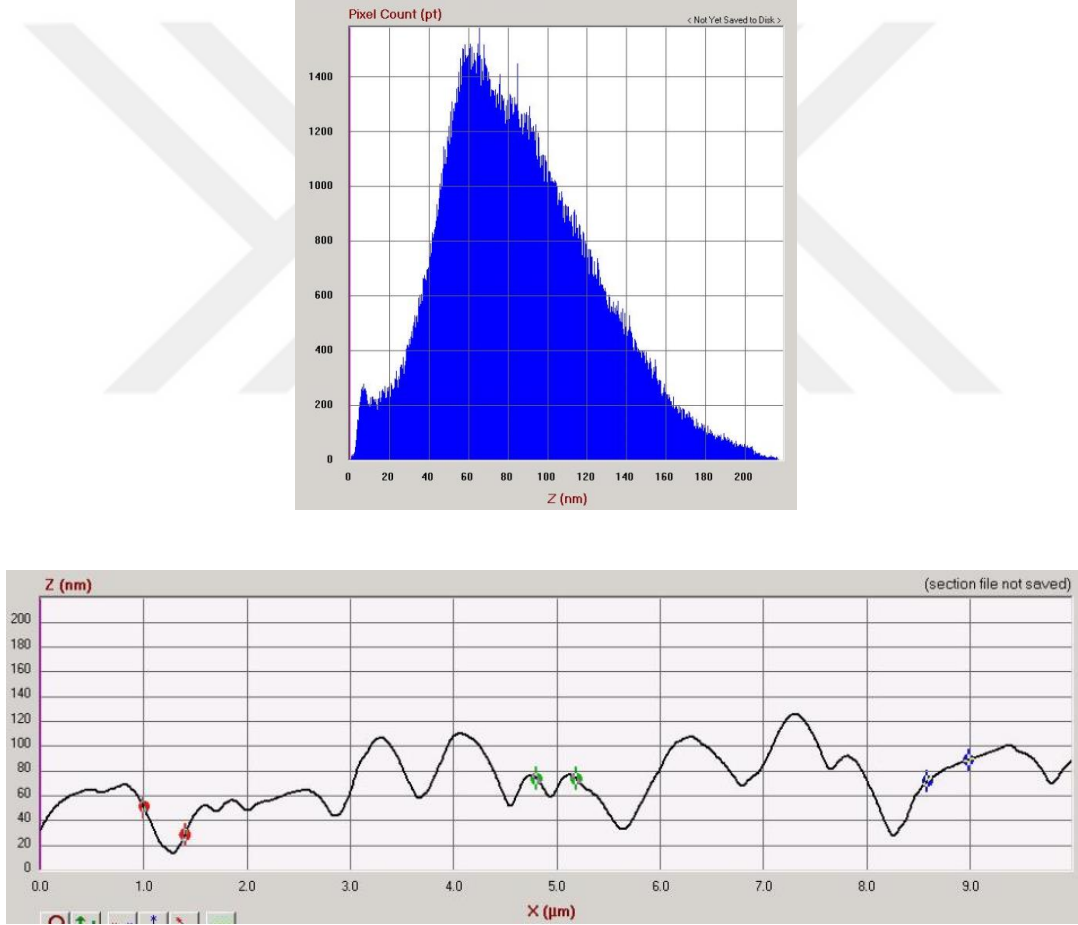
Şekil 4.46 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



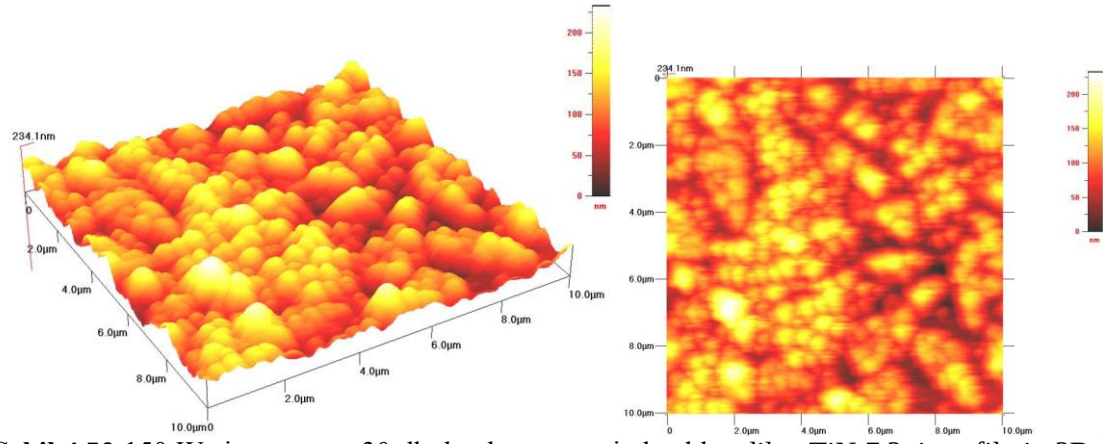
Şekil 4.47 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



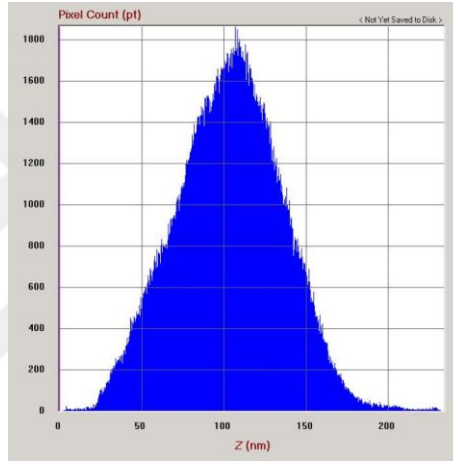
Şekil 4.48 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



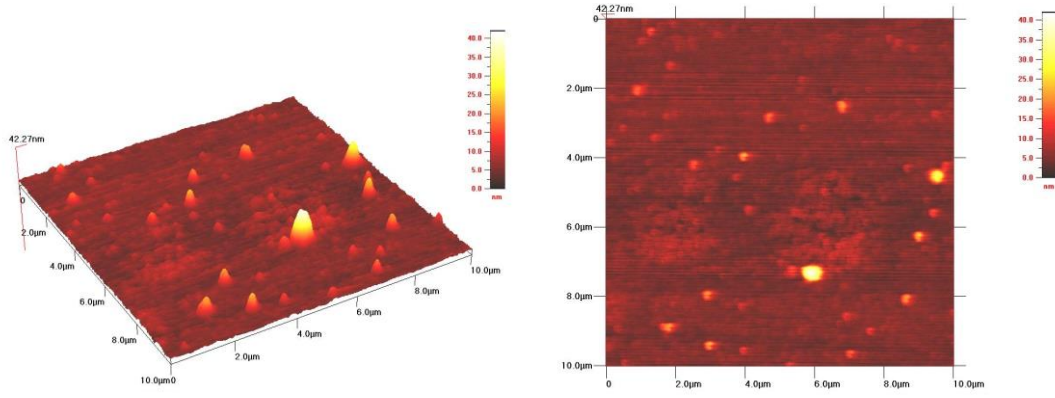
Şekil 4.49 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



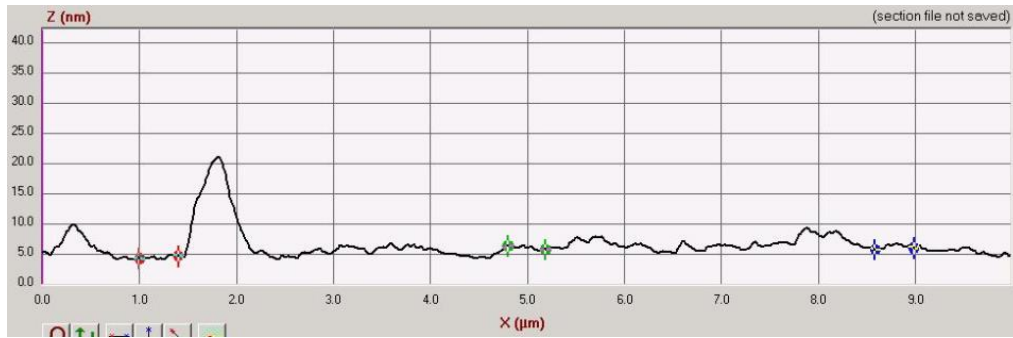
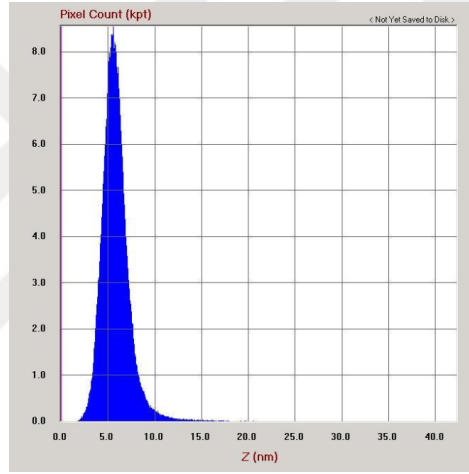
Şekil 4.50 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.3. ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



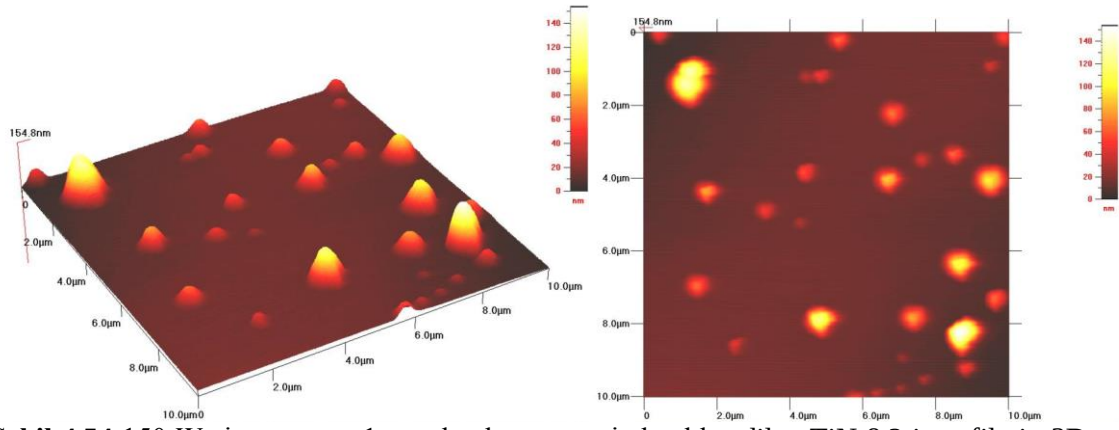
Şekil 4.51 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde elde edilen TiN 7.3. ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



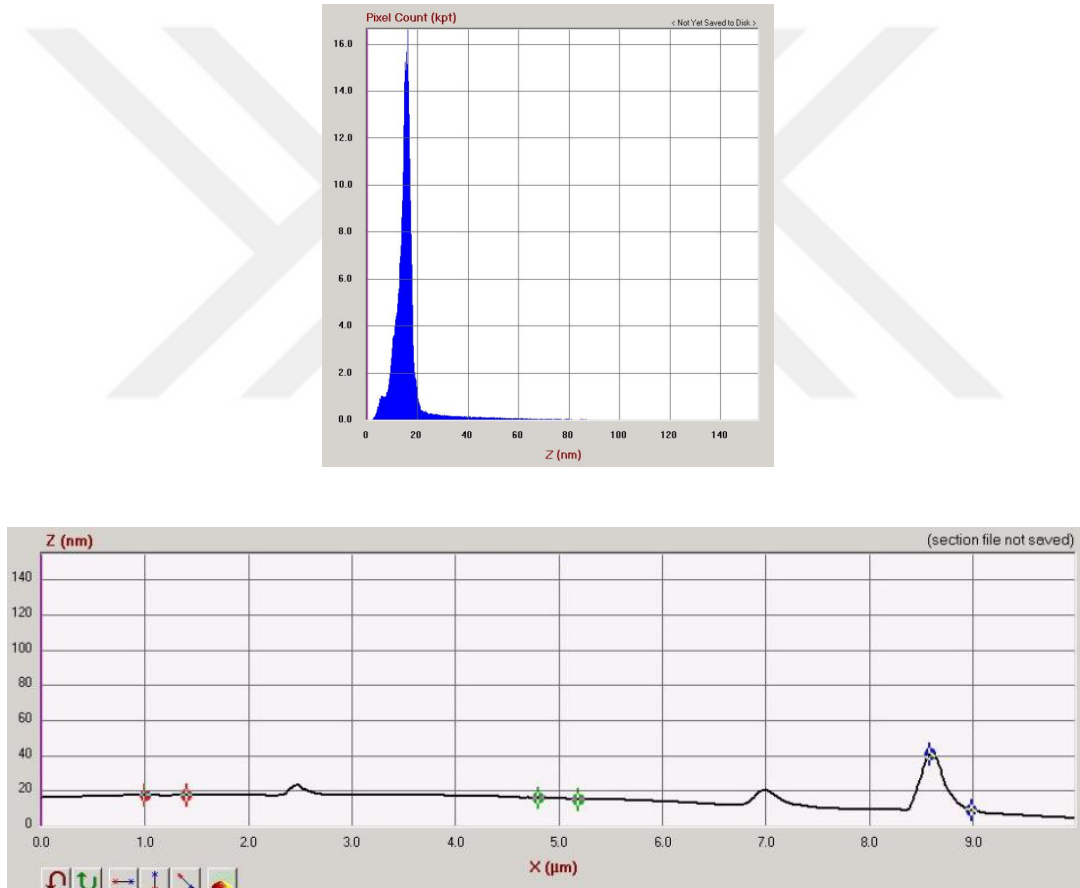
Şekil 4.52 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.1 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



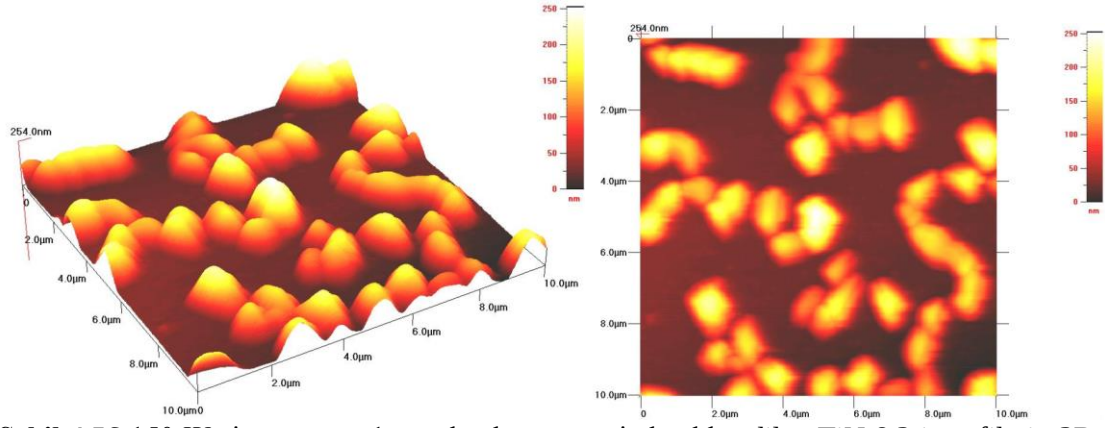
Şekil 4.53 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.1 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



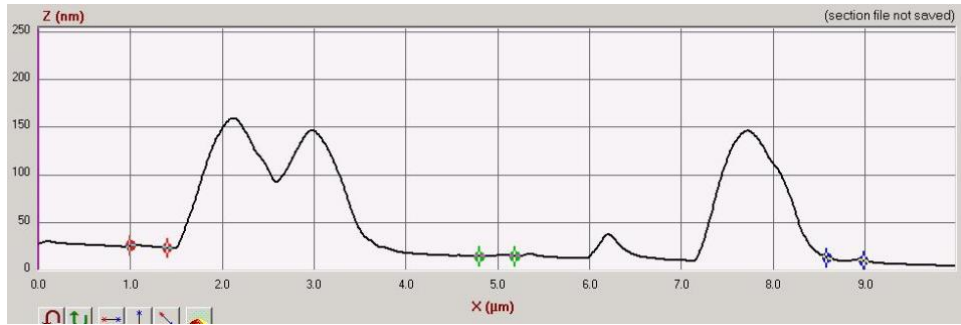
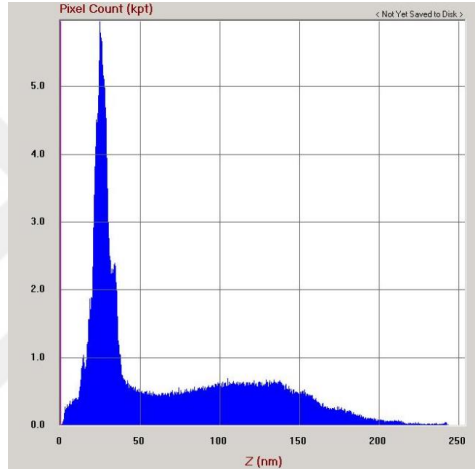
Şekil 4.54 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.2 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.



Şekil 4.55 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.2 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.



Şekil 4.56 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.3 ince filmin 3D ve 2D AFM görüntüleri.

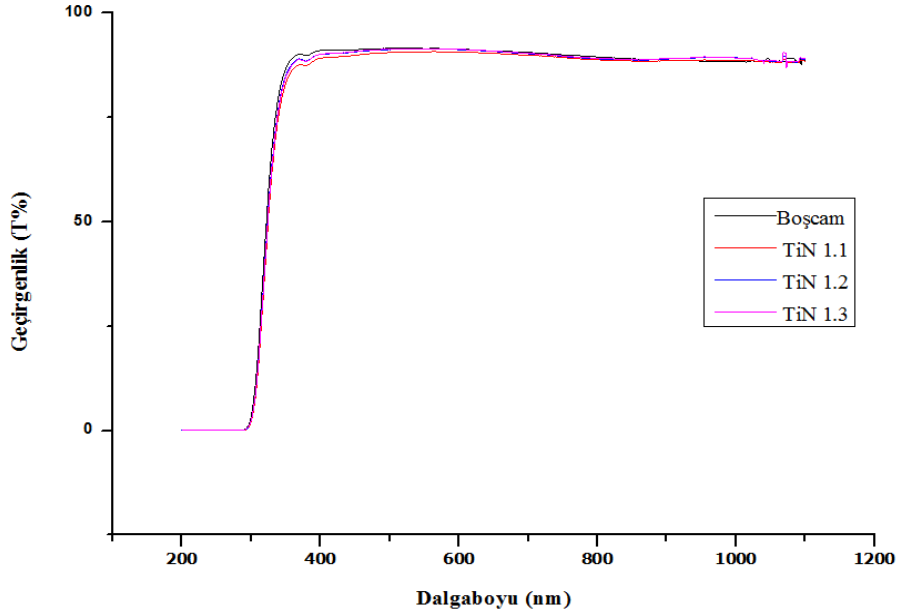


Şekil 4.57 150 W sistem gücü 1 saat kaplama süresinde elde edilen TiN 8.3 ince filmin histogram ve pürüzlülük AFM görüntüleri.

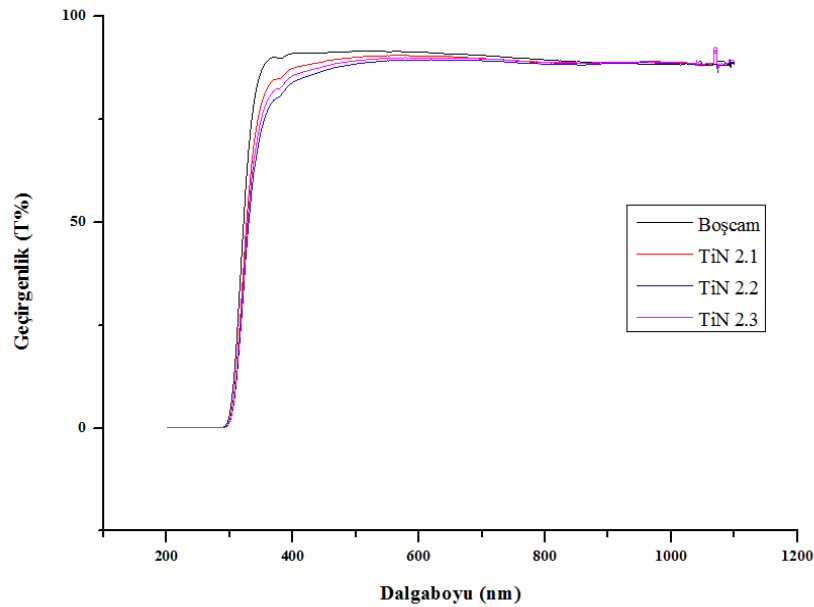
4.3.3 UV-Vis (Ultraviyole ve görünür ışık) Geçirgenlik Ölçümleri

Geçirgenlik eğrilerinde kullanılan deneysel parametreler çizelge 4.1 deki gibidir. İki farklı gaz konsantrasyonu kullanıldı. Bunlar 50% Ar - 50% N ve 70% Ar - 30% N oranlarındadır. Frekans olarak izin verilen radyo frekansı 13,56 MHz. kullanıldı.

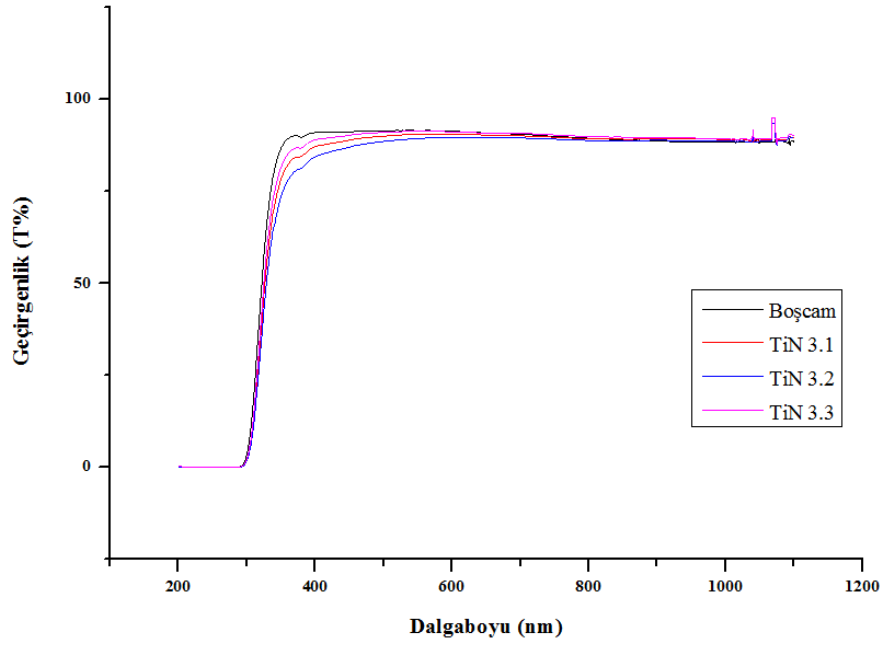
Çalışma basıncı olarak $7,0 \times 10^{-2}$ Torr kullanıldı. Çizelge 4.1 de serilere karşılık gelen değerlerde ölçümler belirtilen sürelerde yapıldı. Bu parametreler doğrultusunda yapılan deney sonucunda elde edilen numuneler de yapılan ölçümlerde elde edilen geçirgenlik eğrileri aşağıdaki gibidir.



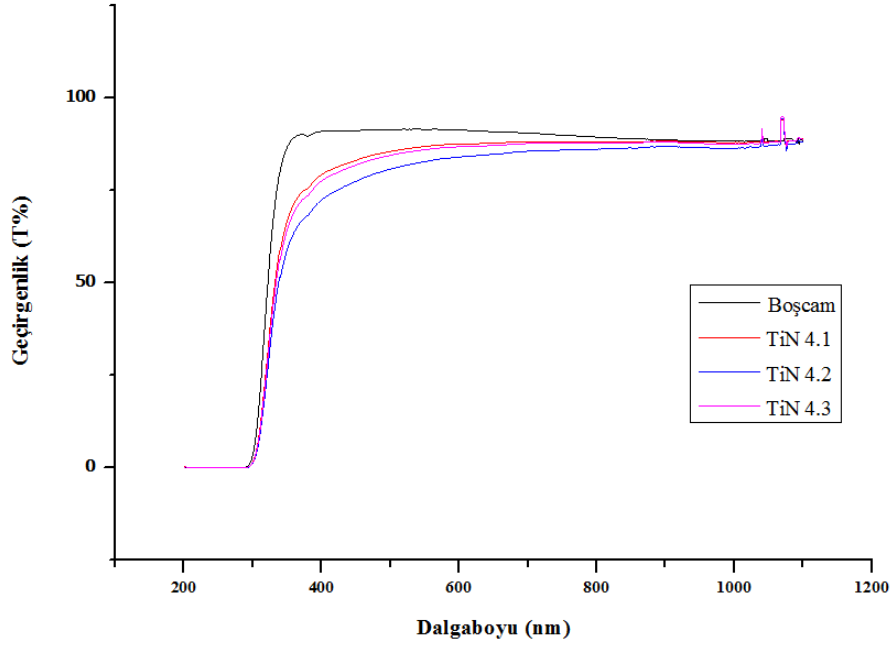
Şekil 4.58 100 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde %50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 1.1, TiN 1.2 ve TiN 1.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.



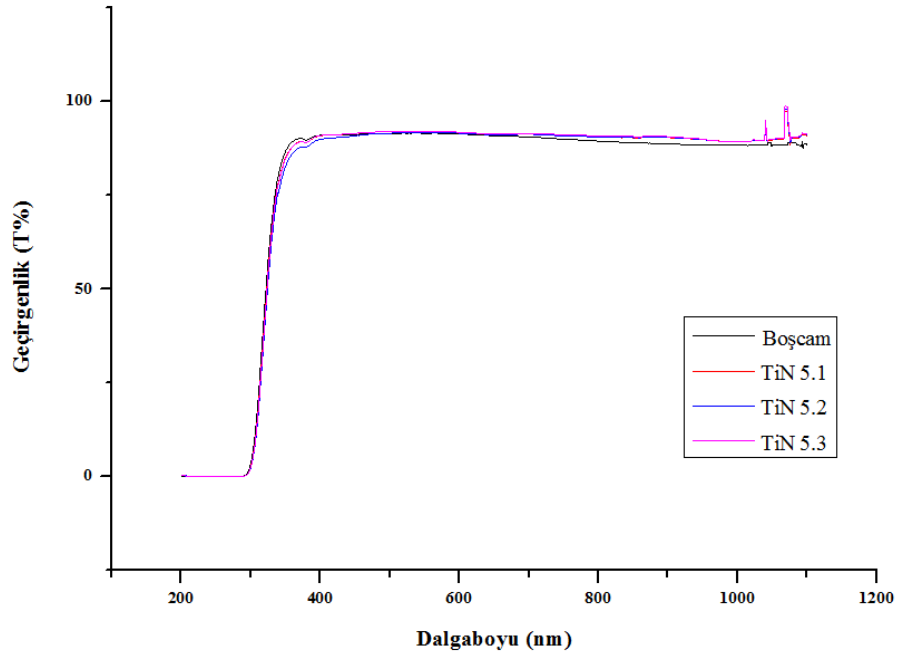
Şekil 4.59 100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde ,%50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 2.1, TiN 2.2 ve TiN 2.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.



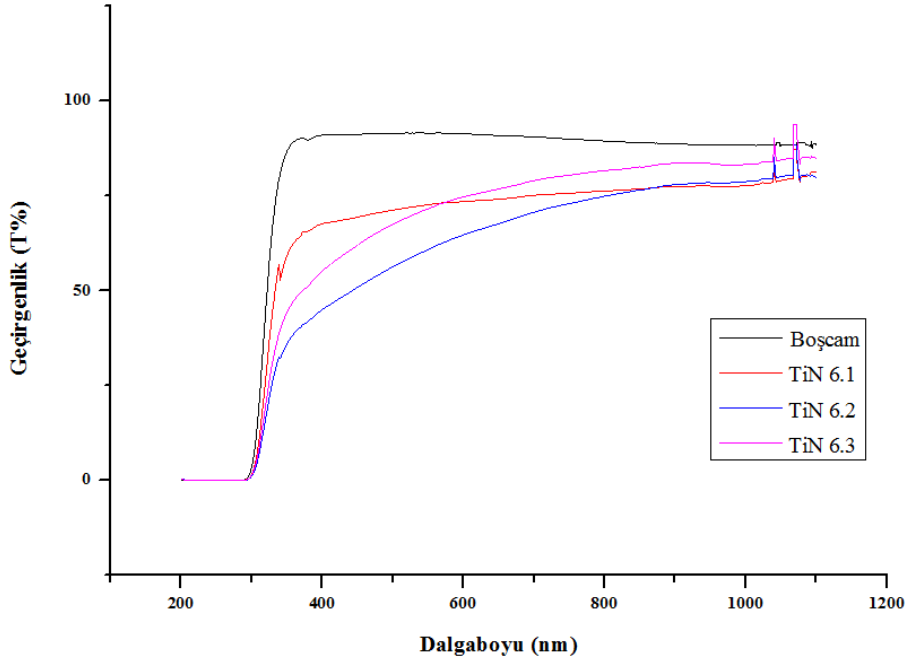
Şekil 4.60 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde %50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 3.1, TiN 3.2 ve TiN 3.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.



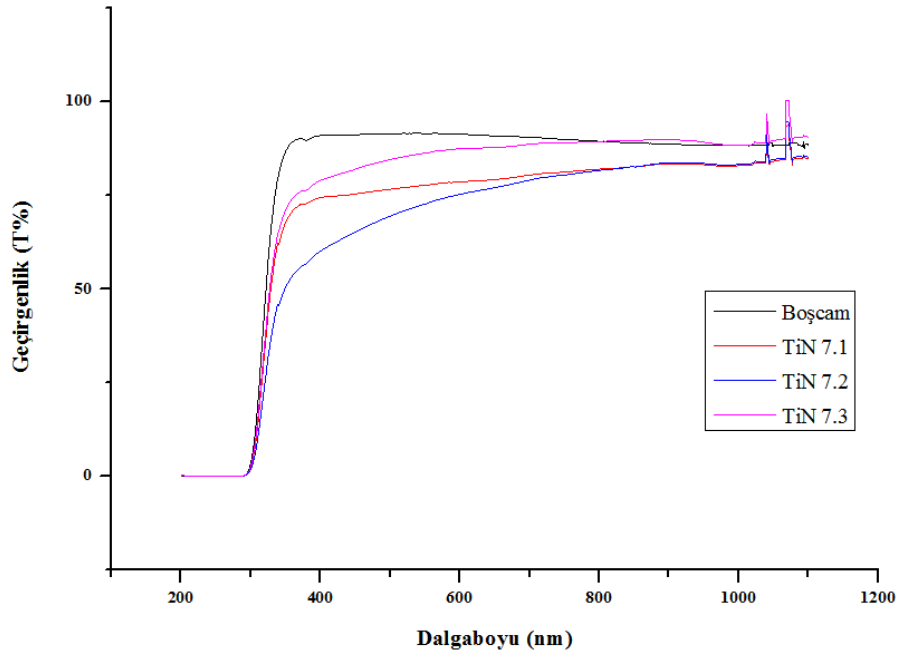
Şekil 4.61 150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde %50 Ar - %50 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 4.1, TiN 4.2 ve TiN 4.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.



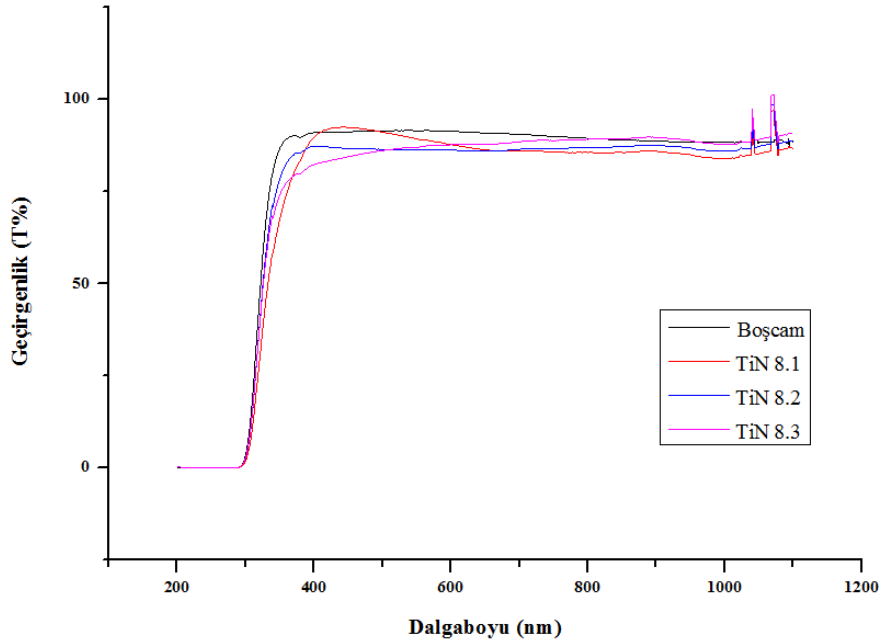
Şekil 4.62 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 5.1, TiN 5.2 ve TiN 5.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.



Şekil 4.63 100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30 N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 6.1, TiN 6.2 ve TiN 6.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.

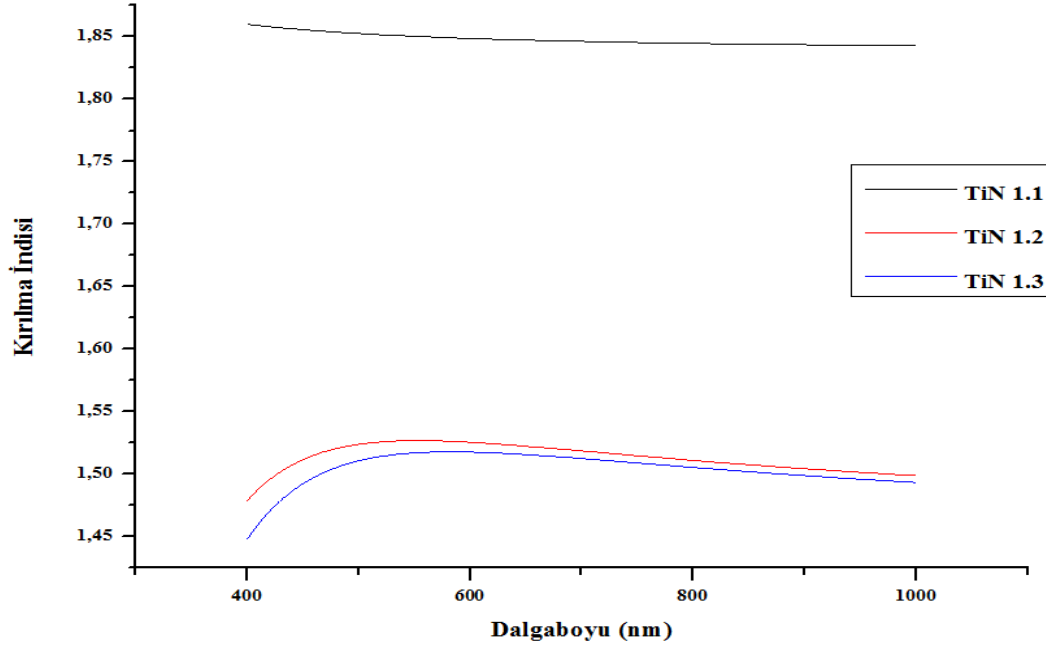


Şekil 4.64 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 7.1, TiN 7.2 ve TiN 7.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.

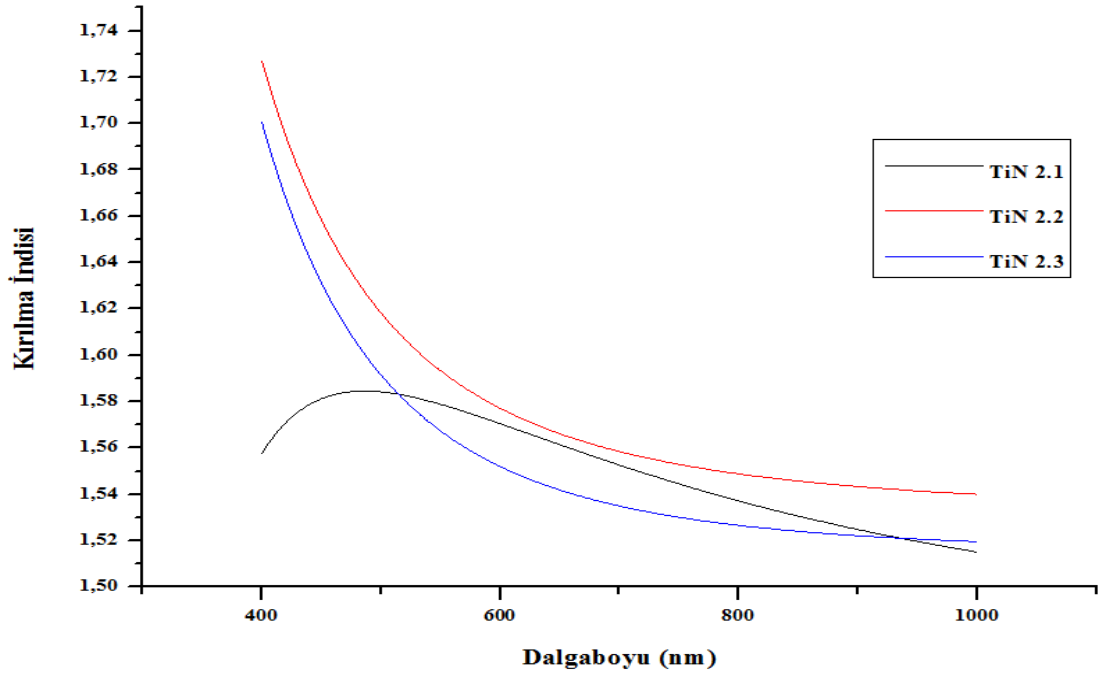


Şekil 4.65 150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile elde edilen TiN 8.1, TiN 8.2 ve TiN 8.3 ince filmin dalgaboyuna göre geçirgenlik grafiği.

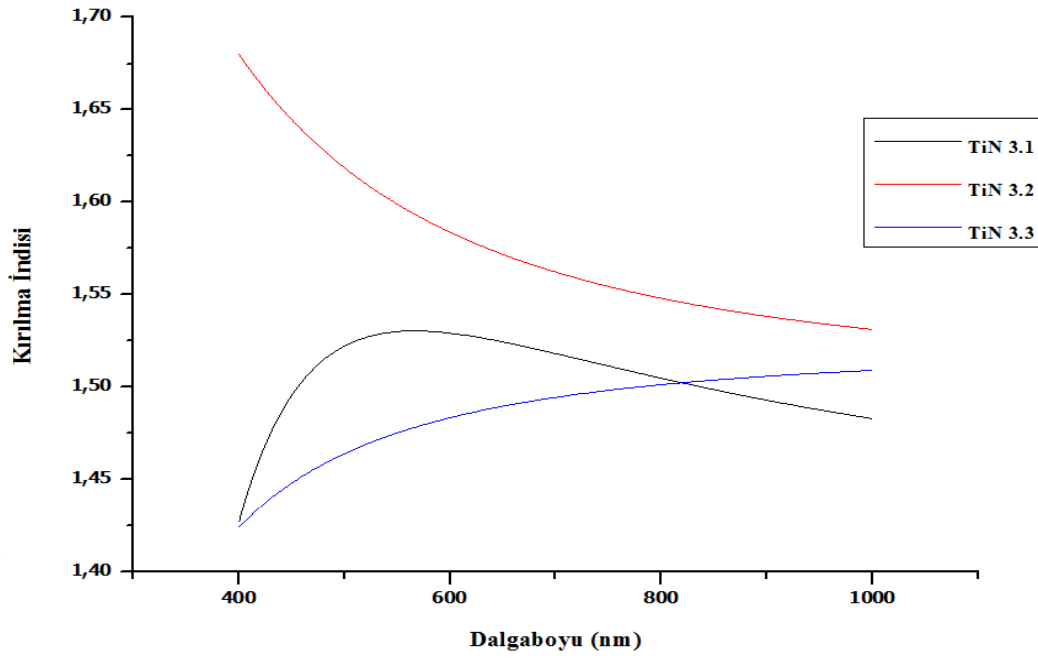
4.3.4 Kırılma İndisi Dalga Boyu Ölçümleri



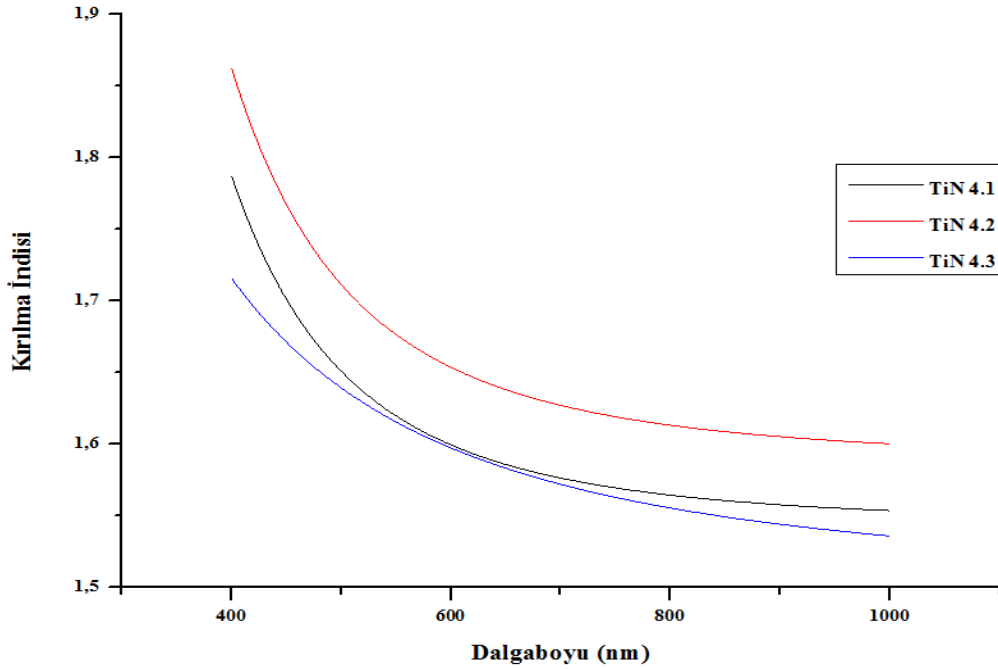
Şekil 4.66 %50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 1.1, TiN 1.2 ve TiN 1.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.



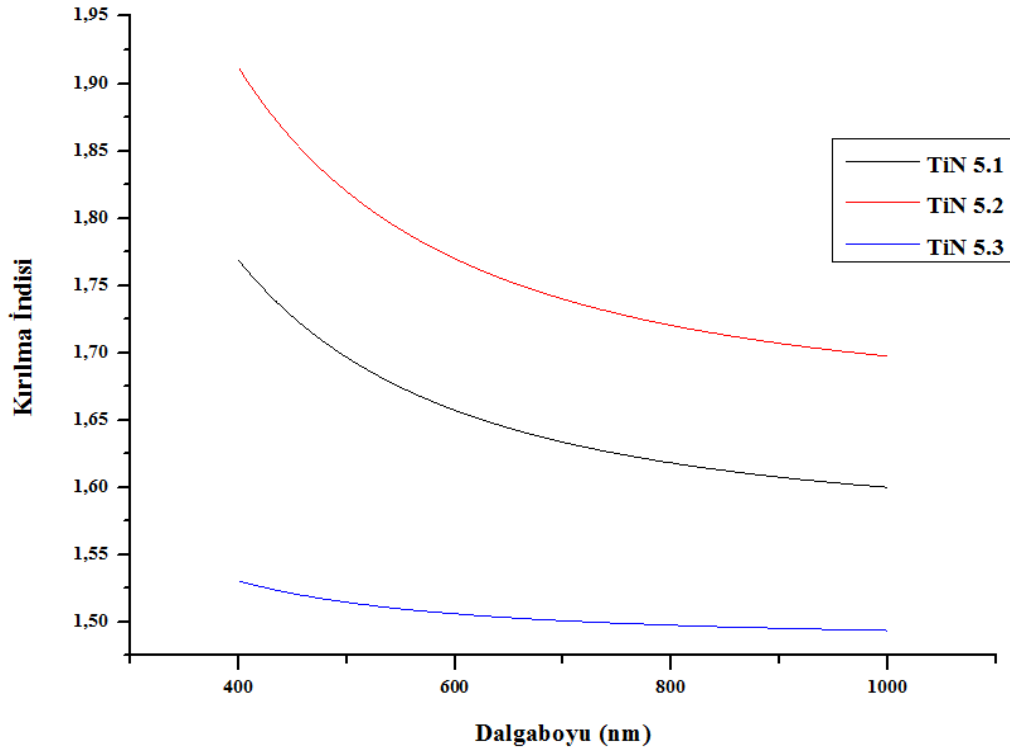
Şekil 4.67 %50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 2.1, TiN 2.2 ve TiN 2.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.



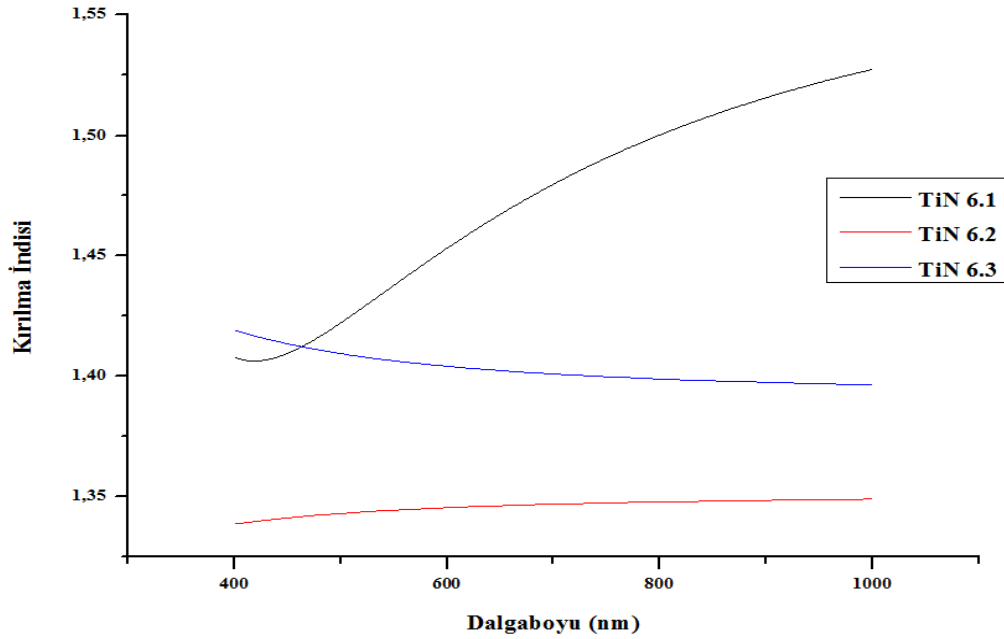
Şekil 4.68 %50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 3.1, TiN 3.2 ve TiN 3.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.



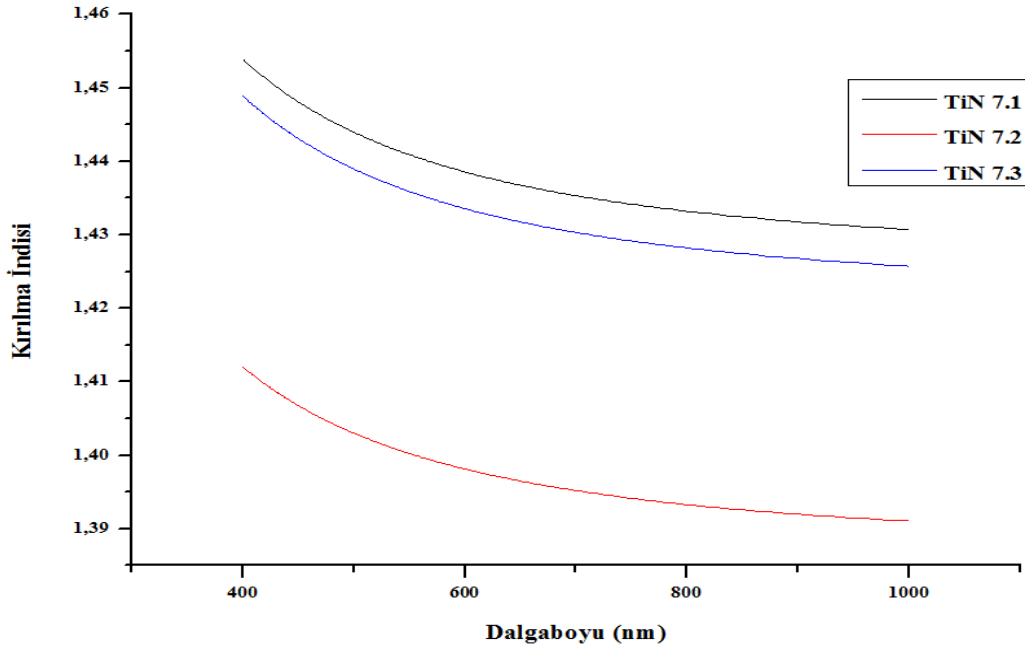
Şekil 4.69 %50 Ar - %50N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 4.1, TiN 4.2 ve TiN 4.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.



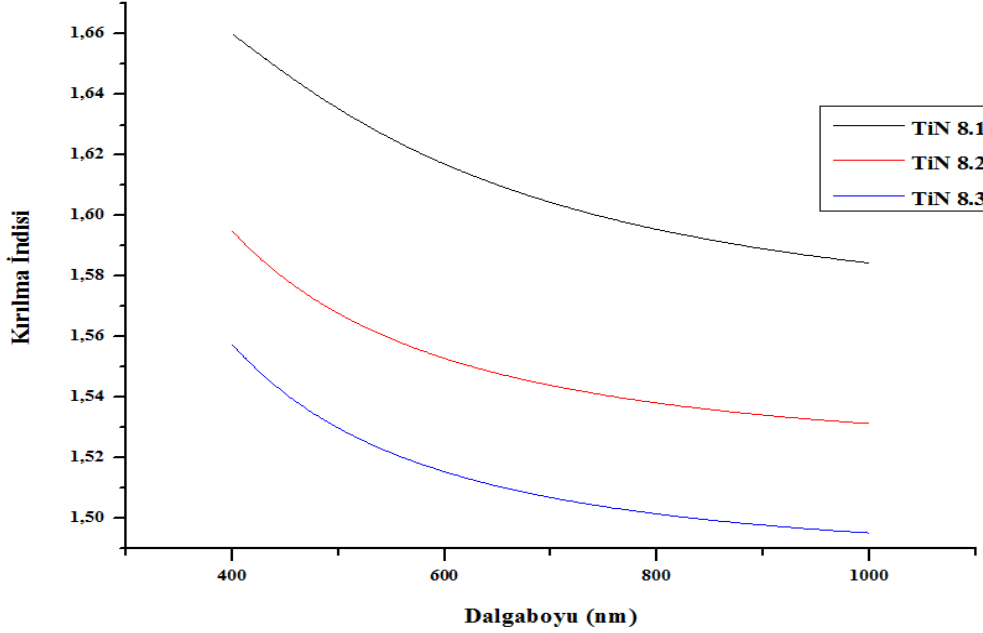
Şekil 4.70 %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 5.1, TiN 5.2 ve TiN 5.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.



Şekil 4.71 %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 100 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 6.1, TiN 6.2 ve TiN 6.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.



Şekil 4.72 %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 30 dk. kaplama süresinde TiN 7.1, TiN 7.2 ve TiN 7.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.

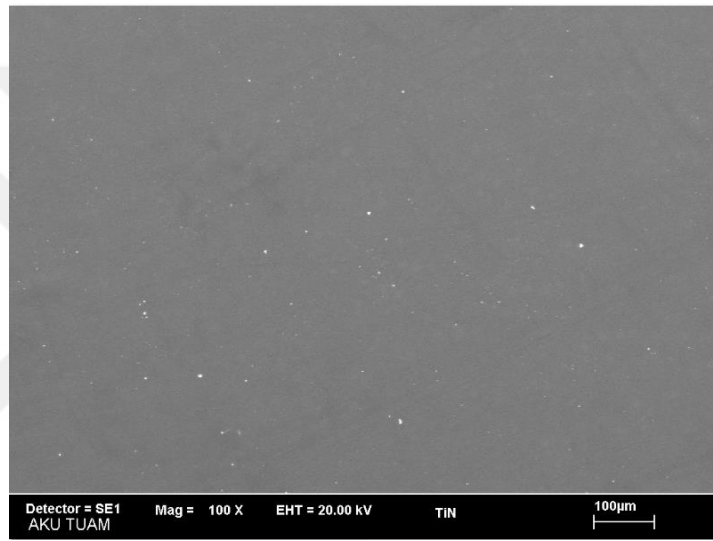


Şekil 4.73 %70 Ar - %30N oranlarında gaz konsantrasyonu ile 150 W sistem gücü 60 dk. kaplama süresinde TiN 8.1, TiN 8.2 ve TiN 8.3 numunelerine ait dalgaboyuna göre kırılma indisi grafiği.

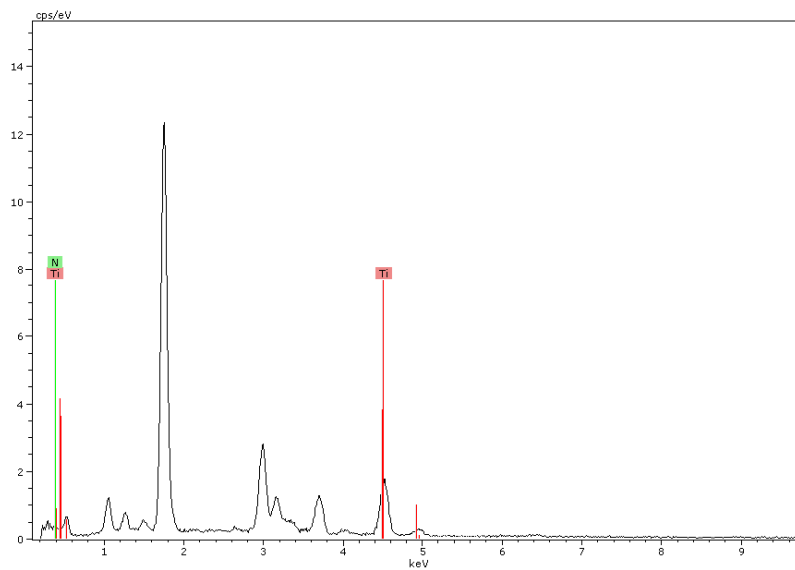
Dalga boyuna karşı kırılma indisi grafiklerine bakıldığında 400 nm ile 700 nm aralığındaki görünür bölgede kırılma indisi 1,5 civarında gözlemlendi.

4.3.5 SEM ve EDS Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri aşağıdaki gibidir. Buna göre yüzdece ağırlık oranı bakımından % 98,77 oranında nitrojen ve % 1,23 oranında titanyum görülmektedir. SEM analizlerinden kaplanan ince filmlerin homojen yapıda oldukları ve EDS analizlerinde Ti ve N atomlarına rastlanmıştır. SEM ve EDS analizlerinde kullanılan numune değerleri %70 Ar, %30 N, güç 150 W, Süre ise 30 dk, basınç $7,0 \times 10^{-2}$ torr olarak alınmıştır. Kaplama cam numune üzerine yapılmıştır. Grafikte gözlemlenen farklı pikler de kullanılan cam yüzeyinden bulunan farklı element atomlarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.74 7.1 Numunesine ait TiN kaplı ince filmlerin SEM görüntüsü.



Şekil 4.75 7.1 Numunesine ait TiN kaplı ince filmlerin SEM grafiği.

Çizelge 4.2 7.1 Numunesine ait TiN kaplı ince filmlerin EDS sonuçları.

Element	Yüzde Ağırlık(%)
Azot	98,77
Titanyum	1,23

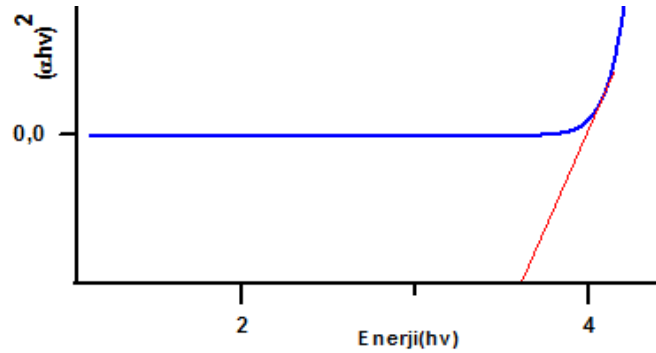
4.3.6 Yasak Enerji Aralığı İçin Kullanılan Hesaplama Modeli

Üretilen TiN ince filmlerin yasak enerji aralığının belirlenmesinde Tauc Metodu kullanılmıştır. Bu metotla grafiklerin doğrusal kısmından x eksenine düz çizgi çizilir. Bu çizilen çizginin x eksenine ile kesiştiği yerdeki değer yasak enerji aralığı değerini vermektedir. Grafikte $(\alpha h\nu)^2$ y eksenini ve enerji $(h\nu)$ ise x eksenini oluşturmaktadır. İnce filmlerin Tauc Metodu ile grafiklerin oluşturulmasında absorptans katsayısı α için:

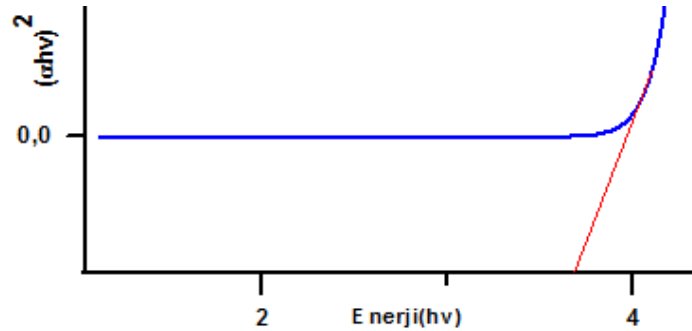
$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln(T)$$

Burada;

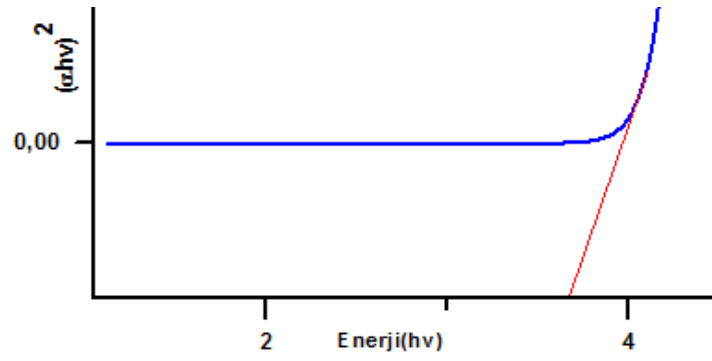
T: Geçirgenlik, t: Film kalınlığı, denklemlerinden yararlanılmıştır ve enerji $(h\nu)$ içinde $1240/\lambda$ hesaplamaları kullanılmıştır.



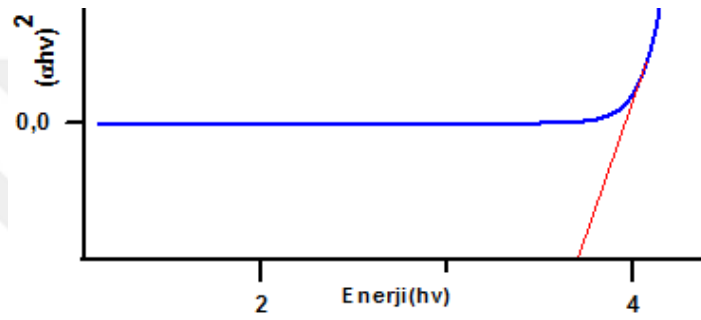
Şekil 4.76 TiN 1.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



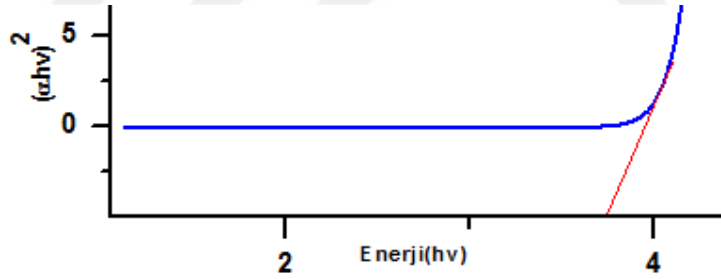
Şekil 4.77 TiN 2.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



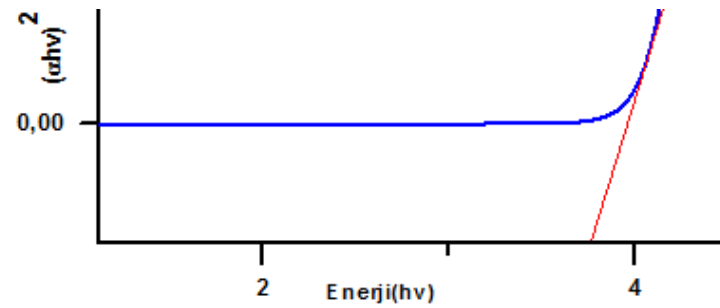
Şekil 4.78 TiN 3.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



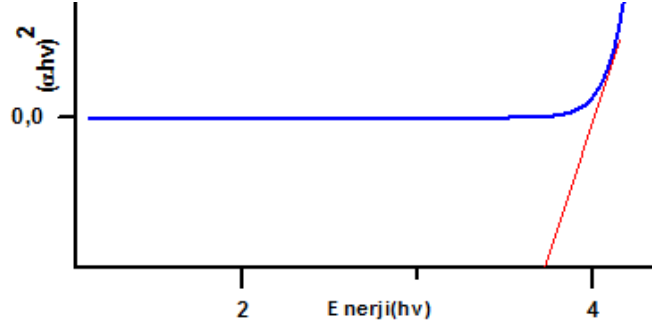
Şekil 4.79 TiN 4.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



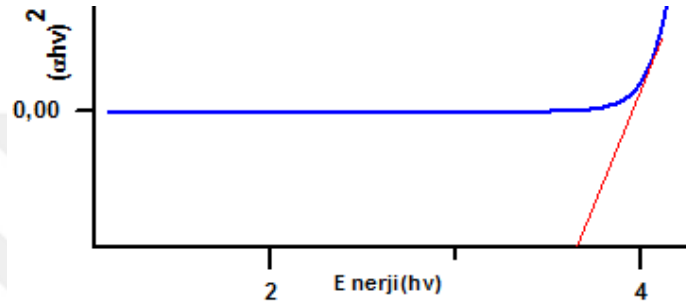
Şekil 4.80 TiN 5.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



Şekil 4.81 TiN 6.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



Şekil 4.82 TiN 7.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.



Şekil 4.83 TiN 8.1 Numunesine ait Tauc metodu ile yasak enerji aralığı grafiği.

Yasak enerji grafikleri oluşturulurken numuneden bir adet parametreler ele alınarak yasak enerji aralığı grafiği çizildi. Bu numunelerin kalınlıkları ayrı ayrı hesaplanarak tauc metodu ile hesaplamalar yapıldı. TiN ince filmlerin yasak enerji aralığı bu grafiklerden de görüldüğü üzere 4 eV'a çok yakın çıkmıştır. Ar ve N gaz oranlarına bağlı olarak az da olsa farklılık göstermektedir. Literatürde 3,7 eV aralığında verilen yasak enerji aralığı değerlerine karşın bizim ölçümlerimizde 3,7 eV olarak ölçülmüştür. Bu da literatür e uygundur.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Plazma Fiziği ve Teknolojileri Laboratuvarında plazmaları oluşturularak ince filmleri üretilmiştir.

Üretilen ince filmlerin Uv - Vis spektrofotometre cihazı ile optik geçirgenlikleri, SEM, EDS, AFM ve XRD analizleri yapılarak ince filmlerin yüzey ve kristal yapıları incelenmiştir.

RF magnetron Saçırma sistemindeki üretim parametrelerinden gaz karışım oranları (% 50 Ar - %50 N₂, % 70 Ar - %30 N₂), taban basınç ve çalışma basıncı sabit tutulmuş ($7,0 \times 10^{-2}$ torr), farklı güç (100 W ve 150 W) ve sürede (30 dk - 60 dk) çalışılmalar yapılmıştır. Dolayısıyla bu şekilde yapılan çalışma sonucunda sistem içerisine gönderilen gaz konsantrasyonlarının ve RF güç kaynağından uygulanan gücün Titanyum Nitrür ince filmlerin kalınlıkları, optiksel özellikleri ve yüzey özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.1 deki parametreler doğrultusunda deney numuneleri hazırlanmıştır. Elde edilen deney numunelerin den TiN 3.1, TiN 4.1, TiN 5.1, TiN 6.3, TiN 7.1 XRD lerine bakıldığında yapılar amorfudur. Genelde amorf bir yapı gözlenmiştir. Ancak aynı numunelerin SEM ve EDS analizlerinde Ti ve N gözlenmiştir. Bu da bize filmlerin TiN olduğunu gösterir. XRD analizlerinin sürelerinin daha uzun tutulması durumunda TiN piklerinin de saptanabileceği düşünülmüştür.

Çizelge 4.1 deki parametreler doğrultusunda 8 seri olarak elde edilen TiN ince filmlerin AFM yüzey ölçümleri yapıldı. Yüzey ölçümlerinin $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ boyutlarında İki boyutlu, Üç boyutlu, Histogram ve Pürüzlülük görüntüleri elde edildi. Her deneyde üç cam numune kullanıldı. Numune görüntülerine bakıldığında;

- 1. Seri de %50 Ar ve %50 N gaz oranlarında Frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 100 W, süre ise 30dk olarak ayarlanmıştır. Bu değerler kullanılarak elde edilen görüntülerde nano kristal yapılar rastlandı. Pürüzlülük ölçümü 25 nm ile 30 nm aralığında gözlemlendi. 1. Seri üçüncü numunesinde nano kristal yapılar daha belirgin olarak

gözlemlendi.

- 2. Seri de %50 Ar ve %50 N gaz oranlarında frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 100 W, süre ise 60dk olarak ayarlanmıştır. Bu değerler kullanılarak elde edilen görüntülerde 1.seri ile kıyaslandığında artan süreye karşın daha fazla nano kristal yapılara rastlandı. Pürüzlülük ölçümü 2 nm ile 4 nm aralığında gözlemlendi.
- 3. Seri de %50 Ar ve %50 N gaz oranlarında Frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 150 W, süre ise 30dk olarak ayarlanmıştır. Bu değerler kullanılarak elde edilen görüntülerde 2.seri ile kıyaslandığında azalan süreye karşın güç artırıldı. Birinci numunede nano kristal yapılar daha belirgin olmasına karşın ikinci ve üçüncü numunelerde toplaşma olduğu gözlemlendi. Pürüzlülük 15 nm ile 40 nm aralığında gözlemlendi.
- 4. Seri de %50 Ar ve %50 N gaz oranlarında frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 150 W, süre ise 60 dk olarak ayarlanmıştır. Bir önceki takıma göre güç aynı kalırken süre iki katına çıkarıldı. Bu değerler kullanılarak elde edilen görüntülerde az miktarda nano kristal yapılara rastlandı ve pürüzlülük 5 nm ile 10 nm aralığında gözlemlendi.
- 5. Seri de %70 Ar ve %30 N gaz oranlarında frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 100 W, süre ise 30 dk olarak ayarlanmıştır. Önceki numunelere göre bu numunede Ar oranında artış yapılırken N oranını azalttık. Bu değerler kullanılarak elde edilen görüntülerde nano kristal yapıların oluştuğu gözlemlendi. Pürüzlülük 15 nm ile 25 nm aralığında gözlemlendi. Bir önceki numunelerle kıyaslanacak olursa Argon gazı miktarının artırılması nano kristal yapıların daha belirgin olarak elde edilmesini sağladı.
- 6. Seri de %70 Ar ve %30 N gaz oranlarında frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 100 W, süre ise 60 dk olarak ayarlanmıştır. Beşinci serideki numune değerlerine karşın bu numuneler de süre iki katına çıkarılırken diğer değerler korundu. Bu değerler

kullanılarak elde edilen görüntülerde nano kristal yapıların oluştuğu ve toplasma olduğu gözlemlendi. Pürüzlülük 400 nm nin üzerine çıktığı gözlemlendi.

- 7. Seri de %70 Ar ve %30 N gaz oranlarında frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 150 W, süre ise 30 dk olarak ayarlanmıştır. Güç artırılarak yapılan bu deneyimizde en düzenli yapılar elde edildi. Nano kristal yapılar gözlemlendi. Pürüzlülük 120 nm ile 220 nm aralığında gözlemlendi. Gaz oranlarındaki farklılık ve güç değerindeki artış, süre az olsa bile düzenli yapı elde edildiğini gösterdi.
- 8. Seri de %70 Ar ve %30 N gaz oranlarında frekans 13,56 MHz. ve çalışma basıncı $7,0 \times 10^{-2}$ Torr olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın güç 150 W, süre ise 60 dk olarak ayarlanmıştır. Bu değerler kullanılarak elde edilen görüntülerde nano kristal yapıların oluştuğu ve kabalaşma olduğu gözlemlendi. Pürüzlülük 150 nm nin üzerine çıktığı gözlemlendi.

Elde edilen numunelerin dalga boyuna bağlı olarak ölçülen geçirgenlik değerlerine bakılacak olursa; gaz oranı ve basınç sabit tutularak güç artırıldığında geçirgenliğin arttığı saydamlığın azaldığı gözlemlenmiştir. Süre artsa dahi Ar gazı miktarının artması ve güç değerinin azalması geçirgenliğin azaldığını gösterdi. Düzenli nano kristal yapıların gözlemlendiği yedinci serideki numunelerin dalga boyuna karşın geçirgenlik eğrilerine bakıldığında geçirgenliğin azaldığı, saydamlığın arttığı gözlemlendi.

Genel olarak %70 Ar ve %30 N oranlarında gaz karışımına karşın 150 W güç te düzgün nano kristal yapılar elde edilmiştir.

6.KAYNAKLAR

- Aghaie-Khafri, M. and Fazlalipour, F. (2008). Vanadium carbide coatings on die steel deposited by the thermo-reactive diffusion technique, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **69(10)**: 2465-2470.
- Akan, T. (2003). Termiyonik Vakum Ark (TVA)'nın temel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Bilgin, V. (2003). ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Campbell, D. S. (1978). Active and passive thin films devices, Academic press, London, England.
- Çeğil, Ö ve Şen, Ş. (2012). AISI D2 Çeliği Yüzeyinde Oluşturulmuş TiN ve TiAlN Tabaklarının NaCl ve H₃BO₃ Ortamlarındaki Korozyon Davranışları, 14th International Materials Symposium (IMSP'2012),10-12 Pamukkale University – Denizli – Turkey.
- Eckertova, L. (1986). Physics of Thin Films, Plenum Press, New York, USA.
- Gaitan, G.B., Caicedo, J.C., Balogh, A.G. and Gottschalk, S. (2007). Cutting tools performance enhancement by using a TiN/TiAlN multilayer coating system. *Physica Status Solidi*, **11**: 4260-4266.
- Geçkinli, A. E. (1992). İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- Grill A. (1993a). Cold Plasma in materials fabrication, IEEE Pres.
- Grill, A. (1993b). Cold plasma in materials fabrications (from Fundamentals to applications), The institute of electrical and electronics engineers, New York.

- Holmberg, K. and Matthews, A. (1994). "Coatings Tribology", Properties, Techniques and Applications in Surface Engineering, The Netherlands.
- Horzum, Ş. (2005). Kimyasal Olarak Kaplanmış CuO₂ İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jeyachandran, Y. L., Narayandass, Sa. K., Mangalaraj, D., Areva, S. and Mielczarski, J. A. (2007). Properties of titanium nitride films prepared by direct current magnetron sputtering, *Materials Science and Engineering*, **445**: 223-236.
- Jianhua, M., Meining W., Yihong D., Suqin C., Guoxing L. and Jianbo H. (2009). Synthesis of nanocrystalline titanium nitride at low temperature and its thermal stability, *Journal of Alloys and Compounds*, **476 (1-2)**: 603-605.
- 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.
- Kalkan, N. (2008). PVD Yöntemi İle TiN, CrN ve TiN /CrN Kaplanmış Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- Keleşoğlu E. (2011). Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Kiyotaka W. and Shigeru H. (1992). Handbook of Sputter Deposition Technology, Hardcover.
- Kokkokoğlu M. (2010). RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Meining W. (2009). Low temperature synthesis of nanocrystalline titanium nitride from a single-source precursor of titanium and nitrogen, *Journal of Alloys and Compounds*, **486**: 223-226.

- Meng L. (1997). Characterization of TiN films prepared by Dc reactive magnetron sputtering at different nitrogen pressures, *Surface and Coatings Tech.*, **90**: 64-70.
- Nebi, M. (2013). Reaktif RF Saçtırma Yöntemi ile TiN İnce Filmlerin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Özet, M. (2008). Bazı Metallerin Rf Magnetron Sıçratma Yöntemiyle TiN Ve TiAlN İle Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Özkan, M. (2010). TVA Tekniği ile II-VI Grubu Bazı Yarıiletken Bileşiklerin İnce Filmlerinin Üretilmesi ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Patrick R. L. (1998). Titanium Nitride Thin Films by the Electron Shower Process, Bachelor of Science in Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Pihosh, Y., Goto, M., Kasahara, A., Oishi, T. and Tosa, M. (2005). Influence of reacting nitrogen gas consistence on the properties of TiN films prepared by rf magnetron sputtering, *Applied Surface Science*, **244**: 244-247.
- Smallman, R.E. and Ngan, A.H.W. (2007). Physical Metallurgy and Advanced Materials, Seventh Edition, s. 672, ButterworthHeinemann.
- Souto, R.M. and Alanyali, H. (2000). Electrochemical characteristics of steel coated with TiN and TiAlN coatings. *Corrosion Science*, **42**: 2201-2211.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M. ve Akın, S. (2012). İnce film üretim teknikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **28** (5):389-401.
- Şahin, İ. (2014). “Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemelerin Matkap ile Delinmesi Konusunda Yapılan Çalışmaların İncelenmesi,” *Mühendis ve Makina*, **55 (649)**: 9-16.

Tarımçı Ç. ve 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*, **107**: 3-19.

Türküz, M.C. (1997). Ark PVD yöntemiyle TiN kaplanmış kesici takımların karakterizasyonu ve performanslarının incelenmesi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tüzemen, E. S. (2007). ZnO İnce Filmlerinin Eldesi Ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Yazdani, A., Soltanieh, M., Aghajani, H. and Rastegari, S. (2011). A new method for deposition of nano sized titanium nitride on steels, *Vacuum*, **86**: 131-139.

Zor, M. (1982). Spray-Pyrolysis ile Elde Edilen AgInS₂ Bileşiğinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Doktora Tezi, Ankara.

İnternet Kaynakları

1-https://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum_nitrit 15.03.2016

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat POLATER
Doğum Yeri ve Tarihi : Van 10/10/1981
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05061444907/mpolater@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Van Atatürk Lisesi /1997
Lisans : Erciyes Üniversitesi/ 2001
Yüksek Lisans :Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Öğretmenliği/Tezsiz Yüksek Lisans/ 2003

Yayınları (SCI ve diğer) :

Polater M., Özkan M., Özen S. ve Akyüz A. Ö.(2015). Titanyum Nitrür İnce Filmlerin Radyo Frekansı Sıçratma Yöntemi İle Cam Taban Üzerine Depolanması. Adım Fizik Günleri IV.