

**AIN KATMANLARIN FİZİKSEL BUHAR  
BİRİKTİRME YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ  
VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan SATILMIŞ

Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU

Prof. Dr. Şükrü TAKTAK

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Temmuz, 2014

Bu tez çalışması 12.FENBİL.39 numaralı proje ile AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AIN KATMANLARININ FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME YÖNTEMİYLE  
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**Hasan SATILMIŞ**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU**

**Prof. Dr. Şükrü TAKTAK**

**MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz, 2014**

## TEZ ONAY SAYFASI

Hasan SATILMIŞ tarafından hazırlanan “AIN Katmanların Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 04.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Ö.Faruk EMRULLAHOĞLU

**İkinci Danışman** : Prof. Dr. Şükrü TAKTAK

**Başkan** : Prof. Dr. Ö.Faruk EMRULLAHOĞLU İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Prof. Dr. Şükrü TAKTAK İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

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

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. C. Betül EMRULLAHOĞLU ABİ İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Süleyman AKPINAR İmza  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

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

.....

Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. İbrahim EROL

## **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.**

**04/07/2014**

**Hasan SATILMIŞ**

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

#### AIN KATMANLARININ FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Hasan SATILMIŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışmanlar:** Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU, Prof. Dr. Şükrü TAKTAK

Yapılan bu tez çalışmasında; yüksek ısı iletkenliği ( $285 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), geniş bant aralığı ( $6.2 \text{ eV}$ ), yüksek kimyasal ve ısı kararlılığı, düşük ısı genleşmesi ve yüksek yüzey akustik dalga iletim hızı nedenleriyle günümüz teknolojisinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olan Alüminyum nitür (AIN) katmanların fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden biri olan RF manyetik saçırma yöntemi ile üretimi yapılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada üretilen AIN katmanların kalınlıkları ölçülmüş, üretim oranları hesaplanmış, X ışınları kırınımı XRD analizi ile minerolojik özellikleri incelenmiş, Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile yüzey özellikleri tespit edilmiştir.

Çalışmada Radyo frekans (RF) manyetik saçırma yöntemi ile alüminyum hedef malzeme kullanarak cam altlık üzerine AIN ince filmler depolanmıştır. AIN ince filmlerin üretimi sabit vakum basıncı ( $2.10^{-2} \text{ mbar}$ ), sabit çalışma basıncı ( $5.10^{-2} \text{ mbar}$ ) ve sabit gaz karışımı oranında (%50 Ar, %50 N<sub>2</sub>) farklı sistem güçleri (W) ve farklı sürelerde reaktif saçırma prensibi ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda sistem gücünün artmasıyla kaplama bünyesindeki AIN fazının Al fazına oranının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca artan sistem çalışma gücü ve kaplama süresi ile birlikte kaplama kalınlıklarının ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.

**2014, ix + 58 sf.**

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum Nitür, İnce film kaplama, Fiziksel buhar biriktirme, RF manyetik saçırma,

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### **PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF AlN LAYERS VIA PHYSICAL VAPOR DEPOSITION METHOD**

Hasan SATILMIŞ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Material of Science Engineering

**Supervisors:** Prof. Dr. Ö. Faruk EMRULLAHOĞLU, Prof. Dr. Şükrü TAKTAK

In this study it is aimed to fabricate Aluminum nitride (AlN) layers which have been widely used and have excellent physical and chemical properties, such as high thermal conductivity (100–260 W/m K)., wide band gap (6.2 eV) structure, high chemical stability, low thermal expansion and high surface acoustic velocity transmittance were fabricated by RF magnetron sputtering technique that a type of physical vapor deposition. Furthermore, the thicknesses of films were measured, mineralogical data were obtained by XRD method, and surface properties were examined by AFM.

In the study AlN thin film layers were deposited on the glass substrates was using Aluminum targets by RF magnetron sputtering technique. AlN coating process performed for constant base pressure ( $2 \cdot 10^{-2}$  mbar) constant working pressure ( $5 \cdot 10^{-2}$  mbar), constant gas mixture rate (%50 Ar, %50 N<sub>2</sub>), and variable working power and deposition time.

In the result, it was observed that the AlN deposition rate increased with increasing RF power. In addition the thicknesses and roughness of the films increased with the increasing RF power and deposition

**2014, ix + 58 p.**

**Key Words:** Aluminum nitride, Thin film coating, Physical vapor deposition, RF magnetron sputtering,

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusunun belirlenmesi, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. . Faruk EMRULLAHOğLU 'na ve ikinci danışmanım, Prof. Dr. şükrü TAKTAK'a, araştırma, deneysel çalışma, karakterizasyon çalışmaları ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZKAN hocama, deneysel çalışmalar sırasında verdikleri destekten dolayı Yrd. Doç. Dr. Suat PAT ve Dr. Öğr. Soner ÖZEN'e, tez çalışmasında proje desteğinden dolayı A.K.. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne, gerekli cihazların kullanımında destek olan Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM) alışanlarına teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı sevgili eşime ve aileme teşekkür ederim.

Hasan SATILMIŞ  
AFYONKARAHİSAR, 2014

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	5
2.1 İnce Film Kaplama Yöntemleri .....	5
2.2 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi .....	5
2.3 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi ( FBB).....	7
2.3.1 Termal Buharlaştırma Tekniği .....	7
2.3.2 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği.....	9
2.3.3 Moleküler Demetli Epitaksi Metodu (Molecular beam Epitaxy, MBE) .....	11
2.3.4 Termiyonik Vakum Ark (TVA) .....	12
2.3.5 Saçtırma (Sputtering) Tekniği.....	14
2.3.5.1 Doğru akım (DC) saçtırma tekniği.....	17
2.3.5.2 Doğru akım (DC) magnetron saçtırma tekniği .....	17
2.3.5.3 Radyo Frekans (RF) saçtırma tekniği .....	18
2.3.5.4 Radyo Frekans (RF) Manyetik Saçtırma .....	20
3. MATERYAL VE METOD .....	22
3.1 Giriş .....	22
3.2 Kullanılan Deneysel Sistem.....	22
3.4 Deneysel Karakterizasyon Teknikleri .....	26
3.4.1 X Işınları Kırınımı Yöntemi (XRD).....	26
3.4.2 Atomik Kuvvet Mikroskobu .....	27
3.4.3 İnce Film Kalınlık Ölçüm Cihazı.....	32
4. BULGULAR .....	35
4.1 Üretilen Filmlerin X ışınları Kırınımı (XRD) ölçümleri .....	35
4.2 AIN Filmlerin Kalınlık Ölçümleri .....	41
4.3 Üretilen Filmlerin AFM Yüzey İncelemeleri .....	44

4.4	AIN İnce Filmlerin Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri .....	48
4.5	Üretilen İnce Filmlerin Genel Karakterizasyon Bulguları .....	50
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	51
6.	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ.....	58

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

nm	Nanometre
$\mu\text{m}$	Mikrometre
mm	Milimetre
dk	Dakika
AlN	Alüminyum Nitrür
Al	Alüminyum
Ar	Argon
Au	Altın
N	Azot
W	Volfram
Mo	Molibden
Ta	Tantal
GaAs	Galyum Arsenik
GaN	Galyum Nitrit
AlGaN	Alüminyum Galyum Nitrit
FeN	Demir Nitrat
GaAlAs	Galyum Alüminyum Arsenit
eV	Elektron Volt
Eg	Enerji Aralığı
W	Watt

### Kısaltmalar

---

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
MBE	Moleküler Demetli Epitaksi
TVA	Termiyonik Vakum Ark
SPM	Taramalı Uç Mikroskobu
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru akım
RF	Radyo Frekansı

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Kimyasal buhar biriktirme (CVD) sisteminin basit şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.2 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi .....	7
Şekil 2.3 Termal buharlaştırma sistemin farklı bir tasarımdaki şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.4 Elektron demetli buharlaştırma sisteminin farklı bir tasarımdaki şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.5 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi .....	11
Şekil 2.6 Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi .....	11
Şekil 2.7 Termiyonik vakum ark sisteminin şematik çizimi .....	13
Şekil 2.8 Saçırma işleminin şematik gösterimi .....	15
Şekil 2.9 Saçırma (Sputtering) sisteminin şematik gösterimi .....	16
Şekil 2.10 DC saçırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi .....	17
Şekil 2.11 DC magnetron saçırma sisteminin şematik gösterimi .....	18
Şekil 2.12 RF saçırma sistemiyle film oluşumu.....	19
Şekil 2.13 RF magnetron saçırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi .....	20
Şekil 3.1 XRD saçılma geometrisi ve Bragg yasası .....	27
Şekil 3.2 AFM'nin çalışma prensibi .....	28
Şekil 3.3 Tarama Ucu ve yüzey arasındaki Van der Waals kuvvetinin mesafe ile değişimi .....	30
Şekil 3.4 Omicron VTSTM/ AFM cihazı.....	31
Şekil 3.5 Filmetriks Cihazının Gösterimi.....	32
Şekil 3.6 Faz Harici ve faz içi yansımaların gösterimi.....	33
Şekil 4.1 100 W sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları .	36
Şekil 4.2 150 W sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları .	37
Şekil 4.3 200 W sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları ..	38
Şekil 4.4 250 w sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları ...	39
Şekil 4.5 Üretilen ince filmlerin yarı kantitatif AIN faz oranları .....	40
Şekil 4.6 Üretilen ince filmlerin kalınlık değişim grafiği .....	42
Şekil 4.7 AIN ince film kaplamaların sistem gücü ve süreye bağlı kaplama hızı değişim grafiği .....	43

<b>Şekil 4.8</b> 100 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	44
<b>Şekil 4.9</b> 100 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	44
<b>Şekil 4.10</b> 100 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	45
<b>Şekil 4.11</b> 150 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	45
<b>Şekil 4.12</b> 150 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	45
<b>Şekil 4.13</b> 150 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	46
<b>Şekil 4.14</b> 200 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	46
<b>Şekil 4.15</b> 200 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	46
<b>Şekil 4.16</b> 200 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	47
<b>Şekil 4.17</b> 250 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	47
<b>Şekil 4.18</b> 250 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	47
<b>Şekil 4.19</b> 250 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri .....	48
<b>Şekil 4.20</b> AlN ince filmlerin sistem gücü ve süreye bağlı yüzey pürüzlülüğü .....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1</b> Deneysel parametreler.....	26
<b>Çizelge 4.2</b> Üretilen ince filmlerin yarı kantitatif AIN faz oranları .....	40
<b>Çizelge 4.3</b> Üretilen ince filmlerin kalınlık ölçüm sonuçları .....	41
<b>Çizelge 4.4</b> Elde edilen AIN ince film kaplamaların sistem gücü ve süreye bağlı kaplama hızı .....	43
<b>Çizelge 4.5</b> AIN ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri .....	49
<b>Çizelge 4.6</b> Üretilen ince filmlerin üretim koşulları ve sayısal deney sonuçları.....	50

## RESİMLER DİZİNİ

<b>Resim 3.1</b>	RF Manyetik saçtırma sisteminin fotoğraf.....	24
<b>Resim 3.2</b>	Topraklama elektrotu üzerine tutturulmuş lamel altlık .....	24
<b>Resim 3.3</b>	RF Manyetik Tabanca Hedef elektrot .....	25
<b>Resim 3.4</b>	RF manyetik saçtırma ile film üretimi esnasında vakum odası .....	25

## 1. GİRİŞ

Katman kalınlıkları 1  $\mu\text{m}$ 'den daha az olan kaplamalara ince film kaplamalar denir (Chapman 1980). İnce filmlerin çeşitli özellikleri dikkate alınarak farklı teknolojik uygulamalarda kullanılabilirler. Örneğin, optiksel özelliklerinden dolayı yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan kaplamalarda girişim filtrelerinde, elektriksel özellikleri sayesinde yarıiletken cihazlarda, yalıtım ve iletim kaplamalarında, manyetik özelliklerinden dolayı hafıza disklerinde ve bunlar gibi daha birçok uygulamada ince filmler kullanılmaktadır. Ayrıca ince filmlerin boyutlarının diğer malzemelere oranla çok daha küçük olmasından dolayı elektronik devre tasarımlarında büyük kolaylık sağlarlar ( Kal 2011).

Yarı iletken büyütme ve işleme tekniklerindeki gelişmelerle birlikte özellikle yüksek performans isteyen devre uygulamalarında silisyuma alternatif olarak, bileşik yarıiletkenler diye adlandırılan ve çoğu periyodik cetvelin üçüncü ve beşinci kolonlarındaki elementlerin birleştirilmesiyle oluşturulan yeni yarı iletkenler kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yarı iletken malzemeler III-V grubu yarıiletkenler diye adlandırılmaktadır. Bu yarı iletkenlerin enerji bant aralıkları silisyumunkinden çok daha yüksektir ve atomlar arasındaki bağ çok daha kuvvetlidir. Dolayısıyla çok yüksek güç altında ve çok yüksek sıcaklıklarda çalışabilen çok dayanıklı elektronik aygıtların yapımı mümkün olabilmektedir. Bu yarıiletkenlere günümüzde araştırmalara ilgi odağı olan AlN, GaN ve AlGaIn yarı-iletkenleri gösterilebilir (Cellek ve Gökden 2001).

Alüminyum nitrür (AlN) yüksek ısı iletkenliği (285 W/(m·K), geniş bant aralığı (6.2 eV), yüksek kimyasal ve ısı kararlılığı, düşük ısı genleşmesi ve yüksek yüzey akustik dalga iletim hızı nedenleriyle günümüz teknolojisinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Yamashita ve ark. 1979, Slack ve ark. 1987, Ohta ve ark. 2002). Kullanım alanına bakıldığında AlN ince film ve bulk (yığın) akustik dalga üreteçleri, kısa dalga boyu yayıncıları, elektronik ve piezoelektrik tabaka olarak mikroelektronik ve optoelektronik alanlarında ümit verici malzemelerdendir (Amano ve ark. 1986, Ponce and Bour ve ark. 1996).

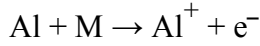
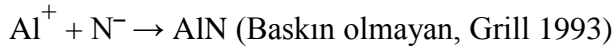
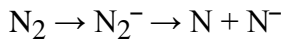
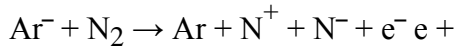
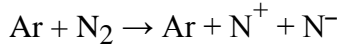
AlN ince film üretimi için literatürde çeşitli yöntem ve süreçler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; moleküler demeti epitaksi ve atımlı lazer birikim yöntemlerini birlikte kullanılarak yüksek kalitede AlN ince filmler üretilebilmektedir. Yapılan çalışmalarda ayrıca AlN ince filmlerin üretimi için RF(radyo frekansı) manyetik saçılım yöntemi, mikrodalga plazma destekli kimyasal buhar biriktirme, DC (doğru akım) reaktif manyetik saçırma gibi metotlar da kullanılmaktadır (Thapa *et al.* 2009). Bu yöntemler arasında saçırma yöntemleri sağladığı ekonomik ve uygulanabilirlik avantajlar nedeniyle sanayide en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Yukarıda belirtilen AlN ince film sentez yöntemlerinin tamamına yakınında kaplamanın kaynak malzemesi yani hedef malzeme olarak AlN kullanılmış olup süreçlerin gerçekleştirildiği sistemler oldukça yüksek maliyetli sistemlerdir. Bu çalışmada üretilen AlN ince film katmanları ise bir çeşit fiziksel buhar biriktirme yöntemi olan manyetik RF saçırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu yöntemde hedef malzeme olarak yüksek saflıkta (% 99,9) alüminyum (Al) metali kullanılmıştır. Üretilen kaplamaların kalitelerinin olumsuz etkilenmemesi adına olası kirliliklerin önüne geçmek ve plazmanın oluşumunun sağlanması amacıyla kuvvetli bir vakum pompası vasıtasıyla sistemdeki hava emilmiştir. Devamında plazmanın oluşumunu sağlayan Argon ve nitrüleme malzemesi olan azot belli stokiometrik oranda vakumlanmış sisteme gönderilmiştir. Sistem süreç gazı olarak ise  $x\text{Ar}+(1-x)\text{N}_2$  gazı karışımının farklı oranlarda ( $x=0,5$ ) argon-azot gaz karışımı kullanılmıştır. Sistem belirli bir basınçta sabitlenmiş ve sisteme güç kaynağı ve eşleştirme ünitesi vasıtasıyla sabit frekansta farklı miktarlarda güç (100 W, 150 W, 200W) verilmiştir. Manyetik ve elektriksel alan vasıtasıyla argon ve azot atomları iyonize olmuş ve plazma meydana getirmiştir. Argon ve azot plazması ortamında yüksek enerjili argon atomlarının Al hedefe çarpmasıyla Al hedef malzemedeki Al atomlarının N atomları ile reaksiyona girerek altlık (cam ve silisyum) üzerine ince filmleri farklı kaplama sürelerinde ( $t= 30, 45, 60$  dk.) oluşturulmuştur. Bu reaksiyon sırasında sistemdeki Al ve N atomları stokiometrik orana bağlı olarak oluşan AlN ince filmlerin bünyesinde farklı fazlar ve mikro yapılar meydana gelmiştir. Bu değişimlerin neden olduğu faz, mikro yapı, yüzey özelliği gibi unsurların tespiti için X ışınları kırınımı (XRD), Taramalı elektron mikroskobu, Atomik kuvvet mikroskobu yöntemleri kullanılmıştır.

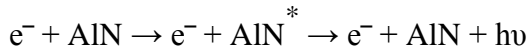
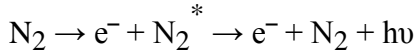
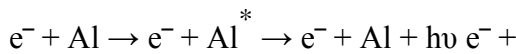
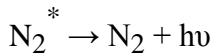
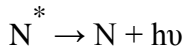
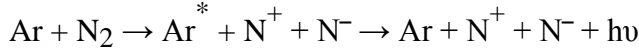
Deneysel sonuçlar incelendiğinde plazma gaz karışımı içerisindeki sistem gücü ve kaplama süresine bağlı olarak AlN ince film özelliklerinin değiştiği gözlenmiştir. Bu durumun nedeni ise kaplama prosesinde alüminyum atomlarının hedeften koparılması ve azot atomları ile stokiometrik olarak 1:1 eşleşmesi ve sonrasında altlık üzerine birikmesi gerekmektedir. Fakat sistem gücüne bağlı olarak plazma bulutundaki Al ve N atomlarının buldukları bölgedeki azot atomlarının eksikliğine ve fazlalığına bağlı olarak uygun stokiometride çarpışmamış veya altlık üzerinde birikmemiştir.

Al, Ar ve N<sub>2</sub> gaz karışımında plazma ortamında meydana gelen reaksiyonların ise aşağıdaki şekilde olabileceği düşünülmüştür (Grill 1993).

#### **İyon oluşturan reaksiyonlar:**



#### **Foton oluşturan reaksiyonlar:**



Sonuç olarak elde edilen AlN ince filmlerin yapılarında meydana gelen değişikliklerin sebebi, hem kaplama sürelerindeki farkı hem de plazmanın oluşumu için gereken güç (RF) farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Sisteme verilen gücün (RF) etki mekanizması ise bu gücün gerek plazmanın oluşumu sırasında tetikleyici, gerek plazma iyonlarının hedef malzemedan (Al) alüminyum atomlarını kopartması esnasında gerekse Al ve N atomlarının reaksiyonu için gereken termokimyasal enerjinin sağlanmasında en etkili

şekilde kaynak oluşturulmasıdır. Bu mekanizmaların etkisi sonucu her bir parametrenin etkisine bağı olarak film kalınlığı, film bünyesinde meydana gelen fazlar ve oranları, mikroyapı ve yüzey özellikleri de farklılık göstermektedir.

Ayrıca yapılan çalışmada literatürde ve piyasada kullanılan diğer AIN ince film üretim yöntemlerinden de bahsedilmiş ve bu yöntemler RF manyetik buhar biriktirme yöntemiyle kıyaslanmıştır. Üretilen ince filmlerin karakterizasyonunda kullanılan cihazlar hakkında da ayrı bir bölümde bilgi verilmiştir.

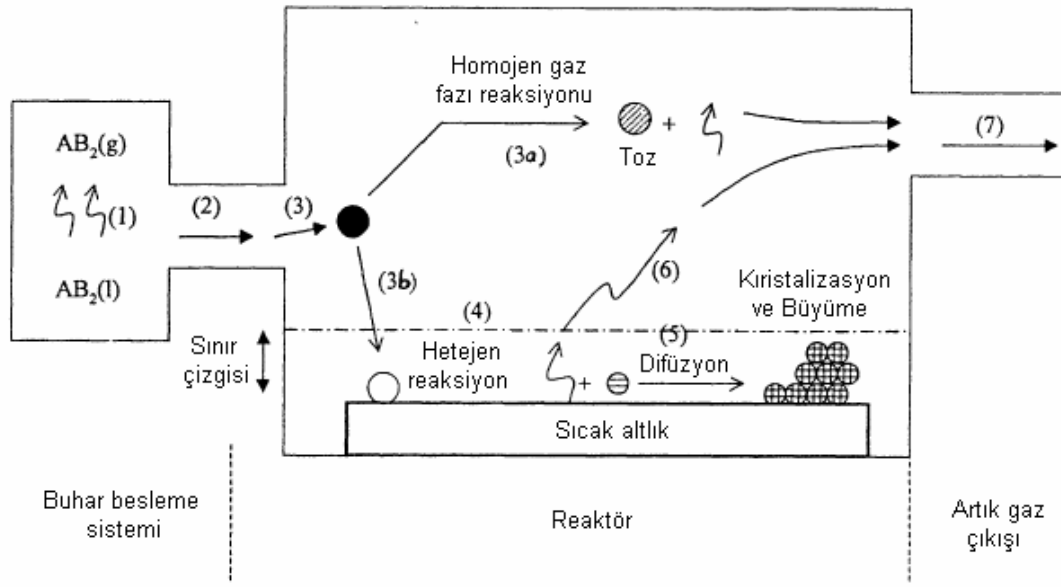
## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 İnce Film Kaplama Yöntemleri

Teori olarak 19 yy'in başlarından itibaren bilinen fakat teknolojik gereksinimlerden dolayı son 50 yıl kendisine endüstride bir yer bulabilmiş olan çeşitli ince film üretim yöntemleri mevcuttur. Endüstriyel uygulamada ve bilimsel çalışmalarda, elektrokimyasal kaplama, sol-gel, sprey püskürtme gibi çeşitli ince film üretim teknikleri mevcuttur. Fakat ileri teknoloji uygulamaları açısından yüksek ürün kalitesi gerekmekte dolayısıyla üretim parametrelerinin kontrol edilebilmesi açısından vakum plazma ince film kaplama teknikleri son yıllardaki teknolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Vakum plazma ince film kaplama metotlarından bazıları; Kimyasal buhar biriktirme, termal buharlaştırma, elektron demeti buharlaştırma, moleküler demetli epitaksi, termiyonik vakum ark, RF ve DC saçtırma, RF ve DC magnetron saçtırma, vb. dir. Bu bölümde RF manyetik saçtırma tekniği dışındaki üretim yöntemleri, RF manyetik saçtırma yöntemi ise detaylı olarak üçüncü bölümde anlatılacaktır.

### 2.2 Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi

Kimyasal buhar biriktirme (CVD) gerek endüstriyel gerekse bilimsel çalışmalarda oldukça yaygın kullanılan bir malzeme kaplama teknolojisidir. Bu method daha çok yüzeye ince film kaplama işlemi için kullanılır ayrıca yüksek saflıkta kütleli malzeme ve toz üretiminde de kullanılır. CVD tekniğinde malzeme veya kimyasal bileşikler buharlaştırılır ve bunlar sıcak yüzeyler üzerinde ayrıştırılır. Doğrudan depolama veya buharlaştırılan malzemeden farklı yeni bir ürün elde etmek için kimyasal reaksiyonla depolama şeklinde de olabilir. Kimyasal reaksiyonlar, sıcak yüzeylerin üzerinde veya yakınında meydana gelir ve ürünler, yüzey üzerine ince film olarak depolanır (Balbağ 2009). Şekil 2.1 de kimyasal buhar biriktirme sisteminin basit şematik gösterimi verilmiştir.



**Şekil 2.1** Kimyasal buhar biriktirme (CVD) sisteminin basit şematik gösterimi (Karlıoğlu 2007).

Bu yöntemde, biriktirilmesi istenen malzeme, altlık üzerine kimyasal buhar olarak biriktirilir. Bu buhar, altlık üzerinde kimyasal olarak parçalanarak film tabakası oluşturulur. Reaksiyon sonucu çıkan, istenmeyen ürünler buhar olarak sistemden uzaklaştırılır.

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde kaplamanın, kaplanacak yüzeyin her bölgesini homojen olarak kaplaması ve bunun sonucu olarak kaplanmayan bölge bırakmaması yöntemin en önemli avantajıdır. Ayrıca kimyasal buhar biriktirme yönteminde kaplama parametreleri değiştirilerek kaplama stokiyometrisi, kristal yapısı, morfolojisi ve kristal yönelmesi, kontrol altında tutulabilir. Diğer yöntemlerle kaplama yapılması zor olan bazı yüksek ergime noktasına sahip elementler (tungsten, tantal, karbon gibi) içeren kaplamalar bu yöntem ile kaplanabilirler. Yöntemin bir diğer avantajı da çok yüksek saflıkta depolamaya imkân vermesidir. Kimyasal buhar biriktirme yönteminde göreceli olarak yüksek depolama oranları avantaj iken genellikle diğer pek çok tekniğe göre yüksek vakuma gerek duymaması sistemin dezavantajıdır (Bunshah 2001, Pierson 1992).

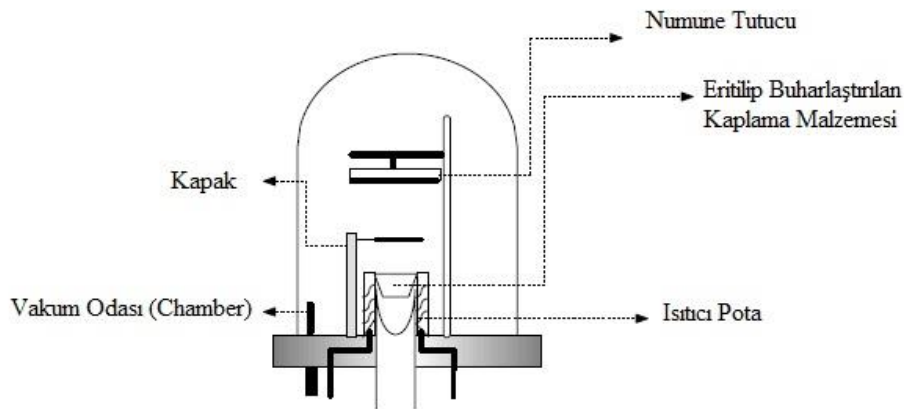
CVD yönteminin dezavantajları, her altlık üzerine depolama yapılamaması (600 °C ve üzeri sıcaklıklardaki kaplama altlıkları için uygundur) ve yüksek buhar basıncının elde edilememesidir. Kaplama için kullanılan reaktif gazlar çoğu kez zehirleyici yanıcı özelliklerinden dolayı tehlikeli ve pahalıdır. Ayrıca reaksiyon sonucu oluşan bileşenler altlık malzemesine etki edebilmektedir (Geckinli 1992, Pierson, 1992).

### 2.3 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi ( FBB)

FBB tekniği, vakum altında bulunan malzemelerin buharlaştırılarak veya sıçratılarak atomların yüzeyden kopartılması ve kaplanacak olan alt malzeme yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanır. FBB prosesleri ikiye ayrılır. Bunlar, buharlaştırma ve sıçratma yöntemleridir. Bu iki yöntemde de kaplanan kütleye negatif potansiyel (Bias) uygulanması ve atomların iyonize edilmesi durumunda yöntemde iyon kaplama adı verilmektedir (Türküz 2006).

#### 2.3.1 Termal Buharlaştırma Tekniği

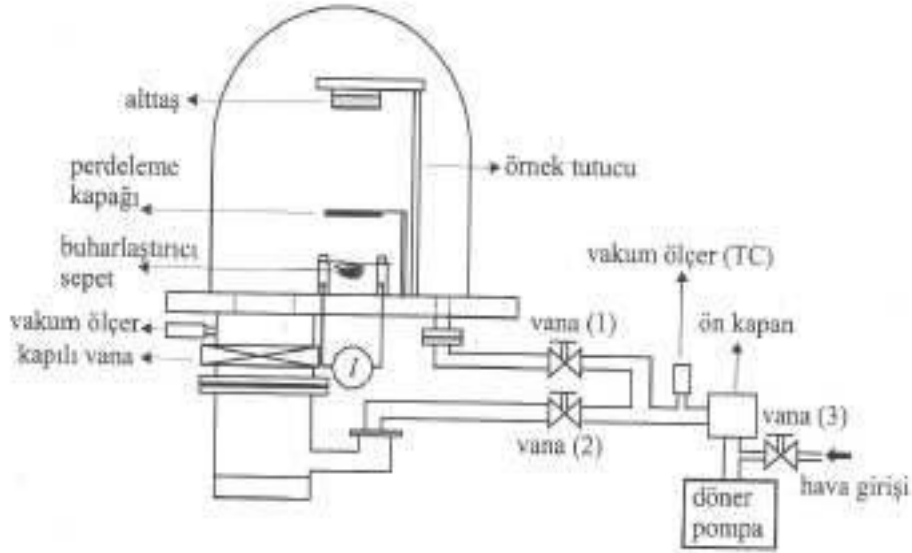
Termal buharlaştırma tekniği, çoğunlukla metal tabanlı malzemelerin elektrik akımı ile ısıtılarak, yüksek vakum ( $10^{-7}$  mbar) altında, buharlaştırılarak kaplama işleminin yapıldığı bir ince film üretim yöntemidir (Tarımcı ve ark. 2006). Şekil 2.2.'de termal buharlaştırma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi ( Huş 2006).

Termal buharlaştırma yönteminde kaplama malzemesi olarak kullanılan metal malzeme, erime sıcaklığı oldukça yüksek olan metalden, örneğin volfram (tungsten), yapılmış bir pota vakum odasının içine yerleştirilir. Potanın bağlı olduğu iki elektrot arasında belli bir elektrik gerilimi uygulanmak suretiyle potadan akım geçirerek ısıtma işlemi sağlanır. Pota, üzerinden geçen büyük elektrik akımından dolayı içindeki kaplama malzemesini buharlaştıracak kadar ısınır. Sıcaklığın artmasıyla buharlaşma başlar ve daha hızlı bir şekilde vakum odası içinde her doğrultuda buharlaşır. Bu sayede vakum odası içinde herhangi bir yere yerleştirilen altlık üzerine, istenilen kalınlıkta buharlaşan malzemenin kaplama işlemi yapılabilir (Tarımcı ve ark 2006, Akan 2003).

Bu kaplama metodunda, ısıtma işlemi pota yardımıyla dolaylı olarak yapıldığından dolayı bu şekilde buharlaştırmanın, bir takım olumsuzlukları vardır. Örneğin buharlaşma sıcaklıkları çok yüksek olan malzemeler olan Wolfram (W), Tantal (Ta) ve Molibden (Mo) gibi metalleri buharlaştırmak oldukça güçtür. Ayrıca ısıtma işlemi dolaylı olarak yapıldığı için pek verimli bir ısıtma yapılamamaktadır.



**Şekil 2.3** Termal buharlaştırma sistemin farklı bir tasarımdaki şematik gösterimi (Tarımcı ve ark 2006).

Potanın ısınması ile birlikte, ısınma çok fazla olduğundan, buharlaşma esnasında sıcak potanın yakınında bulunan, film kaplanacak altlık malzemeyi da ısıtabileceğinden, sıcaklığa duyarlı altlıklar üzerine ince film oluşturmak bu yöntemle pek pratik ve uygun değildir. Yöntemin bir diğer olumsuzluğu ise ısınan pota ile buharlaştırılacak kaynak malzemenin reaksiyona girebilmesi riski yüzünden oluşan film bünyesinde safsızlığın artabilme olasılığıdır (Tarımcı ve ark 2006).

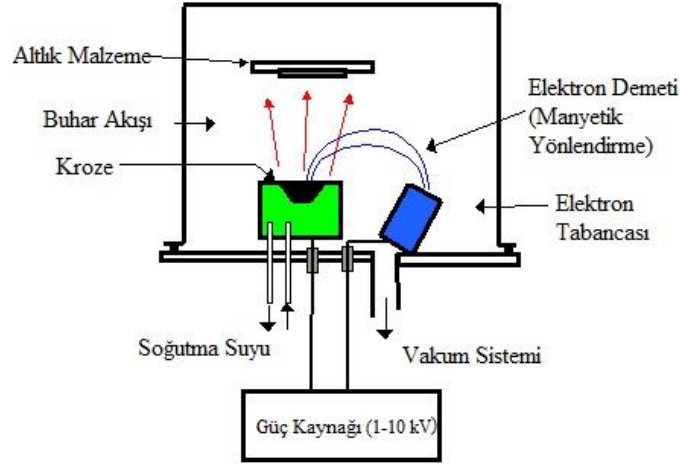
### **2.3.2 Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği**

İnce film üretim işleminde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı yöntemdir. Bu metot prensip olarak termal buharlaştırma yöntemi ile yakın özelliklere sahiptir. Metodun en belirgin farkı ise buharlaştırılacak malzeme dolaylı olarak değil de direkt elektronlar tarafından aktifleştirilir. Bu kaplama metodunda kaynak hedefleri ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilir. Buharlaştırılacak kaynak malzemeyi ısıtma işlemi termal sistemde pota bünyesinden geçirilen akım yerine pota içerisine yerleştirilmiş hedef malzemenin yüzeyine odaklanıp hızlandırılmış elektron demeti yöneltilerek yapılmaktadır. Hedef malzemeyi ısıtma işlemi elektron demeti ile yapıldığından, elektron demeti daha da odaklanarak hedef malzemeyi etkin biçimde ve oldukça homojen bir şekilde ısıtıp yüzeyden buharlaştırmak mümkündür.

Vakum odasının içerisinde potada buharlaşan atomların ortalama serbest yolları, altlık ve pota arasındaki mesafeden daha büyük ya da onunla kıyaslanabilir düzeydedir (Roth 2001). Termal buharlaştırma tekniğindeki gibi bu teknikte de buharlaştırılacak materyal, erime sıcaklığı yüksek bir metalden yapılmış bir pota içine yerleştirilmiştir. Pota içindeki materyal, potanın altında bulunan filaman tarafından yayınlanan ve bir manyetik alanla yönlendirilen enerjik elektronlarla bombardıman edilerek ısıtılır ve buharlaştırılır. Potanın yanındaki yaklaşık 10 mT civarındaki bir manyetik alan, elektron demetinin filamandan  $270^\circ$  'lik bir yörünge izlemesini sağlar. Bu yörünge, bir anot gibi görev yapan buharlaştırıcı pota içindeki erimiş metale ulaşmaya kadar elektronların enerji kazanmasına yetecek bir yörüngedir. Sıcak filamandan yayınlanan safsızlıklar buharlaşan metale ya da bu geometrideki altlığa ulaşmaz. Bu nedenle

filaman potanın altına konmuştur. Bu durum Şekil 2.4' de görülmektedir (Watchman at al. 1993, Akan 2003).

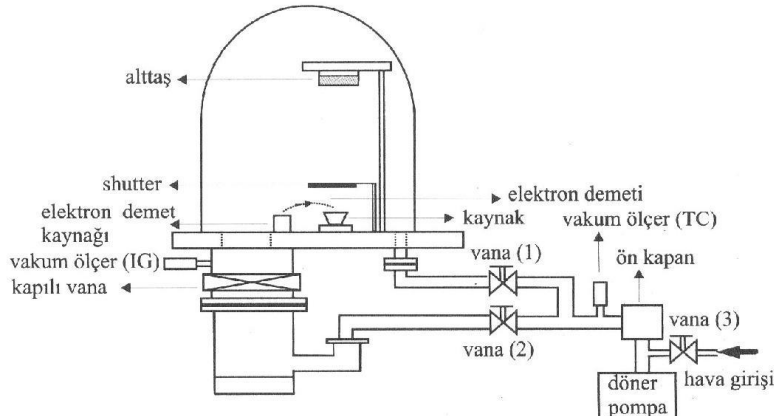
Vakum altında çalışan elektron demetli buharlaştırma ve kaplama sisteminin farklı bir dizaynı Şekil 2.4 de gösterilmiştir (Roth 2001).



**Şekil 2.4** Elektron demetli buharlaştırma sisteminin farklı bir tasarımıdaki şematik gösterimi (İnt. Kyn 3).

Elektron demetli buharlaştırma sisteminde kaynak pota sıvı ile soğutulduğundan pota metalinin yüksek sıcaklık nedeniyle buharlaşması önlenerek film üzerinde istenilmeyen safsızlık oluşumunun da önüne geçilmiş olur. Kaynak metalin ısıtılması direk yapıldığından buharlaşma sıcaklığı yüksek olan hedef malzemelerin bu yöntemle buharlaştırılması sağlanmış olur ve yüksek erime sıcaklıklarına sahip pota bulma sorununu da ortadan kaldırılmış olur. Şekil 2.5'te elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi görülmektedir (Tarımcı ve ark 2006).

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

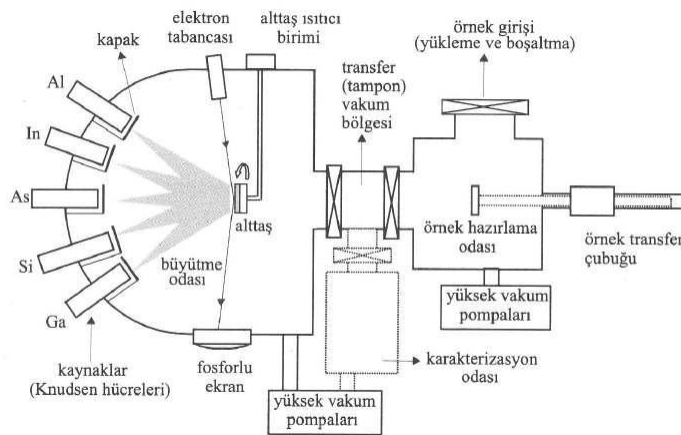


Şekil 2.5 Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi (Tarımcı ve ark 2006).

### 2.3.3 Moleküler Demetli Epitaksi Metodu (Molecular beam Epitaxy, MBE)

Epitaksi, anlam olarak üzerinde büyütülme yapılan altlık malzemenin kristal yapısını ve yönelimini koruyacak biçimde gerçekleştirilen ince film büyütme yöntemini ifade eder. Moleküler demetli epitaksi yöntemi, oldukça yüksek vakum ortamında gerçekleştirilen ( $>10^{-11}$  mbar), oluşacak film kalınlığının çok hassas bir şekilde kontrol edilebildiği, oldukça gelişmiş tek kristal büyütme yöntemidir.

MBE tekniği ile genellikle GaAs, GaN, GaAlAs, InP gibi III-V, II-VI türü yarıiletkenler olarak bilinen tek kristal ince filmler ve bu filmlerin değişik katmanlarının üst üste büyütülmesiyle optik dalga kılavuzları, opto-elektronik devre elemanları, kuantum kuyu lazerler, süper örgülü yapılar, modülatörler gibi karmaşık hetero yapıların üretimi yapılabilmektedir. Ayrıca değişik türden metal filmleri ve manyetik bileşikleri de yüzey özelliklerinin incelenmesi için bu teknikle büyütme mümkündür (Tarımcı ve ark 2006). Şekil 2.6' da bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.6 Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi (Tarımcı ve ark 2006).

Moleküler Demetli Epitaksi metodunun birçok avantajlarından belli başlıları şu şekilde sıralanabilir (Tarımcı ve ark 2006);

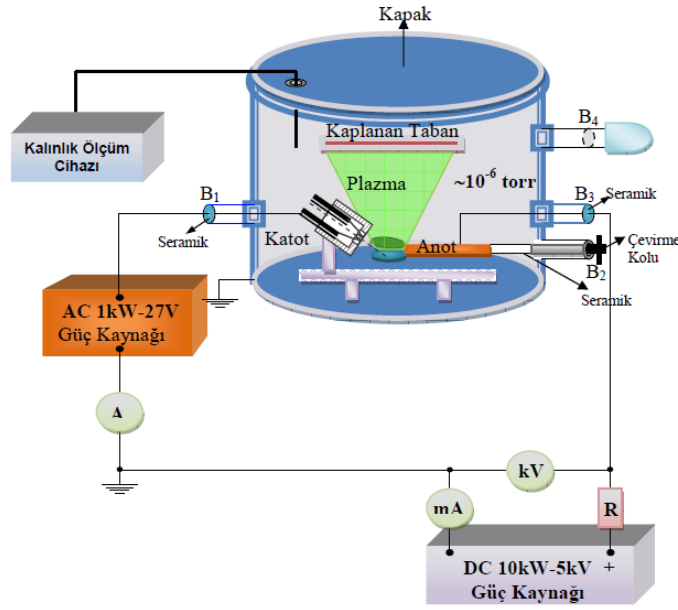
- Benzer tekniklerle karşılaştırıldığında nispeten düşük sıcaklıklarda kristal büyütme,
- Çok hassas film kalınlık kontrolü,
- Daha keskin film ara yüzeyleri elde etme,
- Tek sıra molekül düzeyinde film büyütme hassasiyetine sahip olma,
- Büyütme esnasında film kalınlığının ve optik parametrelerin ölçülebilmesi,
- Katkılama (dopping) ve özellikle de delta katkılama (filmin çok küçük bir bölgesinin katkılanması işlemi) uygulanabilmesi

MBE tekniği ile üretilecek ince filmlerin bileşimini ve kalitesini belirleyen birkaç önemli parametre vardır. Bunlar vakum kalitesi, kaynaktan gelen molekül akısı, filmlerin büyütüldüğü altlığın sıcaklığı, kullanılan molekül kaynaklarının saflığıdır. Gelen molekül akısı ve altlık sıcaklığı ile uygun bir şekilde ayarlanarak istenilen bileşenlerde filmler elde edilebilir.

MBE yönteminin dezavantajları da mevcuttur. Proses, çok yüksek vakum altında yapılmadığı takdirde istenmeyen atomlar filmin bünyesine karışabilir. Üretilmesi yapılacak kaynak malzemenin saflığının çok yüksek olması gerekmektedir. MBE düzeneklerinde kullanılan çok çeşitli yüksek vakum pompalarının sistemde film büyütme işlemi yapılmadığı durumlarda dahi sistem vakumunun korunması ve sistemin temizliği açısından sürekli çalıştırılması gerekir. Bu ise düzeneklerin hem kurulmasının hem de işletilmesinin oldukça masraflı olmasına neden olmaktadır. Kristal büyütme hızının çok yavaş olmasından dolayı seri üretim için ideal olmaması bir diğer olumsuzluktur (Tarımcı ve ark 2006).

#### **2.3.4 Termiyonik Vakum Ark (TVA)**

Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi, yüksek vakumda ( $\sim 10^{-6}$  Torr) anot materyalinin plazmasının üretilebilmesi için geliştirilen bir yöntemdir. Şekil 2.7 de TVA sistemi şematik olarak gösterilmiştir (Demirkol 2008).



Şekil 2.7 Termiyonik vakum ark sisteminin şematik çizimi (Demirkol, 2008).

TVA tekniği ile yüksek vakum (high vacuum) ya da çok yüksek vakum (ultra high vacuum) şartlarında çalışmak mümkündür. Bu ise kaplamanın kalitesini artırarak oksitlenme veya başka gazlardan filme gelebilecek etkileri en aza indirmektedir. Diğer tekniklerin bazılarında yüksek vakum şartlarına ulaşulamamaktadır. TVA tekniğinde kaplama yaparken bir tampon gaza ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylelikle diğer tekniklere göre çok daha iyi vakum şartlarında ve kullanılan gazın safsızlıklarına rastlanmadan sadece kaplama yapılacak materyalin yüksek saflıkta kaplamasının yapılması mümkün hale gelmektedir. Çünkü özellikle saçtırma (sputter) tekniğinde mutlaka bir tampon gazın kullanılması gerekmektedir. TVA tekniği ile altlık olarak plastik dâhil herhangi bir altlık kullanılabilir. Bağımsız güç kaynakları ile eşzamanlı olarak birden fazla materyalin depolanması TVA tekniği ile gerçekleştirilebilir (Balbağ 2009).

TVA sisteminde başlangıç deşarjın meydana gelebilmesi için AC düşük voltaj güç kaynağı ile katot filamanı, istenilen akımda ısıtılabilir. Böylece katot filamanından ısı elektron yayılımı sağlanır. Katot elektrotun bir ucu, düşük voltaj güç kaynağına bağlıdır. Elektrotun diğer ucu elektrotların tutturulduğu vakum odasının üzerine

bağlanmıştır. Katodun yerleştirilmiş olan Wehnelt silindiri de negatif potansiyele bağlanmıştır. Katot filamanından elektron yayılımı gerçekleştikten sonra katot ile anot elektrotu arasına yüksek potansiyel uygulanır. Wehnelt silindiri yardımıyla, katottan yayınlanan elektronların anot üzerine hızlandırılmış bir şekilde odaklanması sağlanır. TVA sistemini diğer anot malzemesi buhar plazması üreten tekniklerden ayıran en önemli özelliği de budur (Balbağ 2009).

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

Anot ve katot arasına uygulanan potansiyel arttırılmaya devam edilirse, elektrotlar arası uzayda, uygulanan voltajın uygun değerinde (ateşleme voltajı değerinde), anottaki materyalin buharında parlak bir deşarj oluşur. Bu anda elektrotlar arasındaki voltaj birden azalır, akım ise aniden yükselir. Oluşan anottaki materyalin buharının plazması, anot üzerinden sürekli bir şekilde vakum çeperlerine doğru yayılır. Buharlaşan kaynak malzeme istenilen altlık üzerine istenilen kalınlıktan çok kısa sürelerde kaplanabilir (Kokkokoğlu 2010).

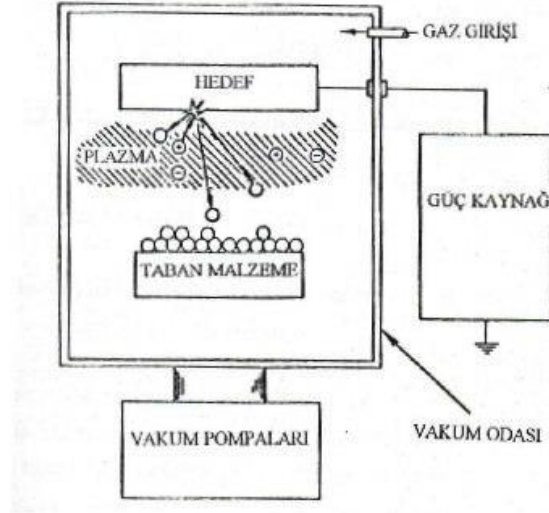
### **2.3.5 Saçtırma (Sputtering) Tekniği**

Anlam olarak saçtırma (sputtering) katı bir yüzeyden atomları mekanik olarak söküp, koparma işlemine verilen isimdir (Tarımcı ve ark 2006). Saçtırma işlem olarak bir metal yüzeyine çarpan iyonların bu metalin yüzeyinden atomlarını koparması işlemidir (Campbell 1978). Bu prensiple, katı bir kaynak, yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek kaynaktan kopartılan atom ve/veya moleküller bir altlık üzerinde ince film oluşturur. Bu yöntem kullanılarak vakum teknolojisinde ince film kaplama işlemleri geliştirilmiştir (Tarımcı ve ark. 2006, Johnson 2005).

Saçtırma prensibi, diğer metal buharlaştırma tekniklerine göre daha hızlı ve pratik olduğu için endüstriyel anlamda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu kaplama yönteminin en geniş kullanıldığı yerler; bina kaplama yüzeylerinde kullanılan ve kızıl ötesi ışımayı yansıtan camların, yansıma önleyici gözlük camlarının, görünür bölge

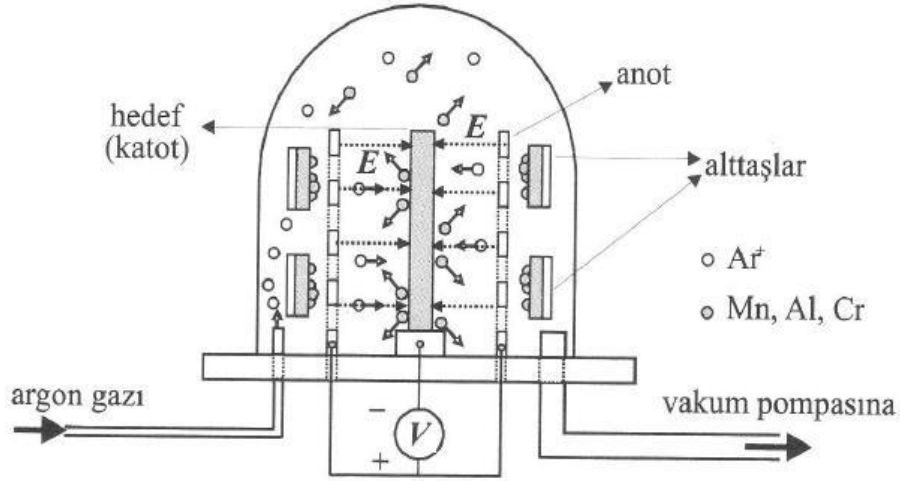
yansıtıcı aynaların ve filtrelerin vb. kaplanması olarak sayılabilir.

Kaplama işlemi saçtırma işleminde soy gaz (He, Ar, vb.) ortamında yapıldığı için işlem basıncı diğer benzer sistemlere nispeten daha yüksektir.



**Şekil 2.8** Saçtırma işleminin şematik gösterimi (Türküz 2006).

Saçtırma işlemi Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilmiştir. Saçtırma işlemi için öncelikle sistem vakum altına alınır ( $5.10^{-2}$  Torr). Elektrotlar arasında bir soy gaz pompalanır. Katot ve anot arasında uygulanan potansiyel veya güç ile bu elektrotlar arasında plazma meydana getirilir. Plazmanın meydana gelmesiyle, katodun ön kısmında bir potansiyel düşümü oluşturur. Pozitif iyonlar (katyon) plazma içindeki bu potansiyel değişiminde katoda doğru hızlanırlar ve bu hızla kaynak metal olan katoda çarparlar. Kaynak metal katoda çarpan pozitif iyonlar ikincil elektron yayılımı gerçekleştirdiği gibi bunun yanında katodun bölgesel olarak ısınmasına ve aşınmasına sebep olur. Bu aşınmaya paralel olarak katot yüzeyinin bu bölgelerinden bir süre sonra nötral metal atomları kopmaya başlar. Kopan bu atomlar katodun hemen karşısında bulunan anotun elektrotun üzerindeki altlık üzerine kaplanırlar (Thornton 1983, Akan 2003). Şekil 2.9' da saçtırma sisteminin şematik gösterimi verilmektedir.



**Şekil 2.9** Saçırma (Sputtering) sisteminin şematik gösterimi (Tarımcı ve ark. 2006).

Farklı tür saçırma metotları mevcuttur. Bunlar, radyo frekansı(RF), doğru akım(DC), DC magnetron saçırma ve RF magnetron saçırma yöntemleridir. Saçırma işlemi burada kullanılan güç kaynağının cinsine göre, hedef malzemeye ve arzulanan film büyüme oranına göre değişik isimlerle anılır (Tarımcı ve ark. 2006, Johnson 2005). Örneğin elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir doğru akım üreten güç kaynağı olduğunda DC saçırma adını alırken, elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir Radyo Frekans aralığında frekansa sahip voltaj titreşimlerini üreten kaynak ise elde edilen işlem RF saçırma olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanında elektrotlar arasındaki pozitif iyon sayısını arttırmak adına, kaynak metal katodun arka kısmına mıknatıs yerleştirilir. Bu yöntem, Magnetron Saçırma Yöntemi olarak adlandırılır (Akan 2003, Johnson 2005).

Saçırma yönteminde verim, hedeften kopartılan partikül sayısı ile hedefe malzemeye çarpan partikül sayısına oranı olarak tanımlanır. Saçırma verimi; hedef materyale bombardıman iyonlarının kütlelerine, bombardıman iyonlarının enerjisine, gönderilen iyonların yönelimine, açısına ve basınca bağlıdır.

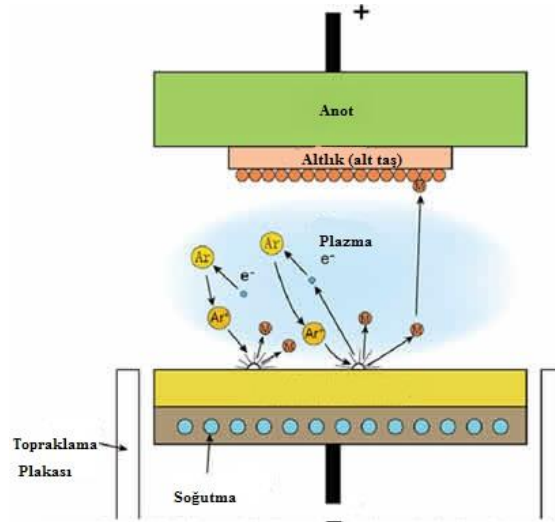
Saçırma metodunun uygulama alanları ise:

a-) İnce film depolama: Koruyucu kaplamalarda, dekoratif kaplamalarda, mikro elektronik aygıtlar

- b-) Etching (dağlama): Mikro elektroniklerin aygıtların tasarımında  
c-) Yüzey İşleme: Aşındırma, sertleştirme

### 2.3.5.1 Doğru akım (DC) saçtırma tekniği

Doğru akım saçtırma tekniğinde hedef ve altlık malzeme paralel iki elektrota yerleştirilir. Elektrotların yani altlık ve hedefin bulunduğu vakum odası bir soy gazla doldurulur. Sistem istenilen çalışma basıncına ulaştığında elektrotlara doğru akım (DC) uygulanır. Reaktör çemberi içindeki serbest elektronlar elektrik alan tarafından hızlandırılırlar. Bu enerjik serbest elektronlar Ar atomlarıyla çarpışırlar. Uyarılmış Ar atomları gaz deşarjını oluşturur. İyonize olmuş Ar atomları ise ikincil elektronları oluşturur. İkincil elektronlar yukarıdaki süreci devam ettirir (Chenn 2004). DC saçtırma tekniği ile ince film üretiminin şematik olarak gösterimi Şekil 2.10 da verilmiştir.



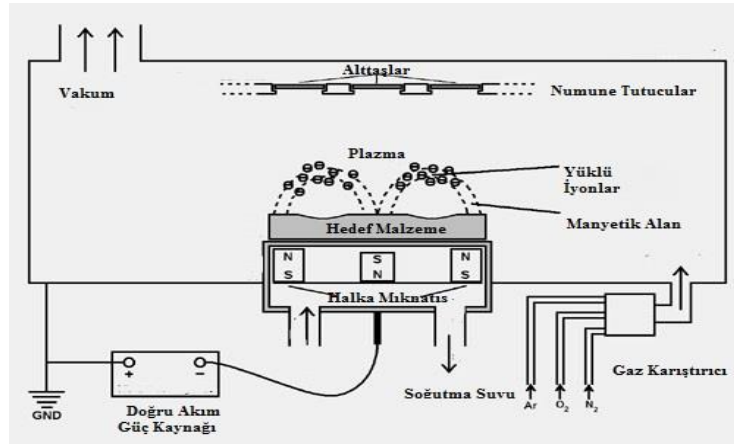
Şekil 2.10 DC saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (İnt Kyn.4).

### 2.3.5.2 Doğru akım (DC) magnetron saçtırma tekniği

Doğru akım magnetron kaplama yönteminde radyo frekansı yerine doğru akım güç kaynağı kullanılmaktadır. DC saçtırma tekniği ile aynı prensipte çalışır. Sistemde Doğru akım saçtırma tekniğine ek olarak plazmadaki iyonların yönlendirilmesini sağlamak için mıknatıslar kullanılır. Sistemin avantajı düşük basınçlarda plazma oluşturulabilinir. Oluşturulmak istenen film özelliğine göre uygulanabilecek bir tekniktir (Tüzemen

2007). Şekil 2.11 de doğru akım magnetron kaplama sisteminin şematik gösterimi bulunmaktadır.

Bu yöntemle, metal veya ametal katı bir kaynak, yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek kaynaktan kopartılan atom ve/veya moleküller bir altlık üzerinde ince film oluşturur. Sistemin doğru akım saçtırma tekniği ile en önemli farkı doğru akım tekniğinde sadece elektriği ileten hedeflerden atom kopartılırken RF tekniğinde metal olmayan hedef malzemeler kaplama malzemesi olarak kullanılabilir.



Şekil 2.11 DC magnetron saçtırma sisteminin şematik gösterimi (İnt Kyn. 5).

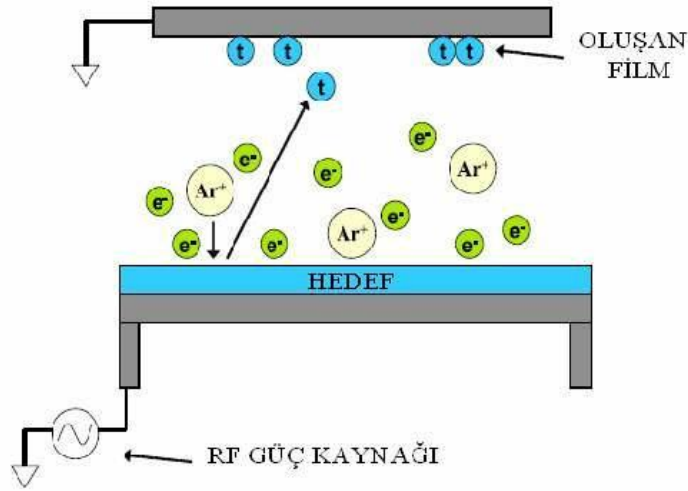
### 2.3.5.3 Radyo Frekans (RF) saçtırma tekniği

Radyo Frekans (RF) saçtırma sistemini vakum odası, vakum pompası, radyo frekansı güç kaynağı, eşleştirme ünitesi olmak üzere dört ana eleman oluşturur (Grill 1993, Johnson 2005).

Sistemde vakum pompasının işlevi vakum odasını düşük basınç değerlerine düşürmektir. Vakumlanmanın nedeni; vakum odasını atmosferik diğer gazlardan temizlemek ve kaplama işlemi sırasında iyonize olmuş parçacıkların ortalama serbest yolunu arttırarak daha yüksek enerjili çarpışmalar elde etmektir. Bu sayede kaplama yapılması istenen malzemenin istenilen özelliklerdeki kalitesi ve saflığı arttırılabilir (Grill 1993).

Radyo frekansı saçırma sisteminde güç kaynağı ile hedef elektroda verilen potansiyel vasıtasıyla elektromanyetik dalgalar oluşturulur. Elektromanyetik dalga ise elektrotların her yarım potansiyel çevriminde katodun anot, anodun katot görevi yapmasıyla meydana gelir. Oluşan elektromanyetik dalgalar eşleştirme (matching) ünitesi yardımıyla dengelenerek vakum odası içinde titreşim frekansı meydana getirerek hedef malzemenin iyonize olmasını sağlar. Frekansın yüksek tutulmasıyla plazma deşarjını devamlı hale getirir (Grill 1993, Johnson 2005).

Sistemde meydana gelen olayı bir duvar yüzeyine çelik bilyelerin fırlatılmasına benzetebiliriz. Çelik bilyelerin duvara her çarpmasında bilyeler duvardan ufak parçacıklar koparırlar. Kopan her parça zemine düşer. Bu durumun sürekliliği halinde zeminde duvar parçalarının oluşturduğu ince katmanlar oluşur. Çelik topu iyonlaşmış atomlar, somut duvarı ise hedef materyal olarak düşünebiliriz. RF saçırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi Şekil 2.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.12 RF saçırma sistemiyle film oluşumu (Kokkokoğlu 2010).

RF saçırma yöntemi ile depolanabilen bazı yalıtkan ve yarıiletken malzemeler şunlardır:

Oksitler: ZnO, CdO, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, PtO, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

Yarıiletken: Si, Ge

II-VI grubu bileşikler: CdS, CdSe,

III-V grubu bileşikleri: GaSb, GaAs, GaN ve AlN

IV-VI grubu bileşikleri: PbTe

Ferroelektrik bileşikler:  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

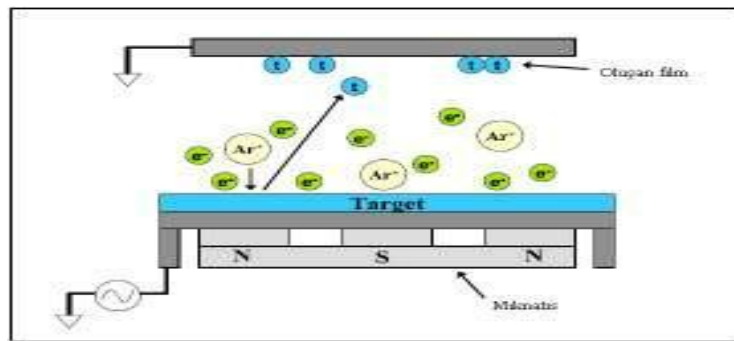
Bariyer yarı iletkenler: SiC

#### 2.3.5.4 Radyo Frekans (RF) Manyetik Saçtırma

Bu çalışmada AlN ince film üretimi için RF (Radyo Frekansı) saçtırma yöntemi kullanılmıştır. Bu tekniğin önemli olan tarafı saçtırma işleminde RF güç kaynağının kullanılmasıdır.

Bu yöntemde, 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 dairesel yörünge boyunca hareket ederler. Elektronların yolları uzadığı için hareketleri boyunca daha çok sayıda çarpışma yaparak hedef üzerinde iyon konsantrasyonunu arttırırlar. Bu sayede hedeften atom koparma işlemi daha hızlı bir şekilde gerçekleşir ve aynı zamanda daha düşük basınçlarda plazma oluşturulabilir.

Bu yöntemle ayrıca hedeften kopan elektronların altlığa ulaşması manyetik alan sayesinde önlediğinden altlık üzerindeki filmin ısınması da bir dereceye kadar önlenmiş olur. Isıya duyarlı örnekler için bu yöntem özellikle tercih edilmektedir (Tarımcı ve ark. 2006, Johnson 2005). RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi Şekil 2.13'da gösterilmiştir.



Şekil 2.13 RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson 2005).

Saçtırma ile kaplama işlemlerinde radyo frekans (RF) kullanımının avantajları; Yalıtkan malzemelerin depolanması için DC saçtırma yöntemi ile ince film depolama uygun değildir. Bunun nedeni hedef malzeme yüzeyinde oluşan pozitif iyon yükü akışının geril çevrilmesi ve bu durumun saçtırma sürecini durdurmasıdır. RF saçtırma metodunda ise iletken elektrotların kullanımının yanında yalıtkan elektrotlarda kullanılabilir. Dc saçtırma yönteminde plazmanın oluşumu için gereken yüklenme kutuplar arası potansiyel farkından kaynaklanmaktadır. RF magnetron yönteminde ise RF frekansı, plazma deşarjını sürdürmek için yeteri kadar yüksektir. İyonlardan daha çok elektronun her elektrotta toplandığı için elektrotlarda negatif yük birikimine sebep olur. Böylece, her iki elektrot, plazma voltajına ( $V_p$ ) göre negatif olan sabit bir DC potansiyel ile devam ettirilmelidir. Pozitif bir  $V_p$  potansiyeli, daha yavaş pozitif iyonların ulaşımına yardım eder. RF güç uygulanması nedeni ile hedefin negatif beslenmesi ve hedeften devamlı saçtırma yapılması RF sinyaline bağlı olarak sürekli olarak değişir.

### **3. MATERYAL VE METOD**

#### **3.1 Giriş**

Bu çalışmada AlN ince filmler RF manyetik saçtırma yöntemi ile plazma ortamında oluşturulmuştur. Çalışmada AlN bileşiği argon plazması yardımıyla hedef metal üzerinden alüminyum atomları kopartılması ve vakum odasına gönderilen azot gazıyla reaksiyona girip AlN bileşiği halinde oluşturulması çalışılmış ve oluşan bileşik ince film halinde cam altlık üzerinde depolanmıştır. Oluşturulan bu AlN ince filmlerin morfolojik mikro yapı ve yüzey özellikleri incelenerek, sistem çalışma gücü farklılıklarının ve kaplama süresinin ince film özellikleri üzerinde etkisi incelenmiş ve deneysel parametrelerinin değişiminin film bünyesinde neden olduğu farklılıklar belirlenmeye çalışılmıştır.

#### **3.2 Kullanılan Deneysel Sistem**

Bu çalışmada sabit gaz karışım oranı (% 50 Ar, % 50 N<sub>2</sub>), vakum basıncı ve sabit çalışma basıncında RF manyetik saçtırma yöntemi kullanılarak, farklı çalışma gücü (100-250 W) ve sürelerde (30, 45 ve 60 dk) AlN (alüminyum nitrür) ince filmleri cam altlıklar üzerine biriktirilerek depolanmıştır.

RF manyetik saçtırma sistemin genel anlamda beş ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

1. Vakum odası
2. Vakum pompası
3. Gaz karıştırıcı
4. RF güç kaynağı
5. Eşleştirme ünitesi
6. RF manyetik tabanca

Çalışmanın başlangıcında öncelikle, vakum pompası vasıtasıyla vakum odası (vacuum chamber) ve gaz karıştırıcısının 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 alüminyum, Rf manyetik tabancanın üzerine yerleştirilir. Kaplanacak altlık malzemesi cam lamel ise uygun yüzey temizlemesi yapıp karşı topraklama elektrotuna yerleştirilir.

Deneysel çalışmanın devamında vakumlanan gaz karıştırıcının içine Ar ve N<sub>2</sub> gazı belirlenen sabit oranda depolanır. Gazların oranları hassas akış vanaları ile sabitlenmesi gerekmektedir. Ar ve N<sub>2</sub> gazları istenilen kaplama parametrelerine bağlı olarak her seferinde sabit oranda, (%50Ar + %50N<sub>2</sub>) olarak depolanmıştır. İstenilen basınç değerine düşürülen vakum odası içine kontrollü olarak Ar ve N<sub>2</sub> gazları gönderilmiştir.

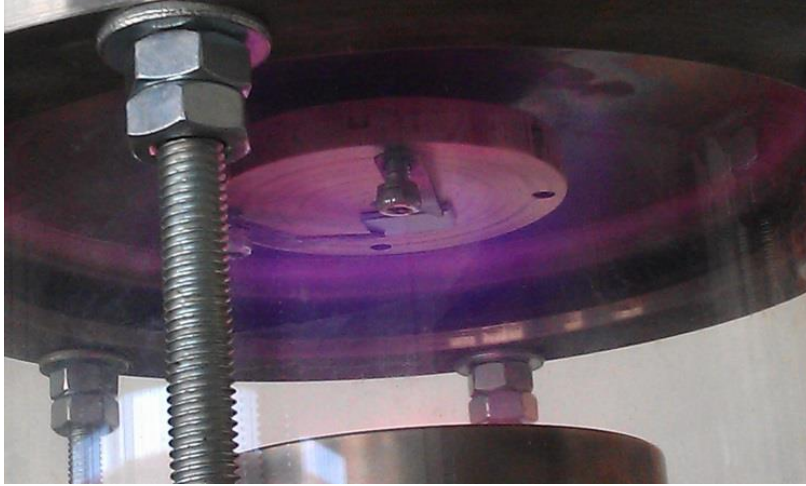
Çalışmanın devamında RF güç kaynağından gönderilen radyo frekansı eşleştirme ünitesi sayesinde dengeli bir dalgalı akım gücü oluşturarak oluşturulan güç RF manyetik tabancaya iletir. Manyetik tabancada elektrik akımı ve buna eşlik eden manyetik alan ile Ar gazının plazması oluşması sağlanır.

Temel düzeyde eşleştirme (matching) ünitesi iki kapasitör arasına bir indüktör yerleştirilerek oluşturulan bir sistemdir. Sistemin asıl fonksiyonu RF akımının dalgalı bir akım olması nedeniyle sistem iç direncinde (empedans) seyreden değişimler neticesinde güç değişimlerini 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 su sistemiyle kaplama süreci boyunca soğutulmaktadır. Şekil 4.1 de RF saçtırma yöntemiyle AlN ince film üretmek için kullanılan deney düzeneği gösterilmiştir.



**Resim 3.1** RF Manyetik saçırma sisteminin fotoğrafı.

Bu çalışmada, vakum odası içine hedef malzeme olarak Al (alüminyum) yerleştirilmiştir. Vakum odasının içinde Ar ve N<sub>2</sub> gaz karışımının plazması oluşturularak hedef materyal (Al) bombardıman edilip iyonlaştırılmış ve N<sub>2</sub> gazı ile materyal reaksiyona girerek lamel altlık Şekil 4.2 üzerine AlN bileşiği depolanarak ince filmler üretilmiştir.



**Resim 3.2** Topraklama elektrotu üzerine tutturulmuş lamel altlık.

Şekil 4.3.'de ise RF saçırma sisteminin içerisindeki kaplama malzemesi olarak kullanılan alüminyumun 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 malzemeden imal edilmiştir.



**Resim 3.3** RF Manyetik Tabanca Hedef elektrot.

Şekil 4.4' de ise RF manyetik saçırma yöntemiyle AlN ince film üretim süreci esnasında çekilen fotoğraf gösterilmiştir.



**Resim 3.4** RF manyetik saçırma ile film üretimi esnasında vakum odası.

### 3.3 AlN İnce Film Üretimi Deneysel Parametreleri

RF saçırma yöntemi ile AlN ince filmleri elde etmek için kullanılan deneysel parametreler Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1** Deneysel parametreler

Ar	N <sub>2</sub>	Vakum Basıncı (mbar)	Çalışma Basıncı (mbar)	Çalışma Gücü (W)	Süre (dk)
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	100W	30
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	100W	45
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	100W	60
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	150W	30
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	150W	45
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	150W	60
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	200W	30
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	200W	45
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	200W	60
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	250W	30
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	250W	45
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	250W	60

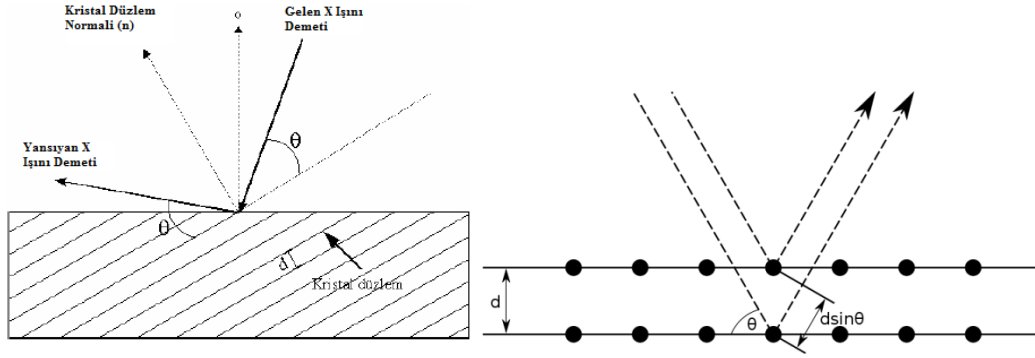
### 3.4 Deneysel Karakterizasyon Teknikleri

Bu bölümde üretilen AlN kaplamaların minerolojik, morfolojik ve optik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan karakterizasyon teknikleri hakkında bilgi verilecektir

#### 3.4.1 X Işınları Kırınımı Yöntemi (XRD)

X-ışınları bir kristal üzerine gönderildiğinde kristal düzlemindeki atomlar tarafından saçılır. Bu etkileşim ve X ışınlarının kırınımına neden olur. Bir örnekle açıklamak gerekirse; eş aralıklarla sıralanmış paralel örgü düzlemleri üzerine X-ışınlarının  $\theta$  açısıyla geldiğini varsayalım (Şekil 3.1). Bu durumda ardışık iki kristal düzlemden yansıyan X ışınları arasındaki mesafe  $2d\sin \theta$  olur. Burada “d” kristal düzlemler arası

mesafedir. Yapıcı girişim oluşması için, bu yol farkları dalga boyunun tam sayı katları olmalıdır ( $2d \sin \theta = n\lambda$ ,  $n=0, 1, 2, 3\dots$ ). Bu durum Bragg yasası olarak tanımlanır (Çörekçi 2008).



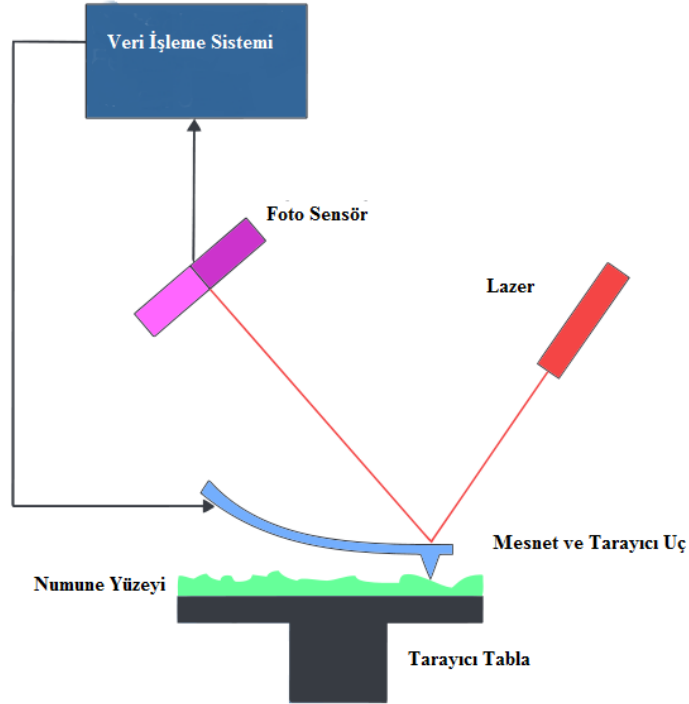
Şekil 3.1 XRD saçılma geometrisi ve Bragg yasası (İnt. Kyn. 2).

Üretilen AlN ince film numunelerin minerolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan Bruker D8 Discover XRD cihazı kullanılmıştır. Numune analiz için numune tutucuya vakum vasıtasıyla yerleştirilir. İlk olarak  $\theta$  eksenini ve yükseklik ayarı sayesinde malzemeye gelen X-ışını demeti numune yüzeyine paralel duruma getirilir. Devamında  $\theta$ ,  $2\theta$ ,  $\chi$  ve  $\phi$  eksenlerinden yararlanılarak çalışılacak simetrik veya asimetrik düzlem kalibre edilir. Göebel ve monokromatör yardımıyla X ışını kaynağından gelen ışın demeti ayrıştırılır. Örneğin, bakır (Cu) hedef bulunan X ışını tüpü için  $K\alpha_1$  ışını yüksek çözünürlükte ayırt edilir ve tüpten ayrılır. Malzeme üzerine gönderilen X ışınlarının  $\theta$ - $2\theta$  ve  $\omega$ - $2\theta$  taramaları ile düzlemlerden gelen girişim desenleri sodyum iyot (NaI) dedektörü tarafından toplanır.

### 3.4.2 Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik kuvvet mikroskoplarının öncesinde Taramalı tünelleme mikroskobu (STM) sayesinde çok sayıda iletken malzemenin yüzey özellikleri atomik ölçekte başarılı bir biçimde incelenmiştir. Taramalı tünelleme mikroskobunun başarılı uygulamaları yeni taramalı uç (probe) mikroskoplarının geliştirilmesinin önünü açmıştır. Taramalı uç mikroskoplarından biri olan Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), malzeme yüzey topografisini angstrom mertebesinde 100-150 mikrona kadar tarayabilen bir yöntemdir. AFM 1986 yılında Binnig, Quate ve Gerber isimli bilim adamları tarafından

icat edilmiştir. Bu metod temel prensip olarak uç ile yüzey arasındaki atomlar arası etkileşimleri esas alır. AFM'nin çalışma prensibi oldukça basittir. Malzeme yüzeyi mesnetin bitimine yerleştirilmiş birkaç mikron atomik sivrilikte bir uç ile numune yüzeyi taranır Şekil 3.2. Yüzey taraması esnasında uç-yüzey arasındaki atomlar arası kuvvetler ( $10^{-11}$ ,  $10^{-6}$  N) tarayıcı ucun bulunduğu mesnette sapsmalara neden olur. Bu sapma cihaz tasarımına bağlı olarak piezoelektrik veya optik bir sensör vasıtasıyla elektriksel sinyal olarak ölçülerek numune yüzeyinde taranan alanın yüzey görüntüsü elde edilir. AFM ile incelenen numunenin yüzey topografisinden dalga modu ile malzemenin yüzey pürüzlülüğü, malzeme yüzeyindeki kusur yoğunluğu ve kusur tipleri hakkında bilgi elde edilebilir.



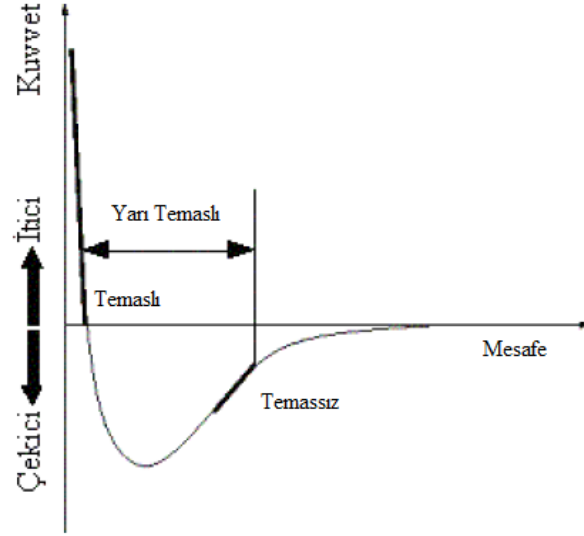
Şekil 3.2 AFM'nin çalışma prensibi (İnt. Kyn. 1).

Yöntemin avantajı Tünelleme mikroskopunda sadece iletken malzemeler incelenebilirken Kuvvet mikroskopunda iletken olmayan malzemelerinde incelenebilmesidir. AFM yönteminin diğer bir avantajı ise SEM, TEM, STM gibi benzer amaçlar için kullanılan diğer teknikler gibi vakum ortamı gerektirmemesi hatta sıvı içerisinde dahi ölçüm alınabilmesidir. Ayrıca Taramalı eletron mikroskopunda

(SEM) olduğu gibi kaplama vb. gibi numune hazırlama gerekmediğinden malzeme yüzeyi zarar görmez. Tüm bu nedenlerden dolayı hızlı, çok yönlü ve oldukça düşük maliyetli bir yöntemdir. Taramalı elektron mikroskobuna nispeten AFM'nin çözünürlüğü daha iyidir ve uygun ölçüm ve enstrümantasyon şartları sağlandığında STM ve TEM ile kıyaslanabilecek seviyededir. Tarama alanı ve derinliğinin kısıtlı olması, tarama çözünürlüğünün ucun eğrilik yarıçapıyla sınırlı olması ve tarayıcı ucun piezoelektrik malzemedan etkilenmesi AFM yönteminin kısıtlayıcı faktörlerindedir.

AFM ölçümleri temaslı, temassız ve yarı-temaslı olmak üzere üç farklı moda gerçekleştirilir. Her çalışma modu uç ile numune arasındaki mesafeye göre belirlenir. Şekil 3.3'de uç ve numune yüzeyi arasındaki wan der waals etkileşimini gösteren grafik görülmektedir. Tarayıcı ucun numuneye yaklaştırıldığı ilk durumda uç, numune yüzeyindeki atomlar tarafından zayıf bir biçimde çekilir (eğrinin sağ tarafı). Bu çekim, uç ile numune arasındaki mesafesinin azalmasıyla uç ve numune yüzeylerindeki atomların elektron bulutlarının birbirlerini elektrostatik olarak itmeye başladığı mesafeye kadar artar. Mesafenin daha da azalması durumunda itme kuvveti artar ve net kuvvet kimyasal bağ uzunluğu mesafesinde (birkaç Å) bir aralıkta sıfırlanır ve bu noktada uç ile numune yüzeyi arasında fiziksel temas başlar. Sonraki daha yakın mesafelerde ise itici kuvvet baskındır (eğrinin sol tarafı). Temas modunda uç ile malzeme arası mesafe birkaç Å seviyesindedir. Bu nedenle tarama ucu taranan malzeme yüzeyi ile hafif fiziksel temas durumundadır ve itici kuvvetlere ( $10^{-9}$  N) maruz kalır. Bu moda yüzey topografisi, mesnet sapması sabit tutularak yüzey yükseklik değişiminden veya sabit yükseklikte tarama sonucu mesnetin sapmasından olmak üzere iki farklı şekilde elde edilebilir. Temassız AFM modunda ise uç ile numune arası mesafe yaklaşık 50-150 Å seviyesindedir. Bu pozisyonda uç zayıf çekme kuvvetlerinin etkisindedir. Bu çekme kuvveti temas modunda etkiyen kuvvetlerden daha küçüktür. Ayrıca etkiyen kuvvetler kuvvet-mesafe eğrisinden de anlaşılacağı üzere yüzey yükselti farklılıklarına daha az duyarlıdır. Bu yüzden temassız AFM modunda yüzey topografisini elde etmek için temas moddakinden daha farklı bir tarama mekanizması kullanılır. Rezonans frekansına yakın bir frekansta mesnet titreştirilir. Tarayıcı uç malzeme yüzeyine yaklaştırıldığında genlik veya frekanstaki değişimler algılanır. Fakat temassız mod ölçümleri uç ve mesnet kalitesinden, dış titreşimlerden çok etkilenir. Yarı-temas modu

ise temassız modun biraz farklı durumudur. Yarı temas modunda mesnet kendi rezonans frekansında titreştirilir. Tarayıcı uç her bir titreşim salınımında taranan malzeme yüzeyi ile anlık fiziksel temas kurar. Ölçüm prensibi olarak yüzeye yaklaşma durumunda salınımın şiddetinde meydana gelen değişiklik esas alınır. Ancak bu yarı temas modunda kuvvetler temassız tarama modunda olandan daha yüksek olduğu için ölçüm tarama ucunun dış titreşimlere ve kalitesine karşı duyarlı değildir.



**Şekil 3.3** Tarama Ucu ve yüzey arasındaki Van der Waals kuvvetinin mesafe ile değişimi (Kokkoğlu 2010).

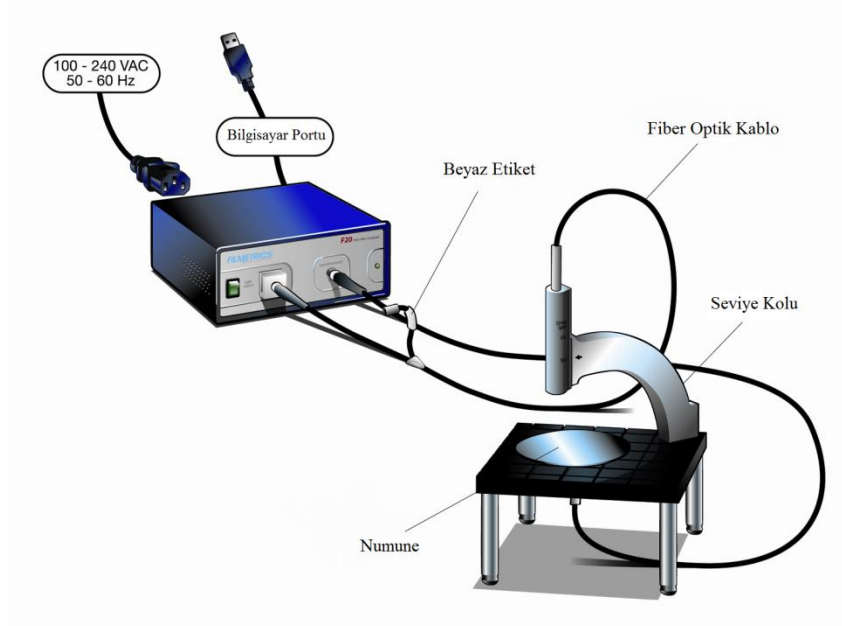


**Şekil 3.4** Omicron VTSTM/ AFM cihazı.

Şekil 3.4'de numunelerin yüzey karakterizasyonunda kullanılan Omicron VTSTM/ AFM cihazının resmi görülmektedir. Bu cihaz ile hem STM hem de AFM ölçümleri yapılabilmektedir. Cihaz ile AFM ölçümleri yapabilmek için STM ucu yerine tarayıcıya Resim 4.3'te görülen bir needle sensör yerleştirilir. Needle sensörde kuvars malzemenin tepesinde Si uç bulunur. Yukarıda anlatılan non-kontak moda benzeyen needle sensör AFM modda kuvars, yaklaşık 1 MHz'lik frekansla  $\pm z$  yönünde salınım yapması için uyarılır ve rezonans frekansı kaydedilir. Daha sonra uç numune yüzeyine yaklaştırılır ve numune yüzeyi üzerinde bir alan seçilerek tarama başlatılır. Tarama esnasında numune yüzeyi ile etkileşme nedeniyle needle sensörün ucuna bir kuvvet uygulanır. Bu kuvvet rezonans frekansına göre titreşimin fazını değiştirir. Faz değişimi uç-yüzey arasındaki etkileşme şiddeti için bir ölçüdür. Bu nedenle z-ayarı için geribeslem sinyali olarak kullanılır. Needle sensör ile 0,05 nm'den daha iyi z çözünürlüğü elde edilebilir.

### 3.4.3 İnce Film Kalınlık Ölçüm Cihazı

Elde edilen AlN ince filmlerin kalınlıklarını ölçmek için Filmetrics F 20 interferometrik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihazın kurulum düzeni Şekil 3.5 de gösterilmiştir (Filmetrics F20 operation manual, 2005).

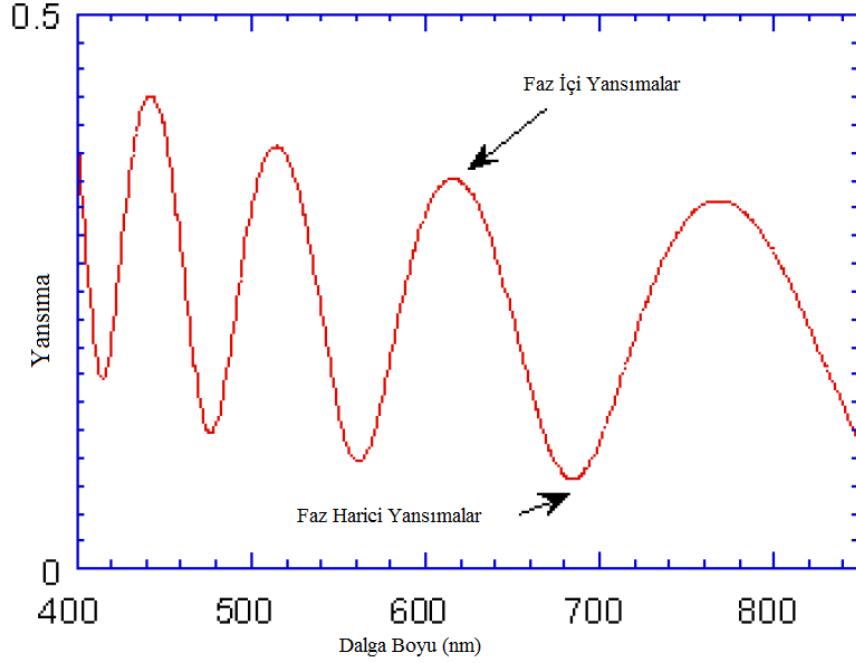


Şekil 3.5 Filmetrics Cihazının Gösterimi.

F20 cihazı, ince film özelliklerini, hem yansıtma hemde numunenin ışığı geçirgenliğini ölçer ve daha sonra bu ışığın dalgaboyu aralığı üzerinde analizini yapar. Bu dalga türü özelliklerinden dolayı, ince filmin yüzeyleri arasında ışığın yukarıdan aşağıya doğru yansımaları eş fazlı olabilir, böylece yansımalar eklenir ya da faz dışında olabilir, bu durumda da yansımalar çıkartılır. Bu yansımalar ister eş-fazlı ister faz dışında olsun (ikisinin arasında bir yerde de olabilir) filmin özelliklerine ve kalınlığına bağlı olduğu gibi ışığın dalga boyuna da bağlıdır.

$$L = (2 \times n d) \div i \quad (3.1)$$

Yansımalar faz içinde olduğunda L dalga boyu, n kırılma indisi, d filmin kalınlığı ve i bir tamsayıdır. Sonuç olarak yansıma spektrumunda yoğun dalgalanma özelliği vardır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Faz Harici ve faz içi yansımaların gösterimi.

Genelde daha kalın filmlerde verilen bir dalgaboyu aralığında daha fazla dalga yoğunluğu olur. Dalgalanmanın titreşim genliği, kırılma indisi, filmlerin ve alltasın sönüm katsayısı tarafından belirlenir. Bundan dolayı, periyodun analizi ve bu dalgalanmaların titreşim genliği F20 cihazı tarafından çoklu ince filmlerin optiksel özelliklerini (n ve k) ve kalınlığını belirleyebilir.

Optik ince film kalınlığı ölçümleri iki işlemin başarıyla tamamlanmasını gerektirir.

Film kalınlığını belirlemek için Filmeasure paket programı, ölçülen spektruma mümkün olduğu kadar yakın eşlesen bir yansıma spektrumu hesaplar. Bu ölçüm yansıma spektrumunun nasıl görünmesi gerektiği üzerine bir başlangıç tahmini ile başlar. Numune için film yapısının kullanıcı girdisi üzerine temellenir. Daha sonra, hesaplanan yansıma spektrumu ölçülen verilerle eşleşene kadar Filmeasure paket programı çözdüğü parametreleri çeşitlendirir. Matematiksel olarak, bu prosedür hesaplamadaki film

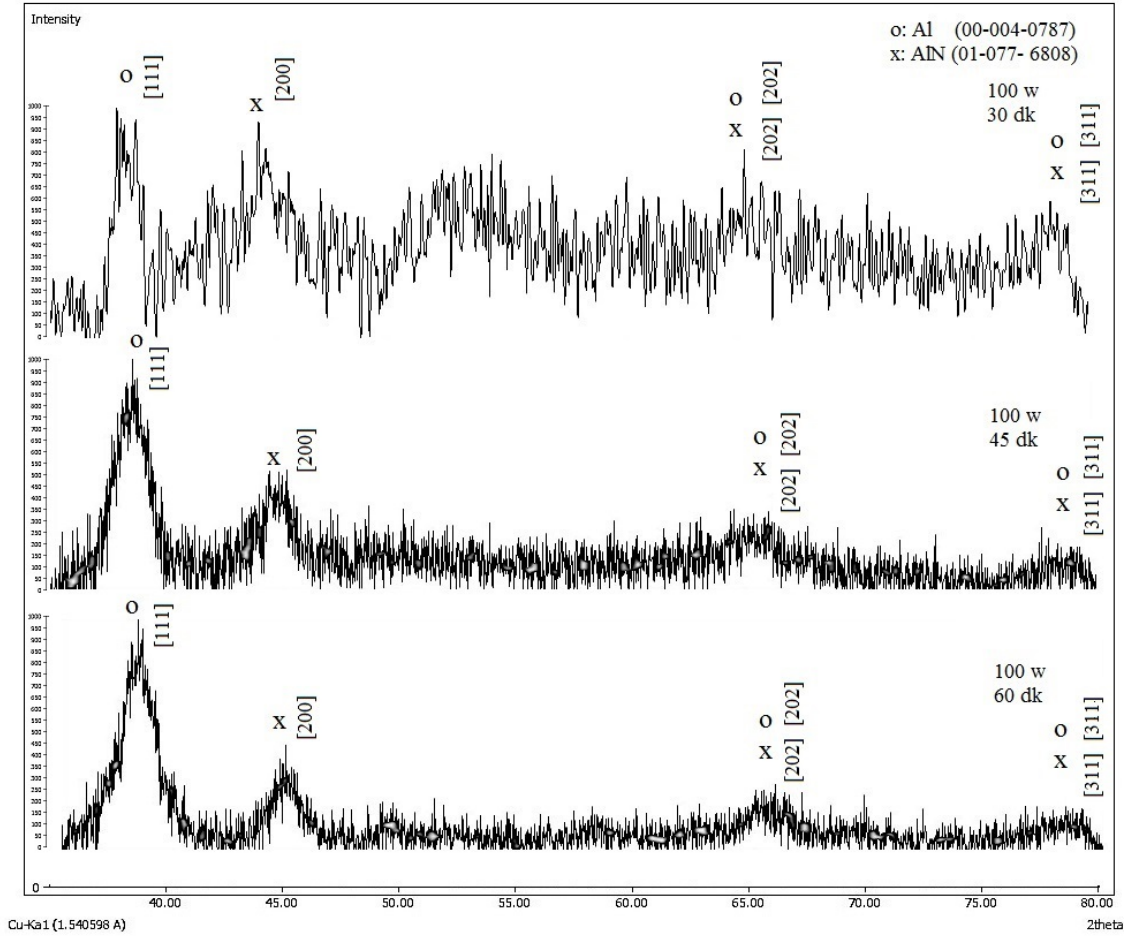
kalınlıkları çeşitlendirildikçe çok yakın eşleşmelerin bulunabileceği gerçeği tarafından güçleştirilir. Bundan dolayı, daha iyi yaklaşımların başarılı bir şekilde bulunması yoluyla, basit bir biçimde bir çözüme yönelen bir yaklaşım eğer optiksel kalınlığın başlangıç tahmini güncel kalınlık olan  $1000\text{Å}$ 'a yaklaşık olarak ulaşmazsa ise yaramayacaktır. Sadece kalınlığın ölçülmesinde Filmesure programı ölçülen ve hesaplanan spektraller arasında en iyi eşleşmeyi veren kalınlığı belirlemek için kabul edilebilir bütün kalınlık aralığının araştırılmasıyla, yanlış bir çözüme yönelmekten kaçınılır. Araştırılan kalınlık aralığı, kalınlık için başlangıç tahmini ile birlikte kalınlık aralığı tarafından belirlenir. Eğer başlangıç tahmini olarak kalınlık değeri girilmezse Filmesure programı 0-100 mikron arasındaki bütün kalınlık aralığını araştırır. Filmlerin ölçülen kalınlıkları başlangıç tahminini sağlaması için oransal olarak araştırılmış kalınlık aralığı bir çözüm bulmak için faydalıdır (Filmetrics F20 operation manual, 2005).

## 4. BULGULAR

RF manyetik saçırma yöntemiyle üretilen AlN 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 gerçekleştirilmiştir.

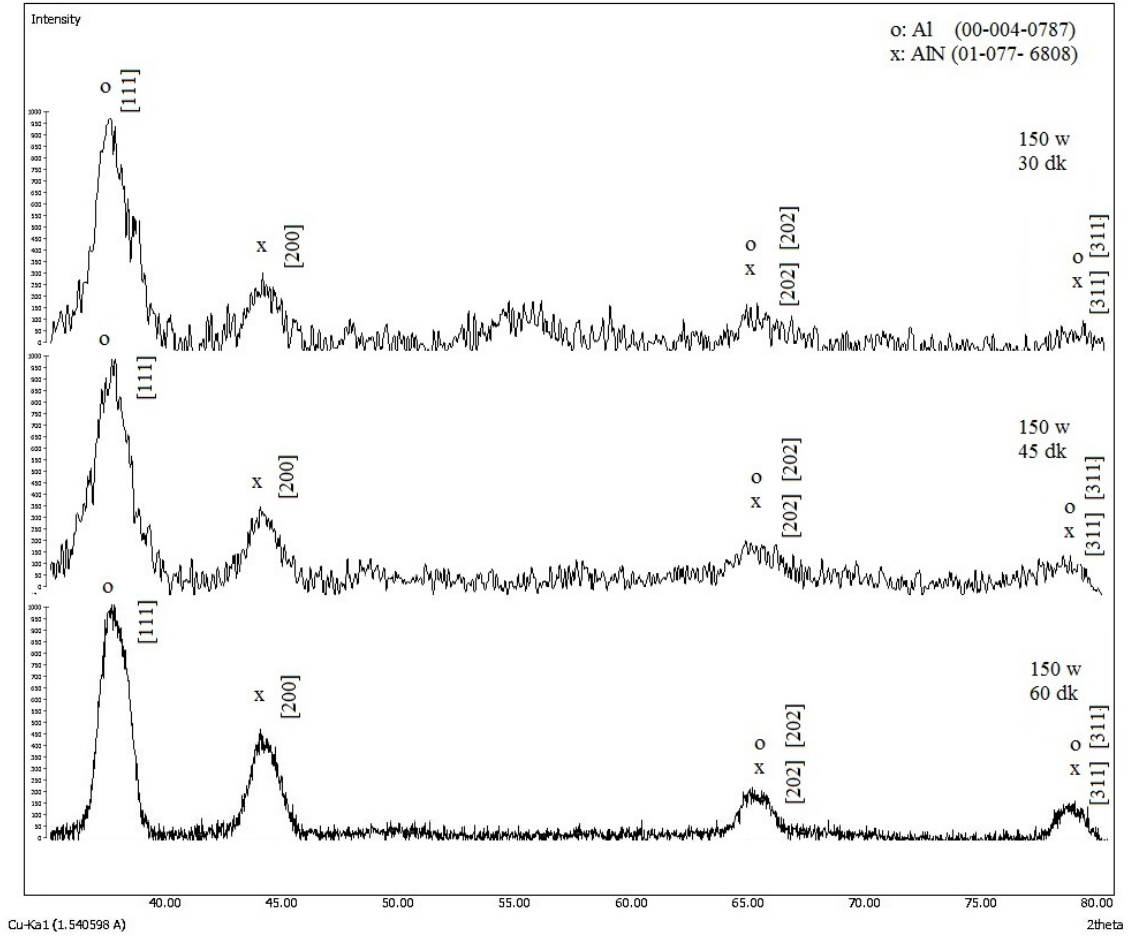
### 4.1 Üretilen Filmlerin X ışınları Kırınımı (XRD) ölçümleri

RF manyetik saçırma yöntemiyle üretilen elde edilen AlN kaplamaların faz dönüşümü tespiti için X ışınları kırınımı (XRD) yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kaplamalar 100 W, 150 W, 200 W ve 250 W olmak üzere 4 farklı sistem çalışma gücünde üretilmeye çalışılmıştır. Her çalışma gücünde ise 30, 45, ve 60dk olmak üzere üç ayrı kaplama süresinde işlem yapılmıştır. Her deney gurubunda (100w, 150w, 200w, 250w) kullanılan hedef malzemesi aynı olmakla birlikte (% 99,99 Al) sistemin vakum basınçları ( $2 \cdot 10^{-2}$ mbar), çalışma basınçları ( $5 \cdot 10^{-1}$ mbar) ve sisteme gönderilen argon-azot gaz karışımı (% 50 Ar, % %50 N<sub>2</sub>) sabit orandadır. Xışınları kırınımı alınan numunelere ayrıca Al ve AlN fazının oranlarını tespit etmek amacıyla X ışınları yarı kantitatif metodla hesaplama yaptırılmıştır. İlk deney gurubu olan 100 w sistem çalışma gücü ve 30, 45 ve 60 dk yapılan kaplamalara ait XRD analiz sonuçları Şekil 4.5' te verilmiştir.



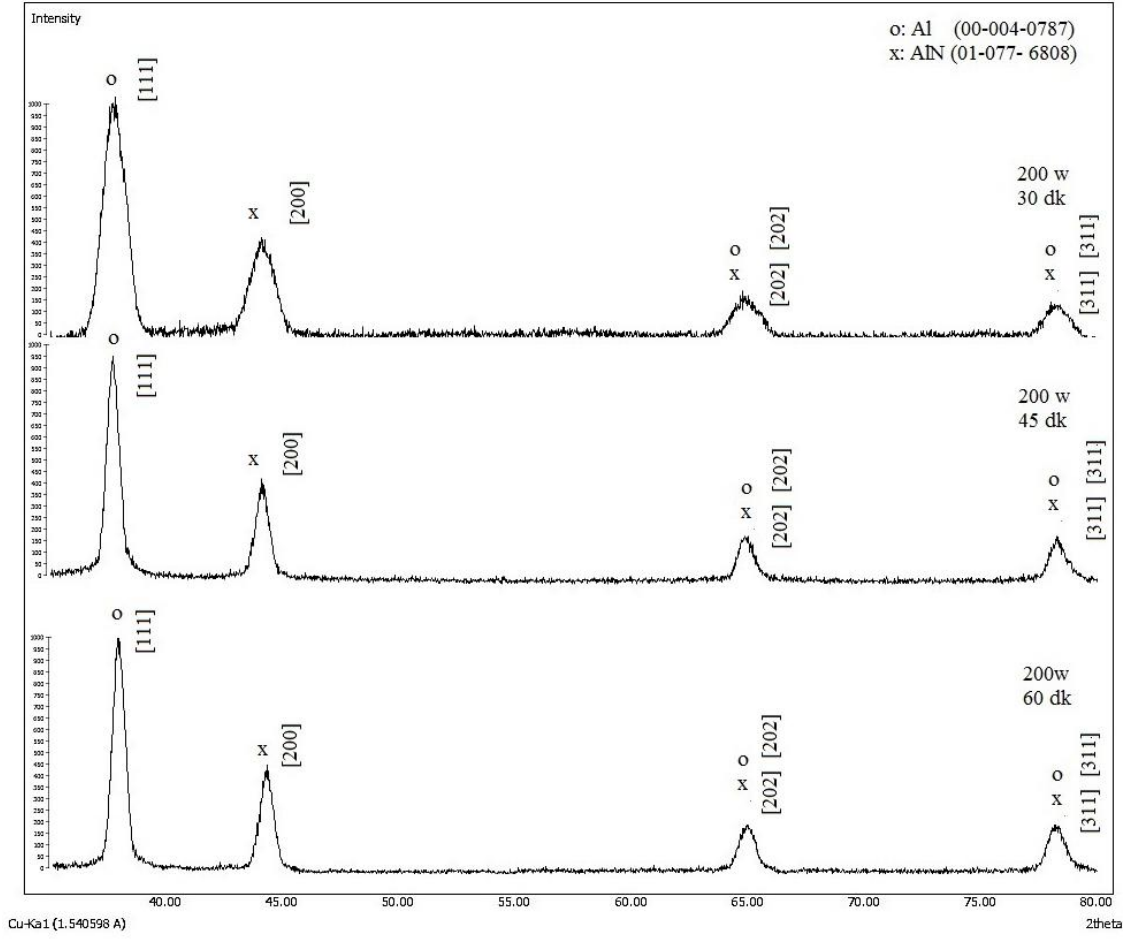
**Şekil 4.1** 100 W sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi 100 w sistem çalışma gücünde RF manyetik saçtırma prensibi ile cam Altlık üzerine biriktirilen kaplama numunelerinin XRD analizlerine göre sistem bünyesinde Alüminyum (Al: 00-004-0787) ve Kübik Alüminyum Nitrür (AlN: 01-077- 6808) fazının bulunduğu tespit edilmiştir.



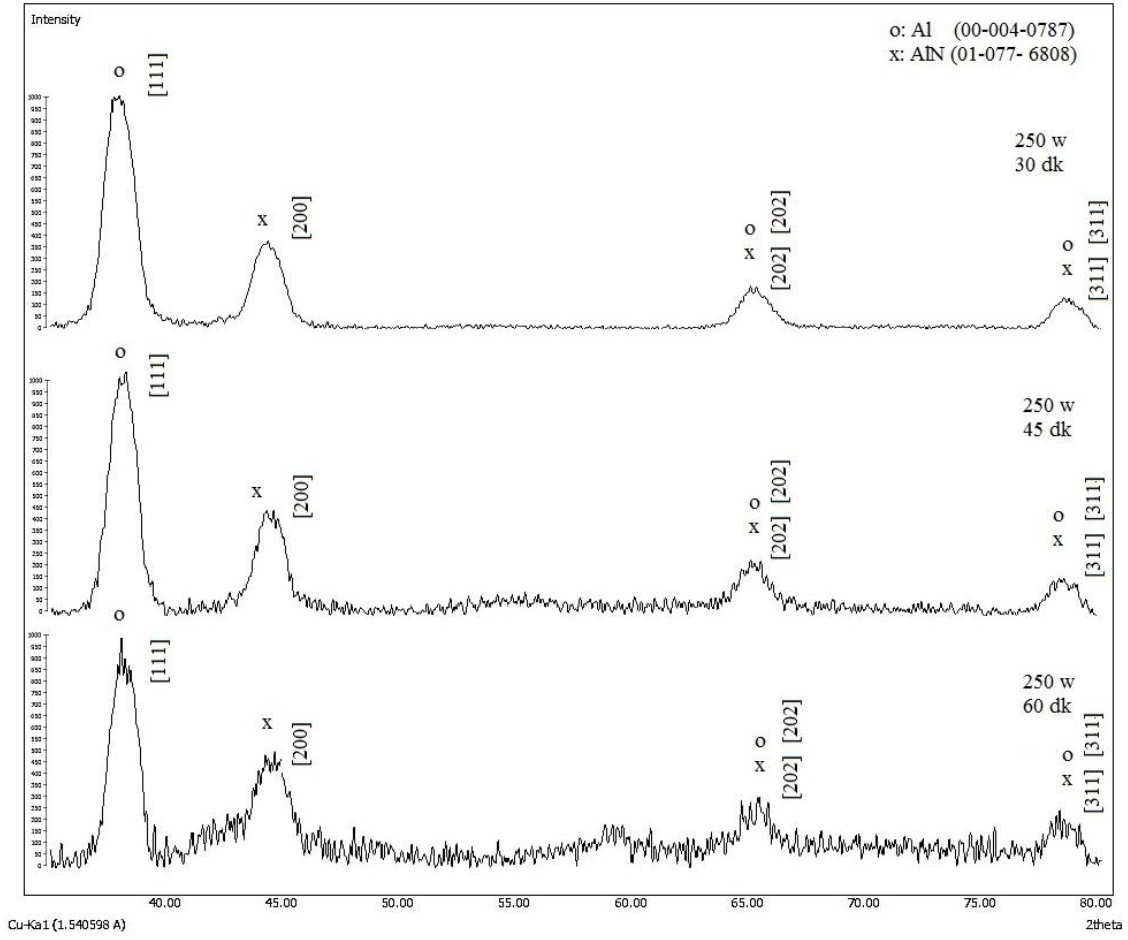
**Şekil 4.2** 150 W sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları.

Şekil 4.6'de görüldüğü gibi 150 w sistem çalışma gücünde RF manyetik saçırma prensibi ile cam Altık üzerine biriktirilen kaplama numunelerinin XRD analizlerine göre sistem bünyesinde Alüminyum ve Kübik Alüminyum Nitrür fazının bulunduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 4.3** 200 W sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi 200 w sistem çalışma gücünde RF manyetik saçtırma prensibi ile cam Altlık üzerine biriktirilen kaplama numunelerinin XRD analizlerine göre sistem bünyesinde Alüminyum ve Kübik Alüminyum Nitrür fazının bulunduğu tespit edilmiştir.

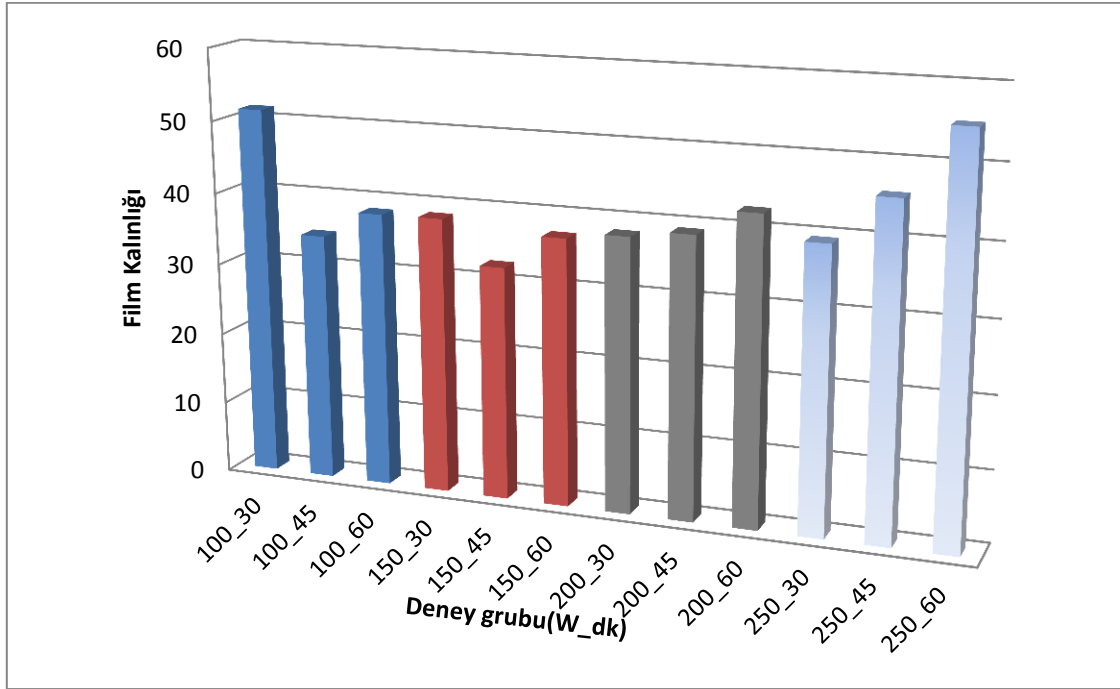


**Şekil 4.4** 250 w sistem çalışma gücünde yapılan ALN kaplamaların XRD sonuçları.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 250 w sistem çalışma gücünde RF manyetik saçırma prensibi ile cam Altık üzerine biriktirilen kaplama numunelerinin XRD analizlerine göre sistem bünyesinde Alüminyum ve Kübik Alüminyum Nitrür fazının bulunduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1** Üretilen ince filmlerin yarı kantitatif AIN faz oranları.

Uygulanan Güç(W)	Süre (dk)	AIN Faz Yüzde Oranı
100W	30	51,49
100W	45	34,58
100W	60	38,32
150W	30	38,4
150W	45	32,46
150W	60	37,16
200W	30	38,11
200W*	45	39,08
200W*	60	42,54
250W	30	39,35
250W	45	45,8
250W	60	55,16



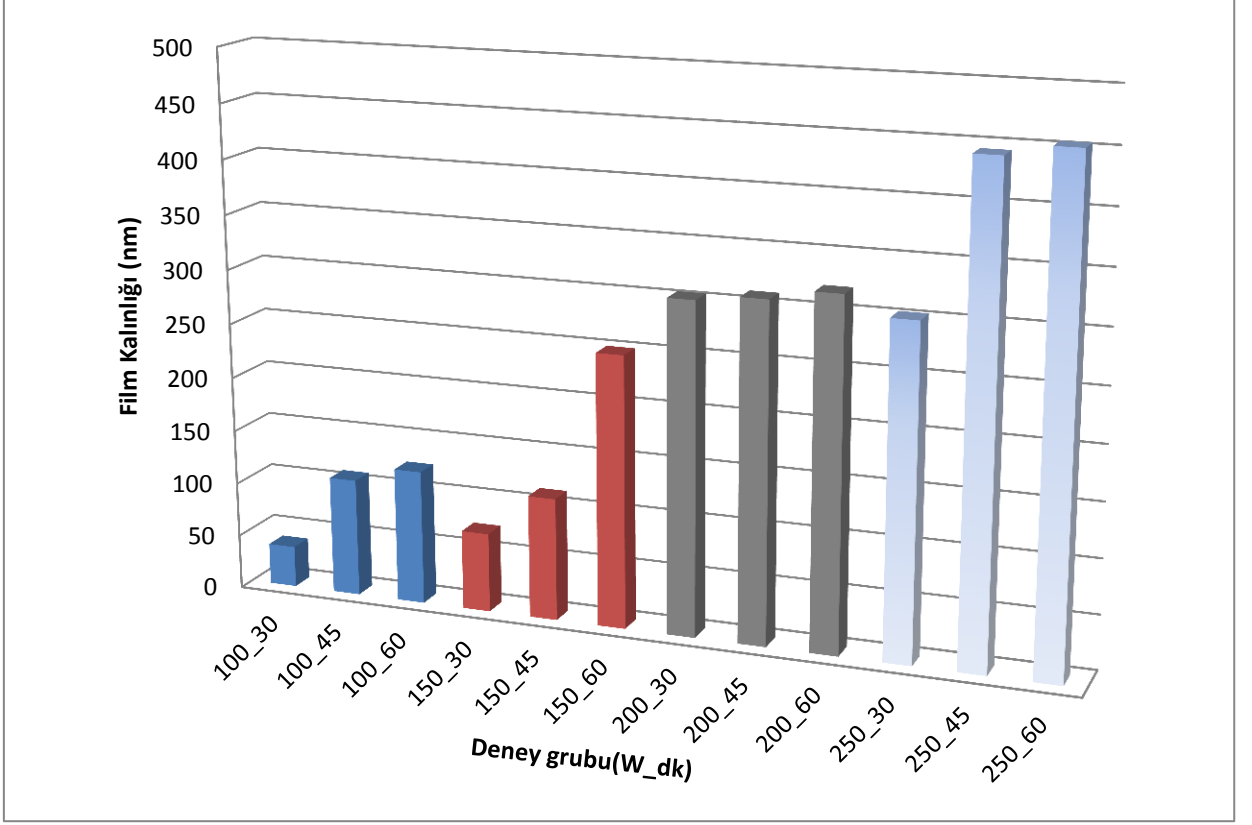
**Şekil 4.5** Üretilen ince filmlerin yarı kantitatif AIN faz oranları.

## 4.2 AlN Filmlerin Kalınlık Ölçümleri

RF manyetik saçırma metodu ile Al hedef malzeme kullanılarak reaktif saçırma prensibi ile üretilen AlN ince filmlerin kalınlık ölçümleri interferometrik ölçüm yapan Filmetrics F20 interferometrik Kalınlık Ölçüm cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Bu cihaz yardımıyla cam altlık üzerine kaplanmış olan AlN ince filmlerin kalınlıklarının ölçümü, numune yüzeyinin on farklı yerinden ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülen kalınlık değerlerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.3' de verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Üretilen ince filmlerin kalınlık ölçüm sonuçları.

Uygulanan Güç(W)	Süre (dk)	Ortalama Kalınlık (nm)	Minimum Kalınlık (nm)	Maksimum Kalınlık (nm)	Standart Sapma
100W	30	38	40	36	2
100W	45	109	107	111	2
100W	60	124	121	127	3
150W	30	73	71	75	1,5
150W	45	113	111	115	1,5
150W	60	250	246	255	3
200W	30	304	298	305	2
200W*	45	310	270	390	56
200W*	60	320	307	351	17
250W	30	303	300	305	3
250W	45	444	421	500	31
250W	60	454	435	502	30,1

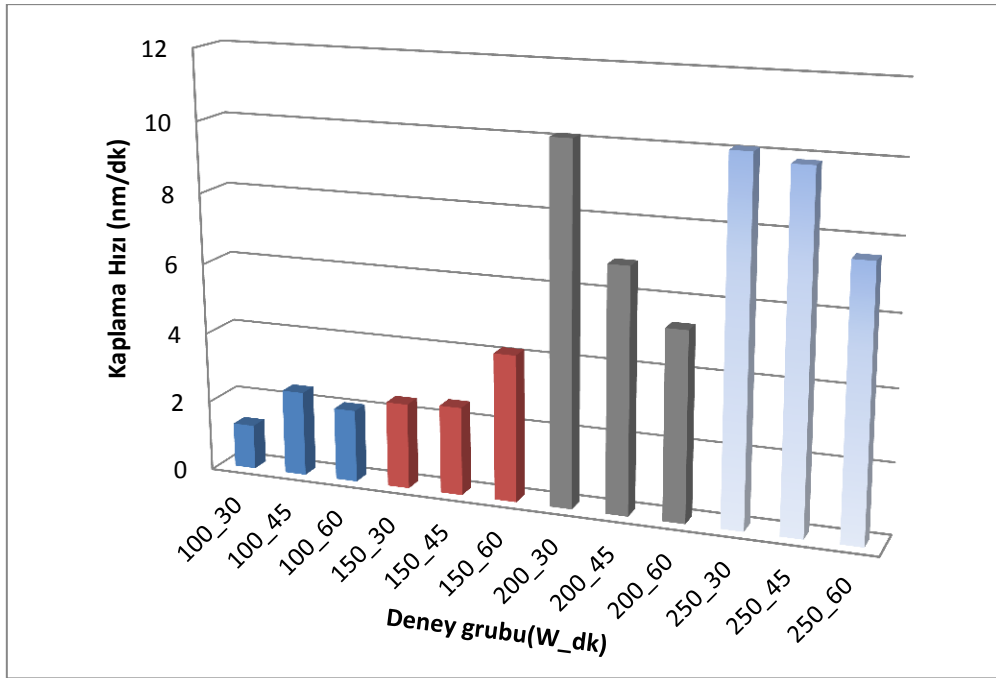


**Şekil 4.6** Üretilen ince filmlerin kalınlık değişim grafiği.

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.10 de görülebileceği gibi sisteme verilen güç ve kaplama süresi artırıldıkça AlN ince film üretim oranında artış gözlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre sabit gaz karışım oranında (% 50 Ar, % 50 N<sub>2</sub>) AlN ince film üretiminin sisteme uygulanan güce (100-250W) bağlı olduğu görülebilmektedir. Üretim oranının en yüksek güç değeri 250 W da 10,1 nm/dak dır. En düşük güç değeri olan 100 W da ise bu oran 1,27 nm/dak ya kadar azaldığı görülebilmektedir. Bununla birlikte cam altlık üzerinde dakikada ortalama 0,8 nm' lik bir kaplama oran olarak gözlenmiştir.

**Çizelge 4.3** Elde edilen AlN ince film kaplamaların sistem gücü ve süreye bağlı kaplama hızı

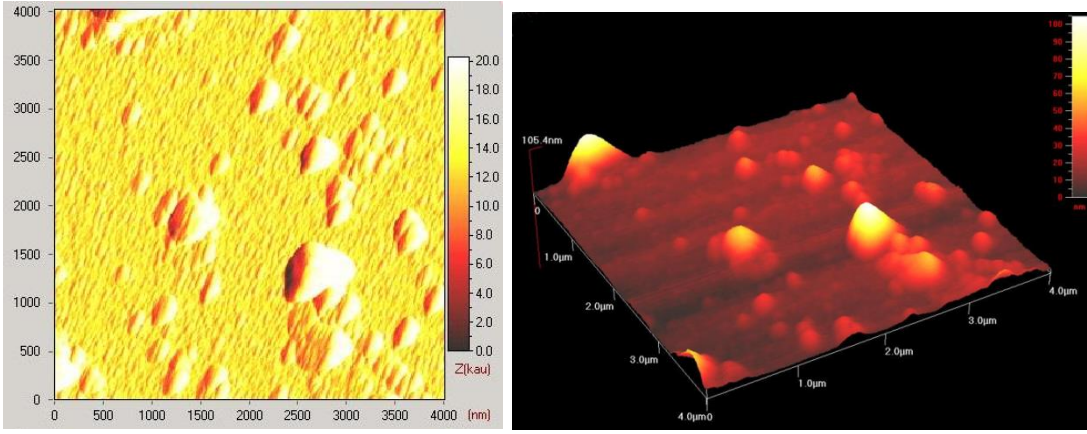
Uygulanan Güç(W)	Süre (dk)	Ortalama Kalınlık Kaplama Hızı	
		(nm)	(nm/dk)
100W	30	38	1,27
100W	45	109	2,42
100W	60	124	2,07
150W	30	73	2,43
150W	45	113	2,51
150W	60	250	4,16
200W	30	304	10,13
200W	45	310	6,9
200W	60	320	5,33
250W	30	303	10,1
250W	45	444	9,86
250W	60	454	7,57



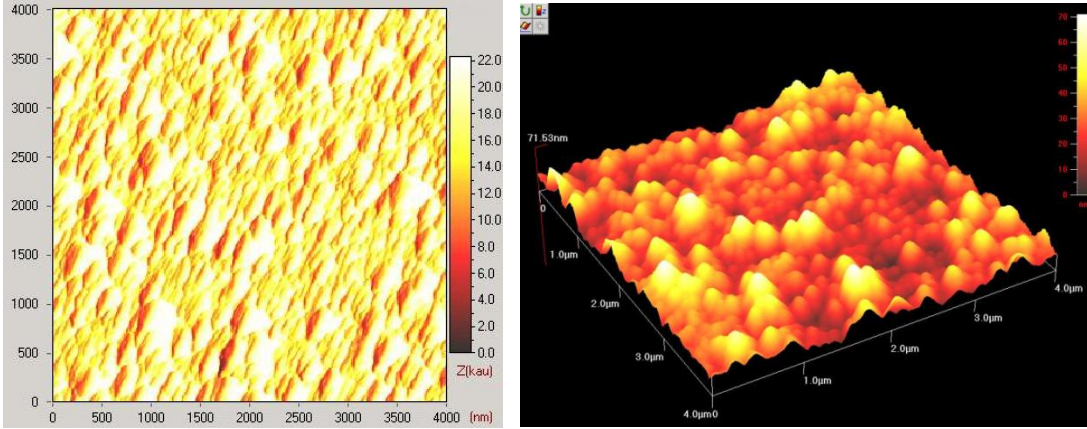
**Şekil 4.7** AlN ince film kaplamaların sistem gücü ve süreye bağlı kaplama hızı değişim grafiği.

### 4.3 Üretilen Filmlerin AFM Yüzey İncelemeleri

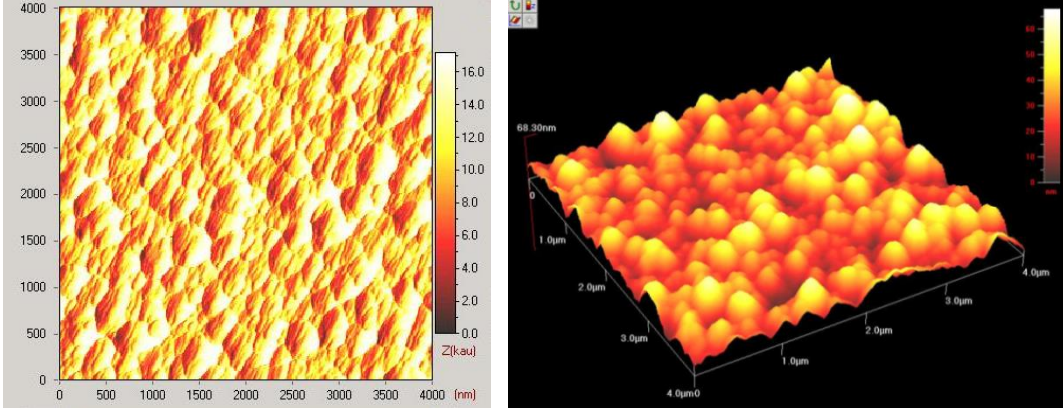
RF saçırma yöntemi ile üretilen AlN ince filmlerinin yüzey görüntüleri, Ambios marka Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak elde edilmiştir. Yüzey görüntüleri  $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$ 'lik alan taranarak görüntülenmiştir. Elde edilen görüntüler sistem çalışma gücü (W) ve kaplama süresine göre Şekil 4.12-4.23 aralığında gösterilmiştir.



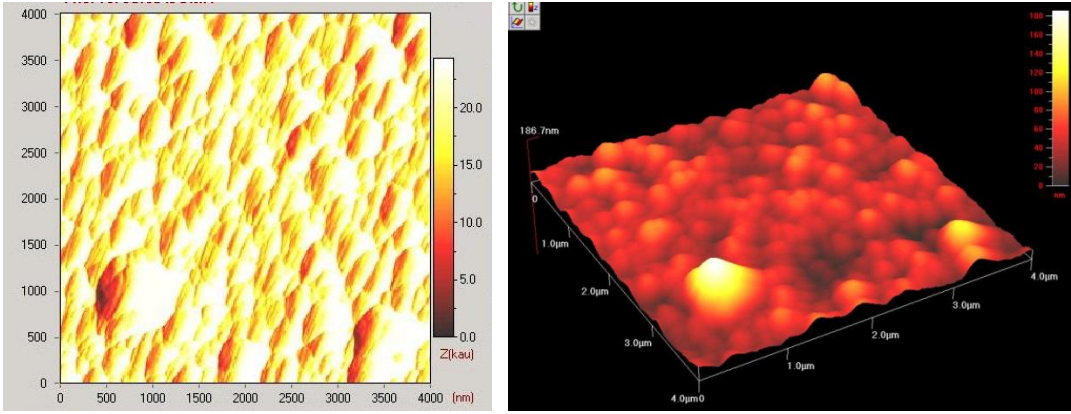
Şekil 4.8 100 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



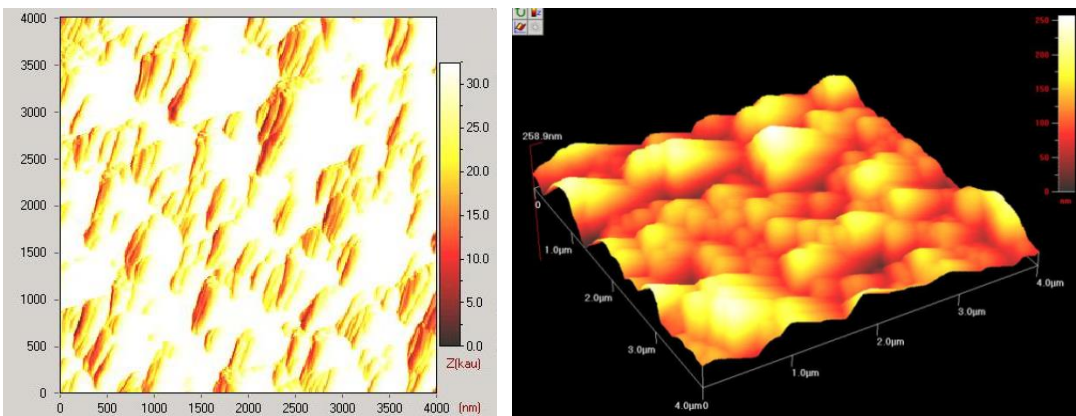
Şekil 4.9 100 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



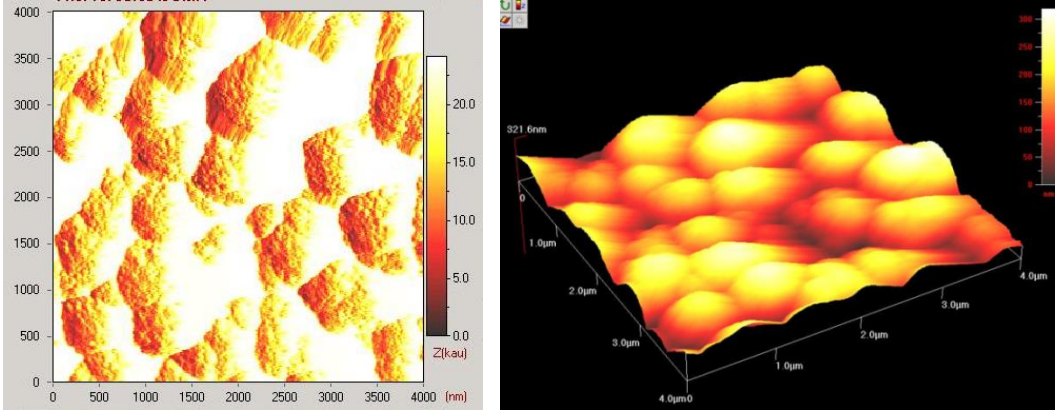
Şekil 4.10 100 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



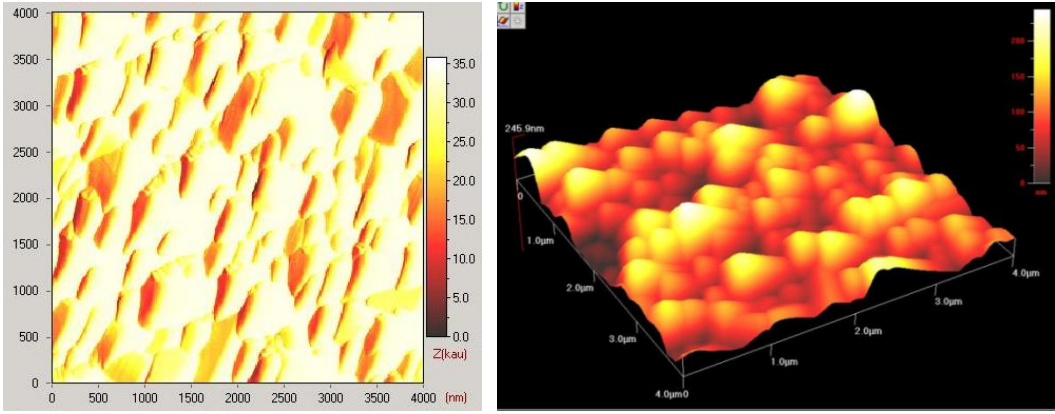
Şekil 4.11 150 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



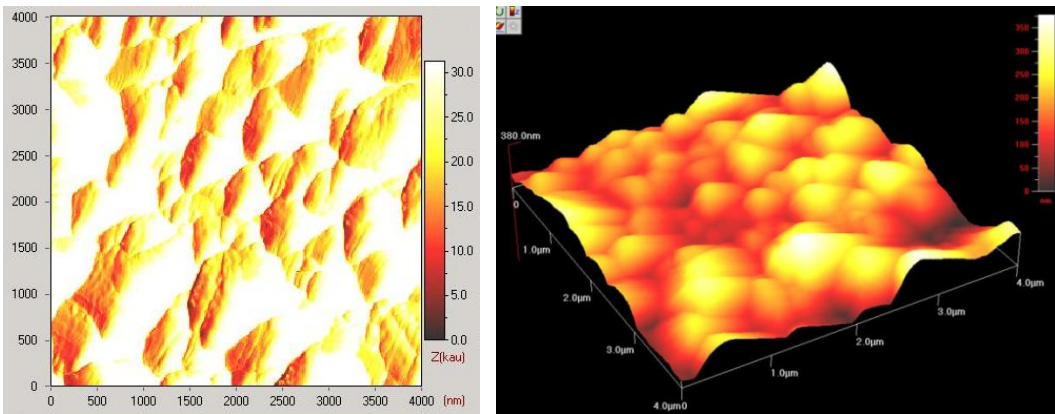
Şekil 4.12 150 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



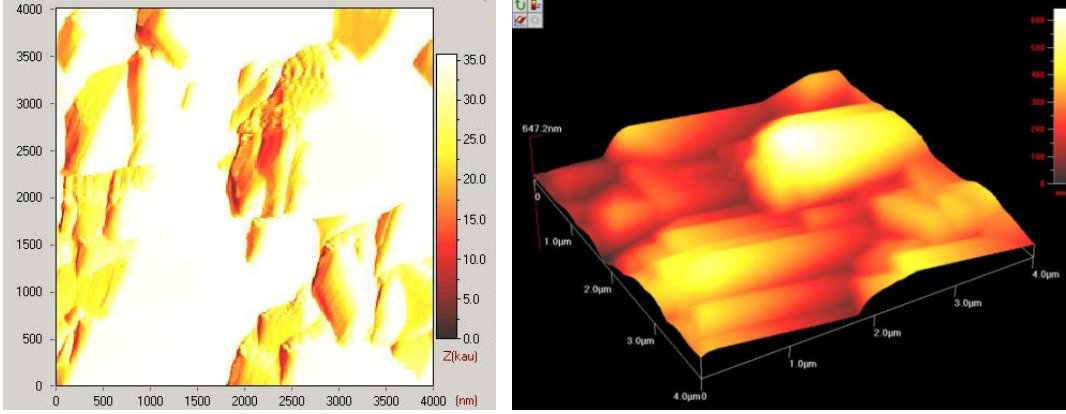
Şekil 4.13 150 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



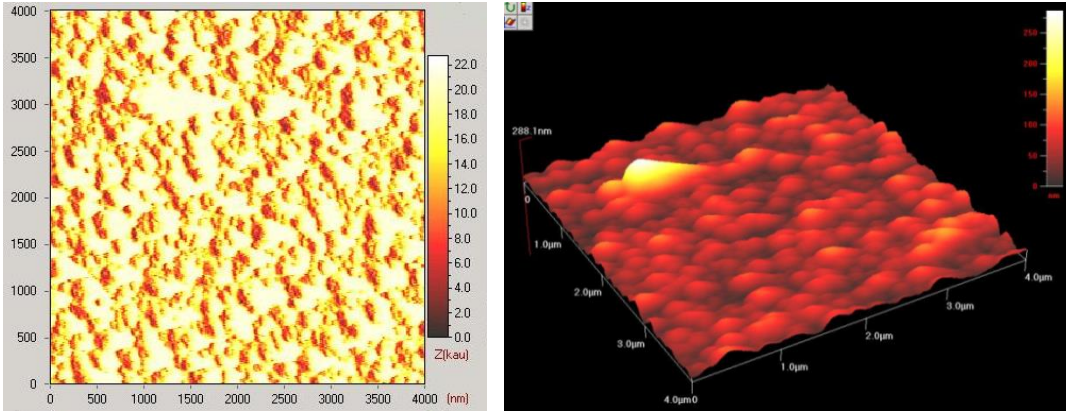
Şekil 4.14 200 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



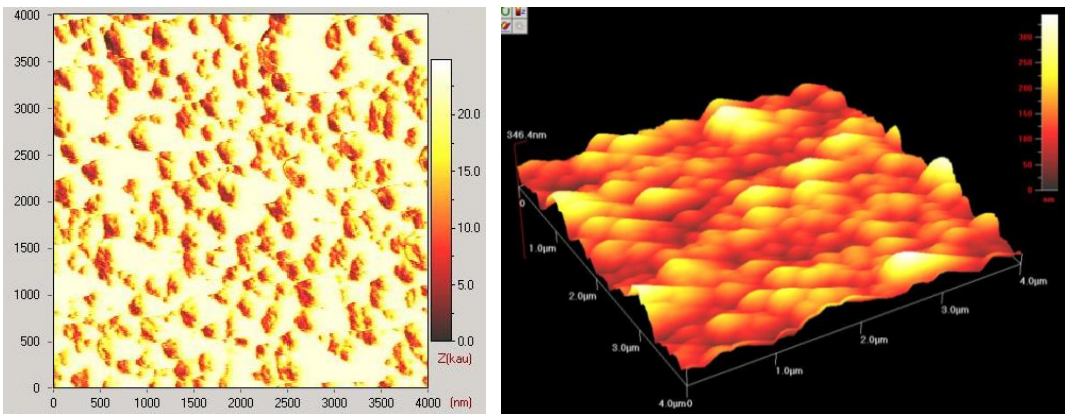
Şekil 4.15 200 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



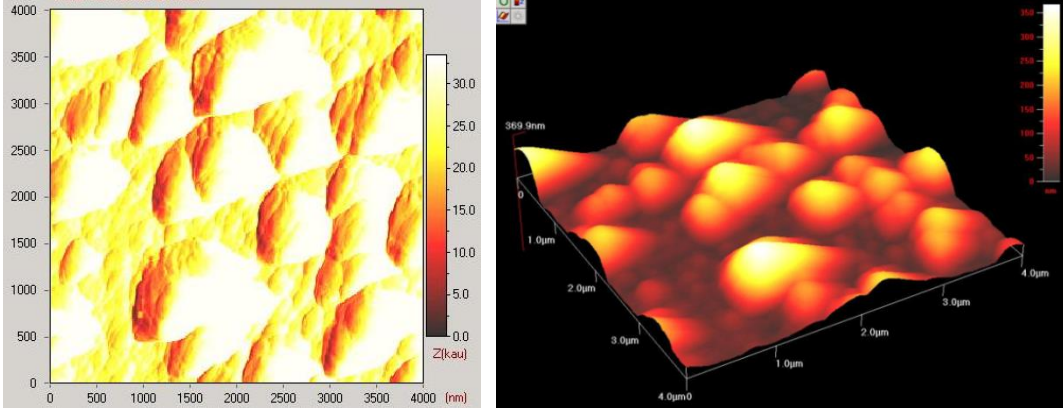
Şekil 4.16 200 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



Şekil 4.17 250 W sistem gücü 30 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



Şekil 4.18 250 W sistem gücü 45 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.



**Şekil 4.19** 250 W sistem gücü 60 dk. Kaplama süresinde elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri.

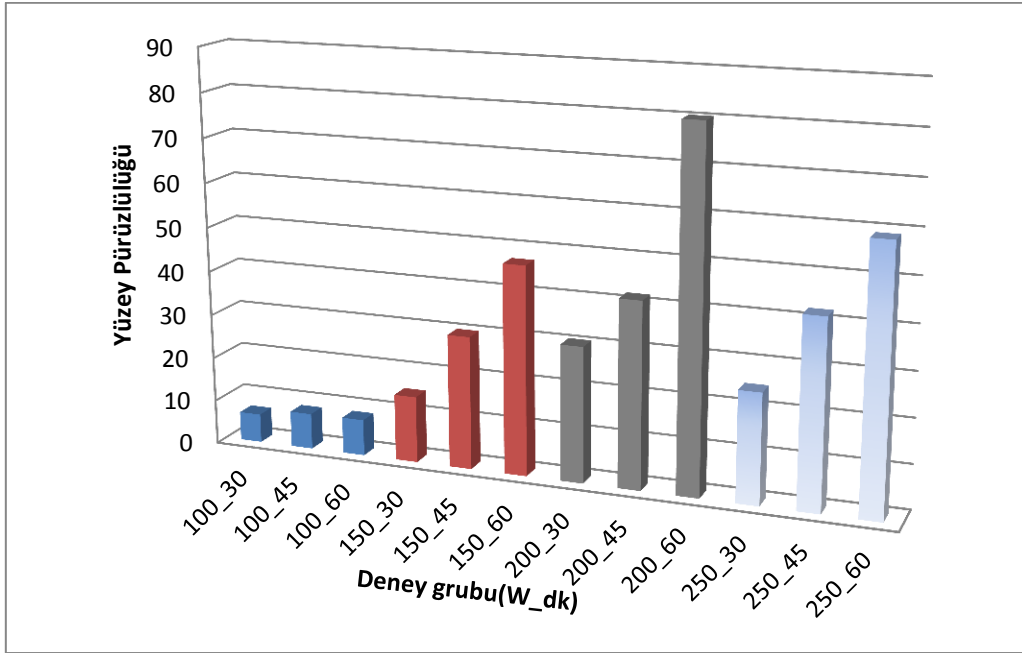
RF Manyetik saçırma yöntemiyle üretilen AlN ince filmlerin Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile elde edilen,  $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$  boyutlarındaki taramada iki boyutta ve üç boyutta faz görüntüleri gösterilmiştir şekil 4.12-4.23. İki ve üç boyutlu görüntülere bakıldığında, görüntüler arasında farklılıklar gözlenmektedir. RF manyetik saçırma sistemindeki üretim parametrelerinden gaz karışım oranları (% 50Ar, %50 N<sub>2</sub>), vakum basıncı (base pressure) ve çalışma basıncı (working pressure) sabit tutulmuş, farklı güç (W) ve sürede (dk) çalışılmıştır. Ayrıca kaplama yapılan altlık malzemelerin numune ön hazırlık işlemleri de birbiriyle aynıdır. Dolayısıyla yüzey görüntülerindeki farklılıkların sebebi sistem gücü ve kaplama süreleri farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

#### 4.4 AlN İnce Filmlerin Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

RF manyetik saçırma yöntemi ile üretilen AlN ince filmlerinin yüzey pürüzlülükleri ölçümleri Ambios marka Atomik Kuvvet Mikroskobunda (AFM) temassız mod tarama sonucu yüzey görüntüsü üzerinden eşit aralıklarla alınan 7 ölçümün ortalaması olarak elde edilmiştir. Hesaplanan yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  (ortalama pürüzlülük (average roughness)) değerleri sistem gücü (150-250w) ve süreye göre Çizelge 4.5 ve Şekil 4.24 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 AIN ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri

Uygulanan Güç(W)	Süre (dk)	Yüzey Pürüzlülüğü R <sub>a</sub> (nm)
100W	30	6,5
100W	45	8,1
100W	60	8,2
150W	30	15
150W	45	30
150W	60	47
200W	30	30,5
200W	45	41,8
200W	60	80,2
250W	30	24,8
250W	45	42,2
250W	60	59



Şekil 4.20 AIN ince filmlerin sistem gücü ve süreye bağlı yüzey pürüzlülüğü.

RF Manyetik saçırma yöntemiyle üretilen AIN ince filmlerin hesaplanan yüzey pürüzlülükleri sistem çalışma gücüne ve süreye bağlı değişim göstermektedir. Üretilen filmlerin yüzey pürüzlülük değeri sistem gücüne ve süreye bağlı değişimi düzenlidir. Kaplamaların yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 4.24'te gösterildiği gibi düşük güçlerde

düşükken güç artışına bağlı olarak artış sergilemektedir. Yüzey pürüzlülük değerleri genel ortalaması ise 35 nm' nin altındadır. Bu sonuç ise üretilen kaplamaların yüzeylerinin orta pürüzlü yapıda büyütüldüğünü göstermektedir

#### 4.5 Üretilen İnce Filmlerin Genel Karakterizasyon Bulguları

RF manyetik saçtırma yöntemi ile üretilen AlN ince film kaplamaların yapılan karakterizasyon, ölçüm ve hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4.6 da karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

**Çizelge 4.5** Üretilen ince filmlerin üretim koşulları ve sayısal deney sonuçları

Ar	N <sub>2</sub>	Vakum Basıncı (mbar)	Çalışma Basıncı (mbar)	Çalışma Gücü (W)	Süre (dk)	Film Kalınlığı (nm)	Kaplama Hızı (nm/dk)	Film Pürüzlülüğü Ra (nm)
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	100W	30	38	1,27	6,5
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	100W	45	109	2,42	8,1
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	100W	60	124	2,07	8,2
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	150W	30	73	2,43	15
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	150W	45	113	2,51	30
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	150W	60	250	4,16	47
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	200W	30	304	10,13	30,5
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	200W	45	310	6,9	41,8
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	200W	60	320	5,33	80,2
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	250W	30	303	10,1	24,8
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	250W	45	444	9,86	42,2
%50	%50	2.0*10 <sup>-2</sup>	5.0*10 <sup>-1</sup>	250W	60	454	7,57	59

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bir fiziksel buhar biriktirme sistemi olan RF manyetik saçtırma yöntemi birçok metalik veya yarı iletken nanometrik ve mikrometrik düzeyde kaplamaların üretilmesinde oldukça yaygın kullanılan bir sistemdir. Saçtırma yöntemi vasıtasıyla AlN kaplamaların üretiminde kaplamanın kararlılığı açısından hedef malzeme olarak AlN seramik plakalar kullanılır. Yapılan çalışmada ise bu durumdan farklı olarak AlN ince filmler üretiminde hedef malzeme olarak AlN yerine yüksek saflıkta (%99,99) Al kullanılmıştır. Plazma oluşumu için gereken gaz olarak sabit konsantrasyonda Ar ve N<sub>2</sub> gaz karışımı vakumlanmış vakum odasına gönderilmiştir. RF güç kaynağı ve eşleştirme ünitesi vasıtasıyla RF manyetik tabancaya sisteme farklı güçler verilerek (100- 250 W) hedef malzeme olan alüminyumdan saçtırılan Al atomları plazma ortamında Azot (N) atomlarıyla reaksiyona girerek AlN bileşiği halinde cam altlık üzerine biriktirilmesiyle gerçekleştirilir.

Çalışmada Radyo frekan (RF) manyetik saçtırma yöntemi ile alüminyum hedef malzeme kullanarak cam altlık üzerine AlN ince filmleri depolanmıştır. AlN ince filmlerin üretimi işlemi sabit vakum basıncı ( $2.10^{-2}$  mbar), sabit çalışma basıncı ( $5.10^{-2}$  mbar) ve sabit gaz karışımı oranında (%50 Ar, %50 N<sub>2</sub>) farklı sistem güçleri (W) ve farklı sürelerde reaktif saçtırma prensibi ile üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın devamında AlN ince film kaplamaların X ışınları kırınımı (XRD) metoduyla minerolojik analizleri yapılmış ve film bünyesini meydana getiren fazlar tespit edilmiştir. Atomik kuvvet mikroskobu vasıtasıyla temassız tarama modunda iki ve üç boyutlu yüzey görüntüleri elde edilmiş ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş, interferometrik metot ile filmlerin kalınlığı ölçülmüş, her sistem gücü ve süredeki film kaplama hızları (nm/dk) hesaplanmış, kaplanma hızının sistem gücüne bağlı olarak değişimi belirlenmiştir.

Farklı Güç oranlarında gerçekleştirilen kaplama işlemlerinde AlN ince filmlerin kalınlıklarında sistem gücüyle orantılı düzenli bir değişim olduğu gözlemlenmiş sistem gücü ve süre artışına paralel olarak AlN ince Film kalınlıklarının arttığı anlaşılmıştır. AlN film üretim hızlarına bakıldığında aynı şekilde sistem gücü artışıyla birlikte

kaplama hızında artış olduğu hesaplanmıştır. Bunun nedeni olarak düşük çalışma güçlerinde argon plazmasının Al metali yüzeyine çarpıp yüzeyden Al atomlarını koparması için gereken enerjinin nispeten düşük olmasından dolayı film üretim hızı daha yüksek güç miktarlarıyla karşılaştırıldığında daha düşük orandadır. Örneğin 100 W çalışma basıncı ve 30 dk kaplama süresinde kaplama hızı 1,27 nm/dk iken bu oran 150 W. çalışma gücü ve 30 dk. kaplama süresinde 2,47 nm/nm değerine 200 W. 30 dk. da 10 nm/dk değerine ve 250 W 30 dk. da ise 10,15 değerine yükselmiştir. Diğer taraftan sabit güç miktarında kaplama süresinin artışıyla düşük güçlerde artarken güç artışıyla birlikte seri içinde kaplama hızının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak düşük güç oranlarında altlık yüzeyinin daha az oranda ısındığı bunun ise plazmada buhar fazında bulunan atomların yüzeye tutunmalarını olumsuz yönde çok etkilemediği artan güç serilerinde süre artışıyla birlikte yüzeyin gittikçe daha hızlı ısındığı ve bu durumun atomların altlık yüzeyinde depolana birliğini azalttığı söylenebilir.

AIN ince filmlerin X ışınları kırınımı (XRD) sonuçları incelendiğinde düşük sistem çalışma güçlerinde örneğin; 100 W çalışma gücünde Alüminyum 100' lük piklerinin AIN 100' lük piklerinden daha şiddetli olduğu görülmektedir. Bunun nedeni AIN fazının oluşabilmesi için sadece Al metalinin hedeften koparılmasının yetmediği ayrıca hedeften buharlaştırılan Al metal atomlarının vakum odasındaki azot molekülleriyle reaksiyona girebilme kinetiğinin gerekliliği olduğu söylenilebilir. Düşük çalışma gücü ve kaplama sürelerinde XRD paterninde gürültü miktarının yüksek olduğu görülmekte aynı çalışma gücünde artan kaplama gücünde ise bu gürültünün azaldığı görülmektedir. Bu durum ise artan kaplama süresiyle katman kalınlıklarının arttığının bir diğer kanıtı olarak gösterilebilir.

Yarı kantitatif X ışını kırınımı sonuçlarına bakıldığında artan sistem güçleriyle birlikte AIN fazının film bünyesindeki yüzde oranının arttığı gözlemlenmektedir. Bu durumun nedeni hedeften koparılan Al atomlarının N<sub>2</sub> atomlarıyla reaksiyona girebilmesi için plazma içerisinde ve vakum odasında ihtiyaç duyulan sıcaklığın daha kolay sağlanabildiği yorumu yapılabilir. Ayrıca aynı çalışma gücü serisi içerisinde artan süreyle birlikte faz oranının artışı da bu teoriyi desteklemektedir. Çünkü kaplama süresi artmasıyla birlikte plazma iyonlarının ve ortam gazının sahip olduğu ısı kapasitesi

artmaktadır. Bunun nedeni iyon çarpışmalarının ısı enerjisine dönüşmesi olarak söylenilebilir.

RF manyetik saçırma yöntemiyle üretilen AlN ince film kaplamaları Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile yüzey tarama sonuçları incelendiğinde düşük sistem çalışma gücü ve düşük kaplama sürelerinde kaplama yüzeyinde oluşan yüzeyde depolanan kristallerin daha küçük dikey yönlenmeli (şekil 4.12, şekil 4.13) daha sivri olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca düşük çalışma gücü ve sürede altlık yüzeyinde atomların depolanmasıyla oluşan kristallerin daha homojen olarak büyüdüğü gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak düşük çalışma güçlerinde argon plazmasının Al metali yüzeyine çarpıp yüzeyden Al atomlarını koparması için gereken enerjinin nispeten düşük olmasıdır. Böylelikle plazmanın kopardığı atom sayısının nispeten daha az sayıda olması dolayısıyla yüzeye birikmesi beklenen atom sayısının da daha az olması şeklinde yorumlanabilir. Daha az atom kopması ve daha az atom birikmesi demek atomların yüzeyde daha düzenli paketlenmesi şeklinde düşünülebilir. Düşük güç değerlerinde artan süreyle birlikte kristallerin dikey yönlenmelerini devam ettirdiği, bölge bölge dikey yönde kristal tepelerinin yükselip homojensizlik meydana getirdiği anlaşılmış ve kimi bölgelerde ise kristal sivriliklerinin kaybolmaya başladığı görülmektedir. Yüksek çalışma güçlerinde kristallerin daha iri ve düzenli olduğu görülmüştür. Sistem çalışma güç değerleri yükseldikçe kristal büyümesinin hızlandığı sivri kristallerin yerine daha düz ve lamel yapıları kristallerin oluştuğu gözlemlenmiştir.

Düşük çalışma güçlerinde kristal büyüklüklerinin 150-200 nm civarında iken yüksek çalışma güçlerinde bu değer mikrometrik seviyeye yükseldiği görülebilmektedir.

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde ise düşük güç değerlerinde yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Artan çalışma güç değerlerinde ve yüksek kaplama sürelerinde yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlemlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akan, T., (2003), Termiyonik vakum ark (TVA)'nın temel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Amano, H., Sawaki, N., Akasaki I. and Toyoda, Y., (1986), Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer, *Appl. Phys. Lett.* **48**: 353-354
- Balbağ, M. Z., (2009), Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği ile Magnezyum, Bor ve Magnezyum Borür ince filmlerinin üretilmesi ve bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Bunshah, R. F., (2001), Handbook of hard coatings, Published in the United States of America by Noyes Publications / William Andrew Publishing, LLC Norwich, NewYork, U.S.A. , p.549
- Campbell, D. S., (1978), Active and passive thin films devices, Academic press, London, chapt.2.
- Cellek, O. O., Gökden, B., (2001), Mikroelektronik ve optoelektronik teknolojileri, *Oddü Biltek Dergisi*, Şubat; 14, 15
- Chenn, E., (2004), Thin film deposition, *Aplied Physics*, 298r
- Çörekçi, S., (2008), Grup III-V Bileşik Yarı İletkenlerde Afm Yüzey Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Demirkol, S., (2008), Termiyonik Vakum Ark (TVA) Yöntemiyle Nano Katmanlı Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Filmetrics lab. Ins. Tech. Co., (2005) Filmetrics F20 operation manual, Amerika Birleşik Devletleri

- Gadelmawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M. A., Elewa, I. M., Soliman, H. H., (2002), Roughness parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, **123**: 133-145
- Geckinli, A. E., (1992), İleri teknoloji malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası
- Grill A., (1993), Cold Plasma in materials fabrication, IEEE Pres,
- Huş, Ş. M, 2006, Physical Properties Of CdSe Thin Films Produced By Thermal Evaporation and E-Beam Techniques, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Johnson, R. L., (2005), Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric micro-cantilevers, Master Thesis, Electrical Engineering, Iowa State University
- Kal, D., (2011), Alüminyum Nitrit ince filmlerin büyütülmesi ve mikroyapılarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karşlıoğlu, R., (2007), Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemiyle SnO<sub>2</sub> Kaplamaların Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kokkokoğlu, M., (2010), RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ohta, J., Fujioka, H., Ito, S., M. Oshima, (2002), Room-temperature epitaxial growth of AlN films, *Appl. Phys. Lett.* **81**; 2373
- Pierson, H.O., (1992), Handbook of chemical vapor deposition, Principles Technology and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, Second Edition, New Jersey, U.S.

Ponce F. A., Bour, D. P., (1996), Nitride-based semiconductors for blue and green light-emitting devices, *Nature London*, Sy. 386 , 351

Roth, J.R., (2001), *Industrial plasma engineering*, vol.II, IOP publish Bristol-Philadelphia

Slack, G. A., Tanzilli, R. A., Pohl, R., O.,Vandersande, J., W., (1987), Drop and recovery of thermal conductivity of AlN upon UV irradiation, *Phys. Chem. Solid*, **48**; 641

Tarımcı, C., Sarı H., (2006), *Vakum tekniği*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 1. Baskı

Thapa, R, Saha B, Chattopadhyay, K.K. (2009), Enhanced field emission from Si doped nanocrystalline AlN thin films, *Applied Surface Science*, **255**; 4536–4541

Türküz, M. C., (2006), *Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi ile Yapılan Zirkonyum Nitrid İnce Film Kaplamanın Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi ve Optimizasyonu*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Watchman, J. B., HABER R.A., (1993) *Ceramic films and coatings*, Noyes Publications, New Jersey, USA

Yamashita, H., Fukui, K., Misawa S., Yoshida, S., (1979), Optical properties of AlN epitaxial thin films in the vacuum ultraviolet region, *J. Appl. Phys.* **50**; 896

İnt. Kyn 1: [http://en.wikipedia.org/atomik\\_force\\_microscopy](http://en.wikipedia.org/atomik_force_microscopy)

İnt. Kyn 2: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bragg%27s\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Bragg%27s_law)

İnt. Kyn 3: <http://www.icmm.csic.es>

İnt. Kyn 4: <http://www.directvacuum.com>

Int. Kyn 5: [http:// www.physik.rwth-aachen.de](http://www.physik.rwth-aachen.de)

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Hasan SATILMIŞ  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Bolvadin - 30.07.1985  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**İletişim (Telefon/e-posta)** : 0555 734 7640/ hasansatilmis@aku.edu.tr

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

**Lise** : Bolvadin Anadolu Lisesi (2003)  
**Lisans** : Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (2010)  
**Yüksek Lisans:** AKÜ, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

AKÜ, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü (2011- 2013)

PAÜ, Teknoloji Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü (2013- Devam Ediyor)

### Tez Yayınları

H. Satılmış, M. Özkan, Ş. Taktak, Ö.F. Emrulloğlu, S. Pat, S. Ozen, AlN Thin Films Deposition on Glass Substrate by Radio Frequency Magnetron Sputtering, Science & Applications of Thin Films Conference & Exhibition (Kabul edildi)

H. Satılmış, M. Özkan, Ş. Taktak, Ö.F. Emrulloğlu, A.Ö. Akyüz, AlN Thin Films Deposition on Si Substrate by Radio Frequency Magnetron Sputtering, International Middle East Plasma Science Conference (poster)

### Diğer Yayınları

Rıfat İŞLER, Hasan SATILMIŞ, Taner KAVAS Investigation of Pure Cement Phase (C4AF) Hydration Behaviour under Magnetic Field(Tam metin) Seres 2011 International Ceramic, Glass Porcelain Enamel Glaze and Pigment Congress

Taner KAVAS, Neslihan BİRİNCİ, Hasan SATILMIŞ, Investigation of A New Raw Material and Additives to Improve Corrosion Performance of Mgo-Cao Based Refractories International Conference on Traditional and Advanced Ceramics (Poster)