RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri

Mehmet Kokkokoğlu

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Ocak, 2010

Some Physical Properties of Aliminium Nitride (AlN) Thin Films Produced By RF Sputtering Technique

Mehmet Kokkokoğlu

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Pysics

January, 2010

RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri

Mehmet Kokkokoğlu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Suat Pat

Ocak, 2010

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Mehmet KOKKOKOĞLU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "RF Saçtırma Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Nitrit (AlN) İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman **:** Yrd. Doç. Dr. Suat PAT

İkinci Danışman **: ------**

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. M. Selami KILIÇKAYA

Üye : Doç. Dr. İdris AKYÜZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şadan KORKMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat PAT

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Zafer BALBAĞ

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

RF SAÇTIRMA YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM NİTRİT (AlN) İNCE FİLMLERİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

MEHMET KOKKOKOĞLU

ÖZET

Alüminyum nitrit (AlN) ilk 1877 yılında bulunmuş fakat 1980'li yıllara kadar yüksek termal iletkenlik özelliği sayesinde mikroelektronik uygulamalarda kullanılabileceği anlaşılamamıştır. AlN en çok kovalent bağ yapabilen maddelerdendir ve hexagonel kristal yapıya sahiptir. En çok optoelektronikte, yüksek termal iletkenlik gerektiren çiplerin yapımında, askeri uygulamalarda ve piezoelektrik özelliğinden dolayı silikon alt taşların üzerine kaplanarak yüzey akustik dalga sensörlerinin yapımında kullanılır.

Bu çalışmada üretilen AlN ince filmler RF saçtırma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemde hedef materyal olarak alüminyum kullanılmıştır. Çalışma gazı olarak ise argon ve azot gaz karışımı farklı yüzdelerde kullanılmıştır. Bu plazma ortamında alüminyum hedef malzemeden sökülen Al atomları, N2 atomları ile reaksiyona girerek alt taş üzerine AlN ince filmleri oluşturulmuştur.

Farklı konsantrasyonlardaki gaz karışımlarına göre üretilen AlN ince filmlerin kalınlığı, absorbansı, geçirgenliği, sönüm katsayısı, kırılma indisi, yasak enerji aralığı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey görüntüsü incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kullanılan gaz karışımı plazması içerisindeki Ar ve N2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak AlN ince filmlerin yapılarının değiştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AlN; RF Saçtırma; AlN ince filmler; optik özellikler

SOME PHYSICAL PROPERTIES OF ALIMINIUM NITRIDE (AlN) THIN FILMS PRODUCED BY RF SPUTTERING TECHNIQUE

MEHMET KOKKOKOĞLU

SUMMARY

Aluminium nitride (AlN) was first synthesized in 1877, but until the middle of the 1980s it was not realized that it could be used for applications in microelectronics due to its relative high thermal conductivity. AlN is one of the materials which can make much covalent bonds. AlN has got a hexagonal cristal structure. It is mostly used in optoelektronics, production of chips that require high thermal conductivity, military applications. It is also used in production of surface acoustic wave sensors covered by silicone plates as it has piezoelectric properties.

In this study, AlN thin films were produced by using RF sputtering technique. The target material was aluminum square plate. For RF sputterig argon and nitrogen gas mixture was used at different percentages. In this mixed gas plasma the reaction between Al atoms from the target material and N2 atoms were formed AlN thin films on the substrate.

Produced AlN thin films in different gas concentrations were investigated acording to their properties of thickness, absorbance, transmittance, extinction coefficient, refractive index, energy band gap, surface roughness and morphology.

It was concluded from the obtained results that structure of AlN thin films depends on the concentration of Ar and N2 gases in the gas mixture plasma.

Key Words: AlN; RF Sputtering; AlN thin films; optical properties

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren, her türlü olanağı sağlayan ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat PAT'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım esnasında, çalışmalarımı yönlendiren, bana sürekli destek olan çok değerli hocam Sayın Prof. M. Selami KILIÇKAYA'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında her türlü yardım, ilgi ve dostluklarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Sinan TEMEL, N. Emre ÇETİN, Murat ÖZMUMCU ve Saliha ELMAS'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..... v
SUMMARY ……..... vi
TEŞEKKÜR……..... vii
ŞEKİLLER DİZİNİ……... x
ÇİZELGELER DİZİNİ……..... xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ……... xiii

1.GİRİŞ VE AMAÇ……... 1

2.PLAZMA İNCE FİLM ÜRETİM YÖNTEMLERİ……. 4

2.1. Termal Buharlaştırma Tekniği(Thermal Evaporation)…….. 4
2.2. Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği(e - beam Evaporation)…….. 7
2.3. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)……..…….. 10
2.4. Saçtırma(Sputtering) Tekniği……. 11
2.4.1. Doğru akım (DC) saçtırma tekniği……..……. 14
2.4.2. RF magnetron saçtırma tekniği…..……..... 15
2.4.3. Doğru akım (DC) magnetron sactırma tekniği……..... 16
2.5. Moleküler Demetli Epitaksi Tekniği(MBE)……..... 17
2.6. Termiyonik Vakum Ark (TVA)……..……..... 19

3.RADYO FREKANSI(RF) SAÇTIRMA YÖNTEMİ……..... 22

3.1.RF Saçtırma ile Nitrürleme……..... 24

İÇİNDEKİLER(Devam)

Sayfa

4.KULLANILAN CİHAZLAR VE HESAPLAMA MODELİ…… 28

4.1.UV-Vis Spektrometre…….. 28
4.2.İnterferometrik Ölçüm…… 30
4.3.İnce Film Kalınlık Ölçer……..... 34
4.4.Atomik Kuvvet Mikroskopu…….....….. 34
4.5.Hesaplama Modeli……..……..37

5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLERİ……..... 41

5.1.Giriş……..... 41
5.2.Deneysel Sistem……..... 41
5.3.AIN İnce Film Üretim Parametreleri……...…… 45
5.4.Üretilen AIN Numunelerinin Analizleri……..... 45
5.4.1.İnterferometrik method ile kalınlık ölçümleri…….. 46
5.4.2.UV-VİS geçirgenlik sonuçları……..... 48
5.4.3.UV-VİS absorbans sonuçları…….……..... 51
5.4.4.AIN ince filmlerin reel kırılma indisi (n) hesaplamaları……..…….... 53
5.4.5.AIN numunelerinin sönüm katsayılarının (k) hesaplanması……... 56
5.4.6.AIN numunelerinin yasak enerji aralıkları hesaplamaları……... 59
5.4.7.AIN numunelerinin AFM görüntüleri……..……..... 62
5.4.8.AIN numunelerinin yüzey pürüzlüğü ölçümleri……. 66
5.5.AIN Numunelerinin Analiz Sonuçları …….…..... 68

6.SONUÇ ve TARTIŞMA……..... 70

İÇİNDEKİLER(Devam)

Sayfa

7.KAYNAKLAR……..... 73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2.1. Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi…….....…5
2.2. Termal buharlaştırma sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi…….....6
2.3. Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi…….....…8
2.4. Elektron demetli buharlaştırma sisteminin farklı bir dizayndaki gösterimi….9
2.5. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) sisteminin basit sematik gosterimi.....…….10
2.6. Saçtırma (Sputtering) işleminin şematik gösterimi…….....…12
2.7. Saçtırma (Sputtering) sisteminin şematik gösterimi…….....13
2.8. DC saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi…….....…15
2.9. RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi….....16
2.10. Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi…….....……18
2.11. Termiyonik vakum ark sisteminin şematik çizimi…….....20
3.1. RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi…….....…23
4.1. Kullanılan UV-Vis spektrometresi…….....28
4.2 Bir UV-VIS spektrometresinin temel bilesenleri…….....29
4.3 İnterferometrik cihazın basit gösterimi.....…….....30
4.4 Dalgalanma ile kırılma spektrumunun örneği…….....31
4.5 İnce film kalınlık ölçüm cihazı…….....34
4.6 Kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu…….....35
4.7. AFM'in çalışma prensibinin şematik gösterimi.....…….....36
4.8. Sınırlı kalınlıktaki geçirgen taban üzerinde ince filmin absorbsiyon sistemi.....38
4.9. Tauc metodu ile yasak enerji aralığı hesabı…..…….....40
5.1. RF saçtırma sisteminin fotoğrafı…….....……43
5.2. Hedef elekrot…….....……44
5.3. RF saçtırma sisteminin vakum odası.....……44
5.4. Argon konsantrasyonuna göre AlN ince filmin üretim oranı grafiği.....……..48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

5.5. AlN ince filmlerin UV-ViS ile ölçülen geçirgenlik-dalga boyu değerleri.....49
5.6. AlN ince filmlerin UV-ViS ile ölçülen absorbans dalgaboyu grafikleri ……....53
5.7. AlN ince filmlerin n kırılma indisi-dalga boyu grafikleri.....56
5.8. AlN ince filmlerin Ar konsantrasyonuna göre kırılma indisi değerleri……...56
5.9 AlN ince filmlerin sönüm katsayısı-dalga boyu grafikleri…….....57
5.10. AlN ince filmlerin %Ar konsantrasyonuna göre sönüm katsayısı grafiği….....59
5.11. AlN ince filmlerin $(\alpha h\upsilon)^2$ – hυ grafikleri……..…….....….61
5.12. AlN ince filmlerin Ar konsantrasyonuna göre yasak enerji grafiği……..…..…62
5.13. %10Ar-%90N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…..…63
5.14. %20Ar-%80N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…..…63
5.15. %30Ar-%70N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…....64
5.16. %40Ar-%60N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…..…64
5.17. %50Ar-%50N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…..…64
5.18. %60Ar-%40N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…….65
5.19. %70Ar-%30N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…….65
5.20. %80Ar-%20N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…….65
5.21. %90Ar-%10N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri…....66
5.22. AlN ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre yüzey pürüzlülüğü……...67

ÇİZELGE DİZİNLERİ

Çizelge **Sayfa**

5.1. Deneysel parametreler ……45
5.2. Filmetrics F_{20} interferometrik ölçüm cihazıyla ölçülen kalınlık değerleri……...46
5.3. AlN ince filmlerin gaz konsantrasyonuna göre heasaplan üretim oranı….....47
5.4. AlN ince filmlerin (λ=550nm) kırılma indisi değerleri …….……55
5.5. AlN ince filmlerin (λ=550nm) sönüm katsayısı değerleri ……..58
5.6. AlN ince filmlerin farklı Ar-N_2 konsantrasyonlardaki yasak enerji aralıkları….61
5.7. AlN ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri.…….67
5.8. AlN ince filmlerin üretim parametreleri ve ölçüm sonuçları…….....69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
AlN	Alüminyum nitrit
N_2	Azot
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
InP	İndiyum Platin
k	Sönüm Katsayısı
T	Geçirgenlik
Dk	Dakika
nm	Nanometre
eV	Elektron Volt
E_g	Enerji Aralığı
λ	Dalga boyu

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (Devamı)

Simgeler	**Açıklamalar**
α	Absorbans
d	Film kalınlığı
i	Tam sayı
L	Film kalınlığı
W	İş
Q	Enerji
Å	Angstrom
^0C	Santigrad Derece
μ	Mikron
μm	Mikron metre
mbar	Milibar

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
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 Frekensı
UV-Vis	Mor ötesi ve görünür bölge

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ (Devamı)

Kısaltmalar	Açıklamalar
Ra	Aritmetik ortalama pürüzlülük
RMS	Kuadratik ortalama pürüzlülük
et al,	Diğerleri
vd	Diğerleri

1. GİRİŞ

Alüminyum nitrit (AlN) geniş yasak enerji aralığı (6.2 eV), yüksek ısıl iletkenliği, düşük ısıl genleşmesi, yüksek kimyasal ısıl kararlılığı ve yüksek yüzey akustik dalga hızı nedenleriyle teknolojide oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yamashita, et al., 1979; Slack, et al., 1987; Ohta, et al., 2002). Ayrıca AlN ince film bulk (yığın) akustik dalga rezanatörlerinde kısa dalga boyu yayınlayıcıları, elektronik sıkıştırmalar ve piezoelektrik tabaka olarak mikroelektronik ve optoelektronik alanlarında ümit verici malzemelerdendir (Amano, et al., 1986; Ponce and Bour, et al., 1996).

Yarıiletken 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 yarıiletkenler kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yarıiletkenlerden en çok adı duyulmuş olan GaAs yarıiletkenidir. III-V grubu yarıiletkenler diye adlandırılan bu malzemeler elektronik aygıt tasarımcısına geniş bir spektrumda değişik fiziksel özellikler sunmakta ve önemli avantajları olan hetero-yapı ve kuantum aygıtlarının oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır. Bu yarıiletkenlerin uygulamalarına örnek olarak son yıllarda çok büyük ilgi çeken AlN, GaN ve AlGaN yarı-iletkenleri gösterilebilir. 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. III-V grubu yarı-iletkenlerin diğer bir önemi de özellikle optoelektronik alanında yeni bir çığır açmaları olmuştur. Bu yeni yarı iletkenler sayesinde lazer, detektör gibi aygıtların yarıiletkenler kullanılarak geniş bir dalga boyu spektrumunda yapılabilmesini ve optoelektronik entegre devrelerin entegre devre üretimini tanımlamaktadır (Cellek ve Gökden, 2001).

Literatür araştırmalarında AlN ince film üretimi için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; atmalı lazer depolama ve moleküler demeti epitaksiyeli kullanılarak yüksek kalitede AlN ince filmler üretilebilmektedir. Ayrıca AlN ince filmlerin üretimi için RF(radyo frekensı) magnetron saçtırma, mikrodalga plazma destekli kimyasal buhar depolama, DC reaktif magnetron saçtırma gibi yöntemler de kullanılmaktadır (Thapa, et al., 2009). Bu yöntemler arasında saçtırma yöntemleri sanayide en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Yukarıdaki AlN ince film üretim yöntemlerinin çoğunda AlN hedef malzemesi kullanılması yanında aynı zamanda yüksek maliyetli sistemlerdir. Bu çalışmada üretilen AlN ince filmler ise RF saçtırma yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemde hedef materyal olarak alüminyum (Al) ince folyo kullanılmıştır. Çalışma gazı olarak ise %xAr+%(100-x) N_2 gazı karışımının farklı yüzdelerinde (x=10, 20, 30, 40,.....,90 oranlarında) argon-azot gaz karışımı plazması ortamında Al hedef malzemeden sökülen Al atomlarının N atomları ile reaksiyona girerek alt taş üzerine ince filmleri oluşturulmuştur. Bu reaksiyon sırasında reaksiyondaki Al ve N atomları miktarına bağlı olarak AlN ince filmlerin yapılarında bir takım değişiklikler oluşmuştur. Bu değişikliklerin optik, interferometrik ve yüzey özelliklerini belirlemek için Uv-Vis spektrometresi, interferometrik cihaz, ince film kalınlık ölçüm cihazı, Atomik Kuvvet Mikroskobu ve Tauc metodu kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kullanılan gaz karışımı plazması içerisindeki Ar ve N_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak AlN yapılarının değiştiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise AlN ince filmleri üretirken alüminyum ve azot atomlarının kimyasal 1:1 eşleştikten sonra alt taş üzerine yapıştırılması gerekmektedir. Fakat ortamın gaz konsantrasyonu göre Al ve N atomlarının oluşturdukları bölgedeki azot atomlarının eksikliğine ve fazlalığına bağlı olarak AlN ince filmlerin içerisindeki eşleşmemiş alüminyum atomlarının da alt taş üzerine yapışarak orada reaksiyona girmesi sonucu değişimler meydana gelmiştir.

Al, Ar ve N_2 gaz karışımında plazma ortamında meydana gelen reaksiyonların ise aşağıdaki şekilde olabileceği düşünülmüştür (Grill, 1993).

İyon oluşturan reaksiyonlar:

$Ar + N_2 \rightarrow Ar + N^+ + N^-$

$Ar^- + N_2 \rightarrow Ar + N^+ + N^- + e^-$

$e + N_2 \rightarrow N_2^- \rightarrow N + N^-$

$Al^+ + N^- \rightarrow AlN$ (Baskın olmayan, Grill, 1993)

$Al + M \rightarrow Al^+ + e^-$

$Al^- + N^+ \rightarrow AlN$ (Baskın olan, Grill, 1993)

Foton oluşturan reaksiyonlar:

$Ar + N_2 \rightarrow Ar^* + N^+ + N^- \rightarrow Ar + N^+ + N^- + h\upsilon$

$N^* \rightarrow N + h\upsilon$

$N_2^* \rightarrow N_2 + h\upsilon$

$e^- + Al \rightarrow e^- + Al^* \rightarrow e^- + Al + h\upsilon$

$e^- + N_2 \rightarrow e^- + N_2^* \rightarrow e^- + N_2 + h\upsilon$

$e^- + AlN \rightarrow e^- + AlN^* \rightarrow e^- + AlN + h\upsilon$

Sonuç olarak elde ettiğimiz AlN ince filmlerin yapılarında meydana gelen değişikliklerin sebebi, farklı gaz karışım oranlarına göre oluşan yapıların Al ve N katkılı olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca optiksel olarak da bir takım değişimler meydana gelmektedir. Bu çalışma sonucunda farklı konsantrasyonlardaki gaz karışımlarına göre farklı kalınlık, absorbans, geçirgenlik, sönüm katsayısı, kırılma indisi ve yasak enerji aralıkları ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey görüntüleri de incelendiğinde azot gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişimler gözlenmiştir.

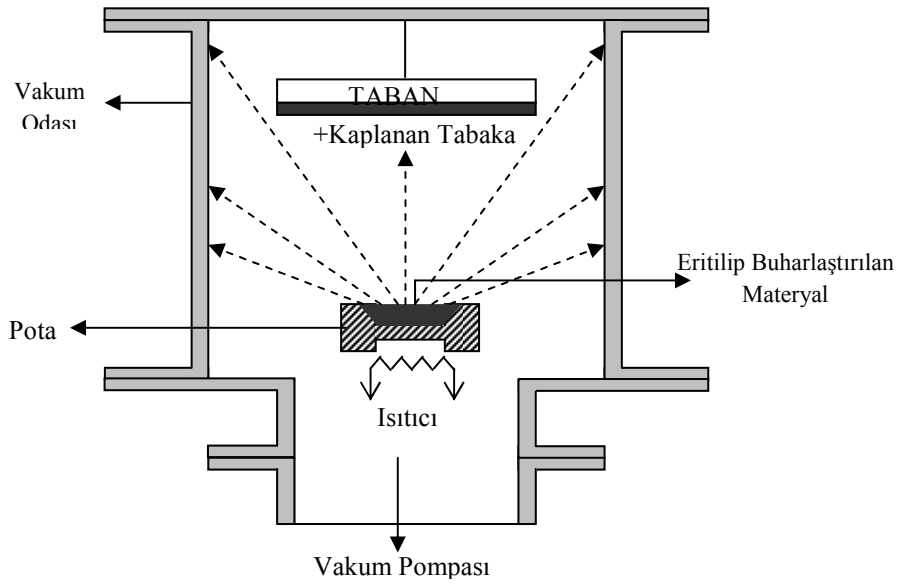
Ayrıca bu çalışmada AlN ince film üretim yöntemleri de kısaca anlatılmış ve bu yöntemler kıyaslanmıştır. İnce filmleri karakterize etmek için kullanılan ölçüm cihazları da ayrı bir bölümde anlatılmıştır.

2. PLAZMA İNCE FİLM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

1800'lü yıllardan beri bilinmekte olan, ancak son 50 senedir kendisine endüstride bir yer bulabilmiş olan çeşitli ince film üretim yöntemleri mevcuttur. Bilimsel araştırma çalışmalarında ve teknolojide, sol gel, elektrokimyasal kaplama, sprey püskürtme gibi birçok ince film üretim teknikleri mevcuttur, ancak üretim parametrelerinin kontrol edilebilmesi açısından vakumda ince film kaplama teknikleri son yıllardaki teknolojik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Vakumda ince film kaplama tekniklerinden bazıları; termal buharlaştırma, elektron demetli buharlaştırma, kimyasal buhar biriktirme, RF ve DC saçtırma, RF ve DC magnetron saçtırma, moleküler demetli epitaksi, termiyonik vakum ark vb. dir. RF saçtırma tekniği dışındaki üretim yöntemleri bu bölümde, RF saçtırma yöntemi ise detaylı olarak üçüncü bölümde anlatılacaktır.

2.1. Termal Buharlaştırma Tekniği(Thermal Evaporation)

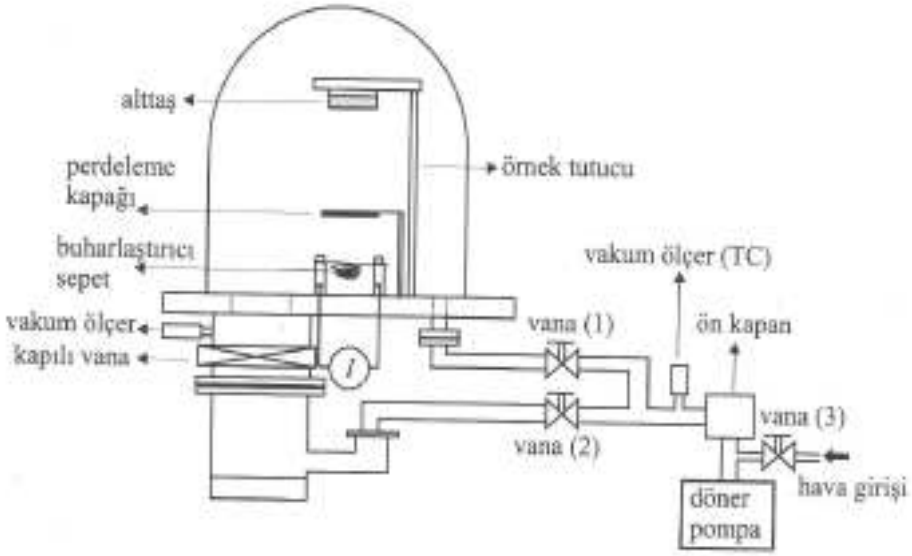
Termal buharlaştırma tekniği, yüksek vakum (10^{-7} mbar) altında, çoğunlukla metal tabanlı malzemelerin elektrik akımı ile ısıtılarak buharlaştırılması işleminin yapıldığı ince film kaplama yöntemidir (Tarımcı ve Sarı., 2006). Şekil 2.1.'de termal buharlaştırma sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Termal buharlaştırma sistemin şematik gösterimi (Akan, 2003).

Bu yöntem ile yapılan metal kaplama işleminin birçok uygulaması vardır. Yarıiletken malzemelerin metal kontaklarının yapılması, yüzey metal kaplama işlemleri bu yöntemle yapılan işlemlere örnek olarak verilebilir(Tarımcı ve Sarı., 2006).

Termal buharlaştırıcılarda, buharlaştırılacak malzemeler genellikle erime sıcaklığı oldukça yüksek olan metalden, örneğin volfram (tungsten), yapılmış bir pota vakum odasının içine yerleştirilir. Isıtma işlemi bu potanın bağlı olduğu iki elektrot arasında belli bir elektrik gerilimi uygulanmak suretiyle potadan akım geçirerek sağlanır. Pota, üzerinden geçen büyük akımdan dolayı içindeki kaynak malzemeyi de buharlaştıracak kadar ısıtır ve böylece buharlaştırma işlemi başlar ve daha sonra hızlı bir şekilde vakum odası içinde her doğrultuda buharlaşır. Vakum odası içinde herhangi bir yere yerleştirilen taban üzerine, istenilen kalınlıkta buharlaşan materyalin kaplaması yapılabilir (Tarımcı ve Sarı., 2006; Akan, 2003).



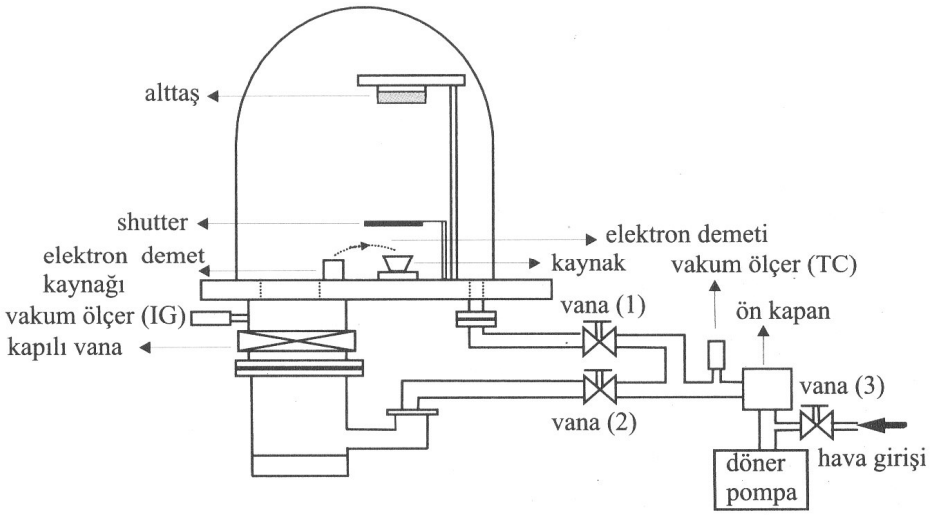
Şekil 2.2. Termal buharlaştırma sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi(Tarımcı ve Sarı., 2006).

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

2.2. Elektron Demetli Buharlaştırma Tekniği (e - beam Evaporation)

Metal kaplama veya ince film ürtetim işleminde yaygın olarak kullanılan bir başka teknik elektron demetli buharlaştırıcıların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntem ilke olarak termal buharlaştırma yöntemi ile hemen hemen aynı özelliklere sahiptir. Bu yöntemin en belirgin farklılığı buharlaştırılacak kaynak dolaylı olarak değil de direk olarak ısıtılmasıdır. Bu yöntemde kaynakları ısıtmak için termal ısıtıcılara göre daha etkili enerji transferi gerçekleştirilir. Buharlaştırılacak kaynak malzemeyi ısıtma işlemi termal buharlaştırıcıda olduğu gibi pota üzerinden geçirilen akım yerine pota içine yerleştirilen kaynak malzeme üzerine hızlandırılmış ve odaklanmış elektron demeti yöneltilerek yapılmaktadır. Isıtma işlemi elektron demeti ile yapıldığından, elektron demetinin çapını küçülterek kaynağı etkin biçimde ve oldukça homojen bir şekilde ısıtmak mümkündür.

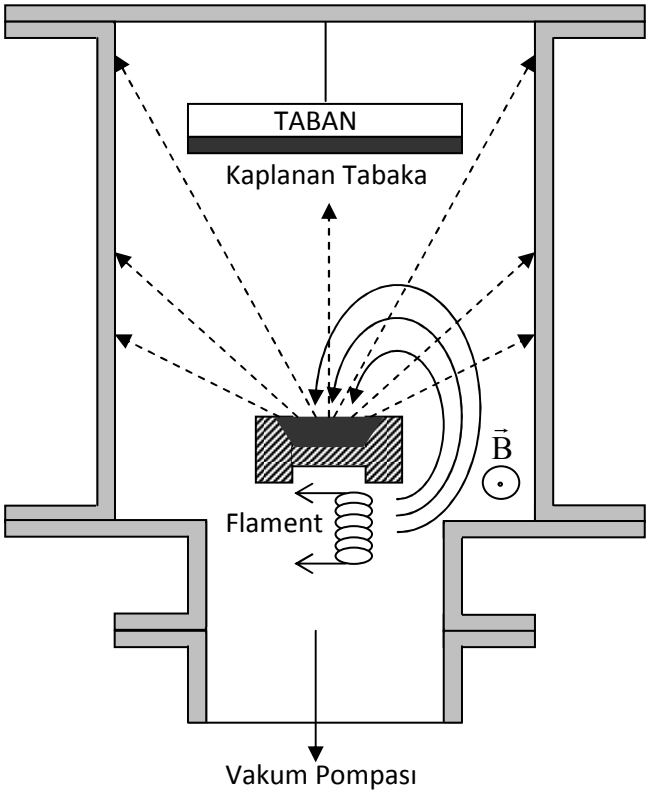
Ayrıca pota su ile soğutulabildiğinden potanın yapıldığı metalin buharlaşması önlenerek film üzerinde oluşacak safsızlık da iyileştirilmiş olur. Direk ısıtma yapılabildiğinden buharlaşma sıcaklığı yüksek olan malzemelerin bu yöntemle buharlaştırılması yüksek erime sıcaklıklarına sahip pota bulma sorununu da çözdüğü için daha kolay olmaktadır. Şekil 2.3' de elektron demetli buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi görülmektedir (Tarımcı ve Sarı., 2006).



Şekil 2.3. Elektron demetli buharlaştırma sistemi şematik gösterimi(Tarımcı ve Sarı., 2006).

Vakum odasının içerisindeki potada buharlaşan atomların ortalama serbest yolları, taban 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^{o} 'lik bir yörünge izlemesini sağlar. Bu yörünge, bir anot gibi görev yapan buharlaştırıcı pota içindeki erimiş metale ulaşıncaya kadar elektronların enerji kazanmasına yetecek bir yörüngedir. Sıcak filamandan yayınlanan safsızlıklar buharlaşan metale ya da bu geometrideki tabana ulaşmaz. Bu nedenle filaman potanın altına konmuştur. Bu durum Şekil 2.4' de görülmektedir (Watchman and Haber, 1993; Akan 2003).

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



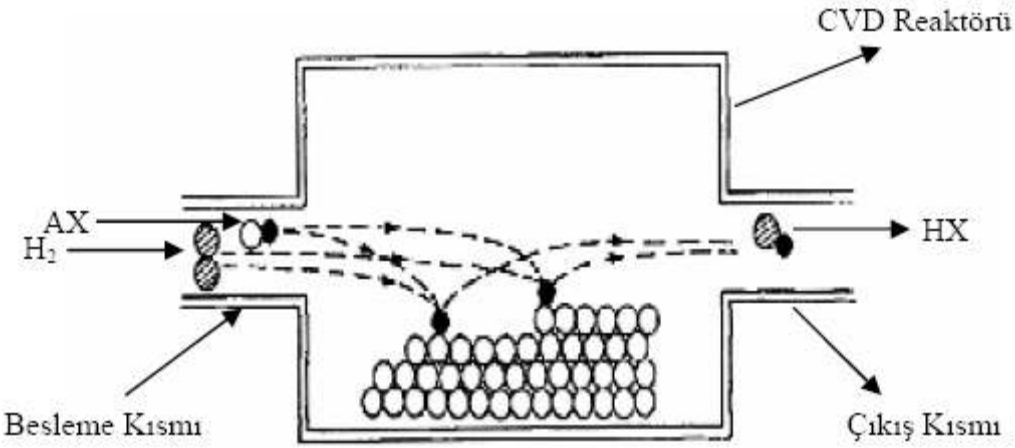
Şekil 2.4. Elektron demetli buharlaştırma sisteminin sistemin farklı bir dizayndaki şematik gösterimi (Akan, 2003).

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

2.3. Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (Chemical Vapor Deposition, CVD)

Kimyasal buhar depolama (CVD) çok kullanılan bir malzeme üretim teknolojisidir. En çok yüzeye ince film kaplama işlemi için kullanılır ayrıca yüksek saflıkta kütlesel 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 2.5 de kimyasal buhar biriktirme sisteminin basit şematik gösterimi verilmiştir.



Sekil 2.5. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) sisteminin basit şematik gösterimi (Bunshah, 2001).

Kimyasal buhar biriktirme yönteminin en önemli avantajı kaplamanın, kaplanacak materyali her tarafta homojen olarak kaplaması ve bunun sonucu olarak kaplanmayan yer bırakmamasıdır. Ayrıca kaplama stokiyometrisi, morfolojisi, kristal yapısı ve yönü, kaplama parametreleri değiştirilerek kontrol altına alınabilir. Bazı yüksek ergime noktasına sahip elementler (tungsten, tantal, karbon gibi) bu yöntem ile kaplanabilirler. CVD tekniğinin bir diğer avantajı da çok yüksek saflıkta depolamaya imkân vermesidir. Diğer avantajları göreceli olarak yüksek depolama oranları ve genellikle diğer pek çok tekniğe göre yüksek vakuma gerek duymamasıdır (Bunshah, 2001; Pierson, 1992).

Bu yöntemde, biriktirilmesi istenen malzeme, alt taş üzerine kimyasal buhar olarak biriktirilir. Bu buhar, alt taş üzerinde kimyasal olarak parçalanarak film tabakası oluşturulur. Reaksiyon sonucu çıkan, istenmeyen ürünler buhar olarak sistemden uzaklaştırılır (http://borneinstein.tripod.com/physics_engineering/thinfilm.html).

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

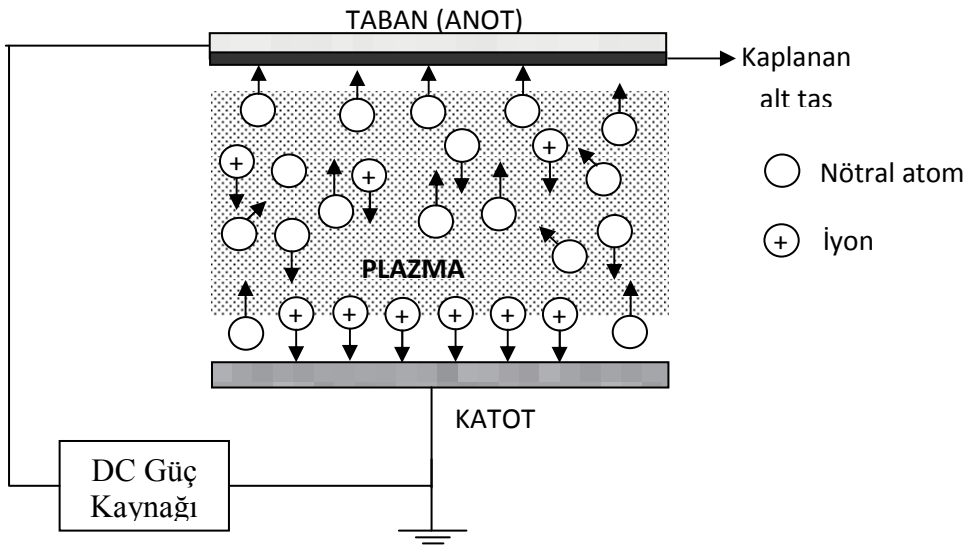
2.4. Saçtırma (Sputtering) Tekniği

Saçtırma yöntemi ingilizcesi sputtering olan ve kelime anlamı ile katı bir yüzeyden atomları mekanik olarak söküp, koparma işlemine verilen isimdir (Tarımcı ve Sarı., 2006). Saçtırma işlemi bir metal yüzeyine vuran iyonların bu metal yüzeyinden

metal atomlarını sökmesi olayıdır (Campbell, 1978). Vakum teknolojisinde bu yöntem kullanılarak ince film kaplama tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemle, katı bir kaynak, yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek kaynaktan kopartılan atom ve/veya moleküller bir alt taş üzerinde ince film oluşturur (Tarımcı ve Sarı., 2006; Johnson, 2005).

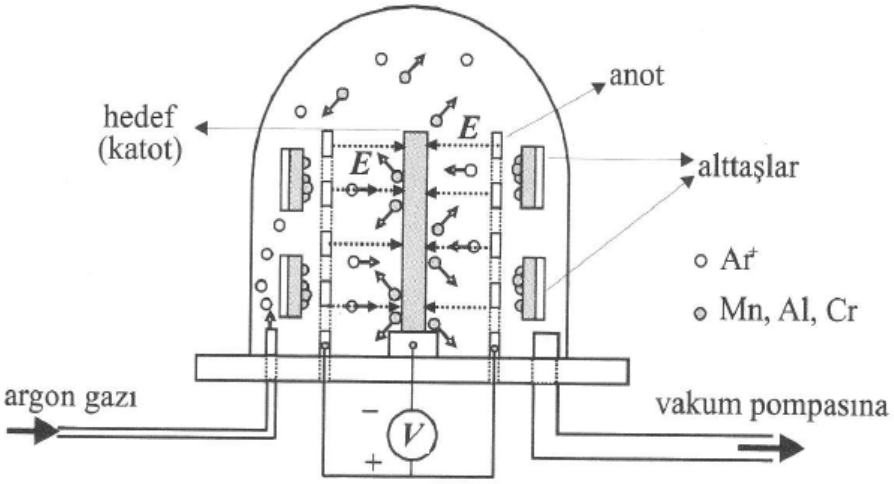
Saçtırma tekniği, metal buharlaştırmaya göre daha hızlı ve pratik olduğu için endüstride geniş bir kullanım alanı vardır. Bu yöntemin sıkça kullanıldığı yerler; bina yüzeylerinde kullanılan ve kırmızı altı ışımayı yansıtan camların, yansıma önleyici gözlük camlarının, görünür bölge yansıtıcı aynaların ve filtrelerin vb. kaplanması olarak sayılabilir.

Bu teknik ile metal kaplama işlemi asal gaz ortamında yapıldığı için işlem basıncı diğer benzer düzeneklere göre göreli olarak daha yüksektir.



Şekil 2.6. Saçtırma işleminin şematik gösterimi(Akan, 2003).

Şekil 2.6.'da saçtırma işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Saçtırma işlemi için öncelikle elektrotlar arasına bir soy gaz pompalanır. Elektrotlar arasına uygulanan voltaj ile bu elektrotlar arasında bir plazma meydana getirilir. Elektrotlar arasında meydana gelen plazma, katodun ön kısmında bir potansiyel düşümü oluşturur. Plazma içindeki pozitif iyonlar bu potansiyel düşümünde katoda doğru hızlanırlar ve bu hızla katoda vururlar. Katoda vuran pozitif iyonlar ikincil elektron emisyonu yapabildiği gibi katodun lokal ısınmalarına ve aşınmasına neden olur. Katot yüzeyinin bu bölgelerinden bir süre sonra nötral metal atomları sökülmeye başlar. Sökülen bu nötral atomlar katodun hemen karşısında bulunan anotun üzerindeki taban üzerine kaplanırlar (Thornton, 1983; Akan, 2003). Şekil 2.7' de saçtırma sisteminin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.7. Saçtırma (Sputtering) sisteminin şematik gösterimi(Tarımcı ve Sarı., 2006)

Üç tür saçtırma yöntemi mevcuttur. Bunlar, radyo frekansı(RF), doğru akım(DC) ve RF magnetron saçtırma yöntemleridir. Saçtırma işlemi burada kullanılan güç kaynağının cinsine göre, hedef malzemeye ve arzulanan film büyüme oranına göre değişik isimlerle anılır (Tarımcı ve Sarı., 2006; Johnson, 2005). Örneğin elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir Radyo Frekans aralığında frekansa sahip voltaj

titreşimlerini üreten kaynak ise elde edilen işlem RF saçtırma olarak isimlendirilirken, elektrotlar arasına uygulanan voltaj bir doğru akım üreten güç kaynağı olduğunda DC saçtırma adını almaktadır. Ayrıca elektrotlar arasındaki pozitif iyon sayısını arttırmak için, katodun arka kısmında mıknatıs kullanılır. Bu şekilde yapılan saçtırma işlemi, Magnetron Saçtırma olarak adlandırılır (Akan, 2003; Johnson, 2005).

Saçtırma tekniğinin verimi, hedeften kopan parçacık sayısıyla hedefe çarpan parçacık sayısının oranı olarak tanımlanır. Saçtırma verimi; hedef materyale bombardıman iyonlarının kütlesine, bombardıman iyonlarının enerjisine, gönderilen iyonların yönelimine, açısına ve basınca bağlıdır.

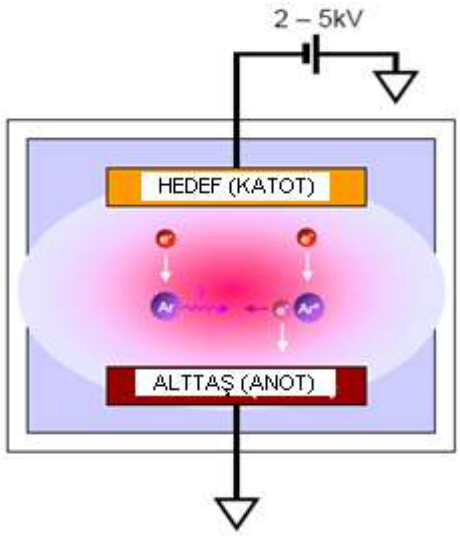
Saçtırma tekniğinin uygulama alanları:

a-) İnce film depolama
-Mikroelektronik aygıtlar
-Dekoratif kaplamalarda
-Koruyucu kaplamalarda
b-) Etching (kazıma)
-Mikroelektroniklerin dizaynında
c- Yüzey İşleme
-Sertleştirme, aşındırma

2.4.1 Doğru akım (DC) saçtırma tekniği

Hedef ve alt taş iki paralel elektrota yerleştirilir. Elektrotlar yani alt taş ve hedef vakum odası içine yerleştirilir ve vakum odası bir soy gazla doldurulur. Elektrotlara DC voltaj 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 (E. Chenn; 2004). DC saçtırma tekniği ile ince film üretiminin şematik olarak gösterimi Şekil 2.8 de verilmiştir.

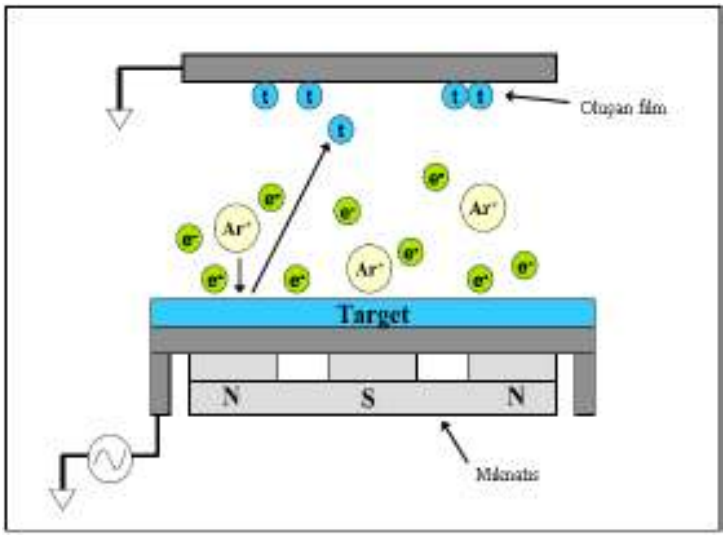


Şekil 2.8. DC saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi

2.4.2. RF Magnetron saçtırma tekniği

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 alttaşa ulaşması manyetik alan sayesinde önlendiğinden alttaş üzerindeki filmin ısınması da bir dereceye kadar önlenmiş olur. Isıya duyarlı örnekler için bu yöntem özellikle tercih edilmektedir (Tarımcı ve Sarı., 2006; Johnson, 2005). RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. RF magnetron saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi (Johnson, 2005).

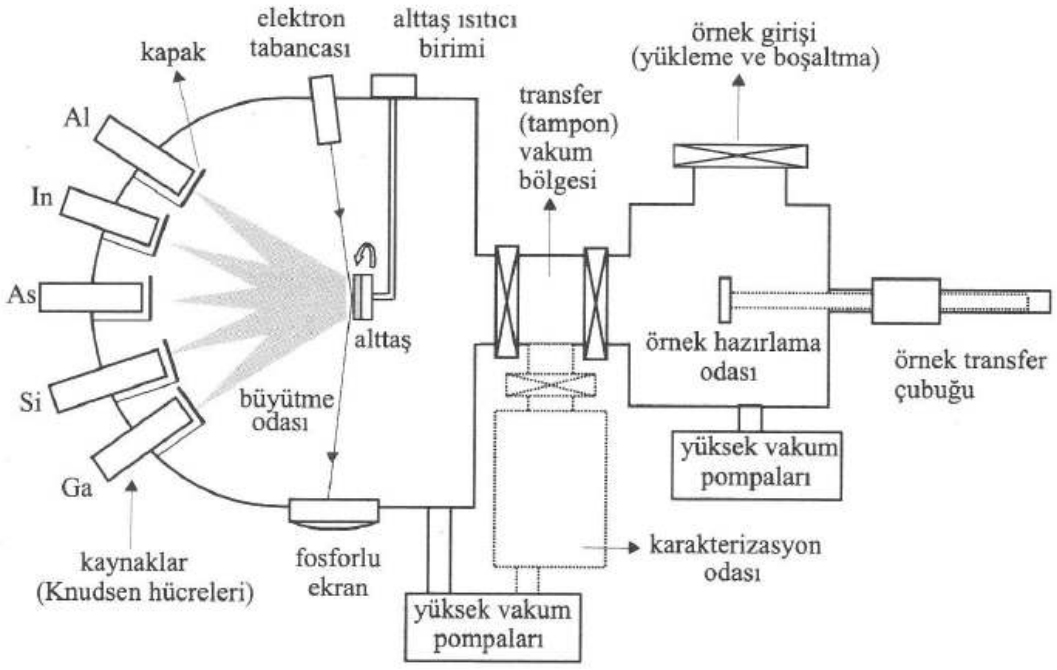
2.4.3. Doğru akım (DC) magnetron sactırma tekniği

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

2.5. Moleküler Demetli Epitaksi Tekniği(Moleculer beam Epitaxy, MBE)

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

MBE tekniği ile genellikle III-V, II-VI türü yarıiletkenler olarak bilinen GaAs, GaN, GaAlAs, InP gibi tek kristal ince filmler ve bu filmlerin değişik katmanlarının üst üste büyütülmesiyle kuantum kuyu lazerler, süperörgülü yapılar, optik dalga klavuzları, optoelektronik devre elemanları, modülatörler gibi karmaşık heteroyapıların üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bunların yanı sıra yüzey özelliklerinin incelenmesi için değişik türden metal filmleri ve manyetik bileşikleri de bu teknikle büyütmek mümkündür (Tarımcı ve Sarı., 2006). Şekil 2.10' da bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi görülmektedir.



Şekil 2.10. Bir MBE düzeneğinin şekilsel gösterimi(Tarımcı ve Sarı., 2006).

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

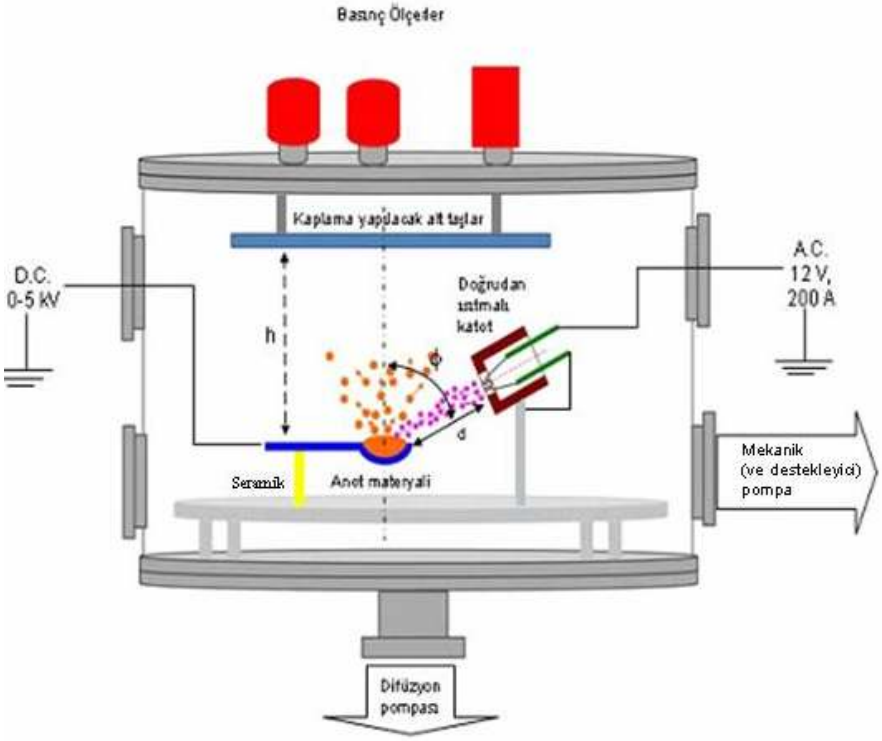
- Diğer benzer tekniklerle mukayese edildiğinde nispeten düşük sıcaklıklarda kristal büyütme,
- Keskin film ara yüzeyleri elde etme,
- Tek sıralı moleküller mertebesinde film büyütme hassasiyetine sahip olma,
- Çok hassas film kalınlık kontrolü,
- Büyütme esnasında film kalınlığının ve optik parametrelerin ölçülebilmesi,
- Katkılama ve özellikle de delta katkılama (filmin çok küçük bir bölgesinin katkılanması işlemi) yapılabilmesi

MBE tekniği ile büyütülecek filmlerin kalitesini ve bileşimini belirleyecek birkaç önemli etken vardır. Bunlar vakum kalitesi, filmlerin büyütüldüğü alt taşın sıcaklığı, kaynaktan gelen molekül akısı, kullanılan molekül kaynaklarının saflığıdır. Alttaş sıcaklığı ile gelen molekül akısı uygun bir şekilde ayarlanarak istenilen bileşenlerde filmler elde edilebilir.

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

2.6 Termiyonik Vakum Ark (TVA)

Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemi, yüksek vakumda (~10^{-6} Torr) anot materyalinin plazmasının üretilebilmesi için geliştirilen bir yöntemdir. Şekil 2.11 de TVA sistemi şematik olarak gösterilmiştir (Balbağ, 2009).



Şekil 2.11. Termiyonik vakum ark sisteminin şematik çizimi (Balbağ, 2009)

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

Elektrotlar arasına uygulanan voltaj 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.

TVA tekniği ile yüksek vakum (high vacuum) ya da çok yüksek vakum (ultra high vacuum) şartlarında çalışmak mümkündür. Bu ise kaplamanın kalitesini arttırarak oksitlenme veya başka gazlardan filme gelebilecek etkileri en aza indirmektedir. Diğer tekniklerin bazılarında yüksek vakum şartlarına ulaşılamamaktadır. 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 alt taş olarak plastikte dahil herhangi bir taban kullanılabilmektedir. Bağımsız güç kaynakları ile eşzamanlı olarak birden fazla materyalin depolanması TVA tekniği ile gerçekleştirilebilir (Balbağ, 2009).

3. RADYO FREKANSI (RF) SAÇTIRMA YÖNTEMİ

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 yöntemle, katı bir kaynak, yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek kaynaktan kopartılan atom ve/veya moleküller bir alt taş üzerinde ince film oluşturur.

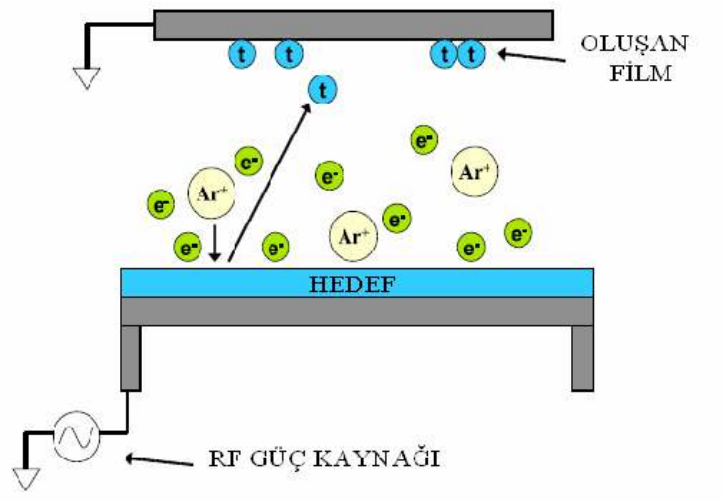
RF saçtırma sistemi; vakum odası, vakum pompası, radyo frekansı güç kaynağı, eşleştirme ünitesi olmak üzere dört ana kısımdan oluşur (Grill, 1993; Johnson, 2005).

Vakum pompası; vakum odasını düşük basınç değerlerine çekmek amacıyla kullanılmaktadır. Basıncın düşürülmesinin nedeni; vakum odasını havadaki diğer gazlardan temizlemek ve iyonize olmuş parçacıkların ortalama serbest yolunu arttırarak yüksek enerjili çarpışmalar elde etmektir. Böylece plazması oluşturmak istenen materyalin saflığını ve kalitesi arttırılabilir (Grill, 1993).

Radyo frekansı güç kaynağı ile elektromanyetik dalgalar oluşturulur. Elektromanyetik dalga; elektrotların her yarım devirde katodun anot, anodun katot görevi yapmasıyla oluşur. Bu dalgalar eşleştirme ünitesi sayesinde vakum odası içinde titreşim frekansı oluşturarak hedef materyalin iyonize olmasını sağlar. Frekansın yüksek olması plazma deşarjını sürekli hale getirir (Grill, 1993; Johnson, 2005).

Vakum odasında meydana gelen olayı somut bir duvara çelik topların fırlatılmasına benzetebiliriz. Toplar duvara çarptıkça duvardan ufak parçacıklar koparırlar. Bu olayın devamlılığı halinde ince katmanlar oluşur. Burada anlatılanlar

saçtırma sisteminin çalışma prensibine örnektir. Çelik topu iyonlaşmış atomlar, somut duvarı ise hedef materyal olarak düşünebiliriz. RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi Şekil 3.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. RF saçtırma sistemiyle film oluşumunun şematik gösterimi

RF saçtırma yöntemi ile depolanan ve sistemde kullanılan yalıtkan ve yarıiletken malzemeler şunlardır:

Yarıiletken: Si-Ge
III-V grubu bileşikleri: GaAs,GaSb,GaN ve AlN
II-VI grubu bileşikleri: CdSe,CdS
IV-VI grubu bileşikleri: PbTe
Karşı koyan yarı iletkenler: SiC
Ferroelektrik bileşikler: $Bi_4Ti_3O_{12}$
Oksitler: In_2O_3, SiO_2, PtO, Bi_2O_3, ZnO, CdO
Ateşe dayanıklı camlar ve plastikler

Saçtırma yöntemlerinin karşılaştırılması;

- DC saçtırma yöntemi ile ince film depolama yalıtkan malzemelerin depolanması için uygun değildir. Çünkü hedef yüzeyinde oluşan pozitif iyon yükü akışını geri çevirir ve saçtırma sürecini durdurur.
- RF saçtırma yönteminde ise iletken elektrotlar kullanmak zorunlu değildir.
- 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 (Vp) göre negatif olan sabit bir DC potansiyel ile devam ettirilmelidir.
- Pozitif bir Vp 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.

3.1. RF Saçtırma ile Nitrürleme

Nitrürleme, artan yorulma ömrünün ve artan direnç gösterimini gerektiren parçaların yüzey sertliği için kullanılan işlemlerden bir tanesidir. Nitrürleme ayrıca işlenmiş metallerin korozyon direncini geliştirebilir. Nitrürleme ile sertliğin başarısı yüksek sıcaklıklarda bile korunur. 75 μm yukarısındaki derinlikler ile yüksek sertliğin bir durumu, herhangi bir ek sıcaklık davranışı olmaksızın elde edilebilir, özellikle parçaların hacim bozulmasını önler. Metallerin ve alaşımların geniş bir türü nitrürlenebilir: demir, alüminyum ve krom içeren düşük-alaşım çelikleri, çelik aletler, paslanmaz çelikler, titanyum ve alaşımları gibi (Grill, 1993). Endüstride ise en yaygın kullanılan nitrürlenmiş bileşikler TiN, AlN, TiAlN gibi alaşımlarıdır.

Uygun termal nitrürleme 480^0C civarındaki sıcaklıklarda özellikle amonyumun ayrışmasıyla oluşur. Zaman bakımından uzundur ve istenen derinliğin elde edilmesi 50

saatten daha uzun olabilir. Plazma ile sertlik direkt olarak nitrürleme ile başarılabilir ve ek bir işlem yapılmasına gerek yoktur (Grill, 1993).

Genellikle iyon nitrürleme adını alan plazma nitrürleme, plazma oksidasyonuna benzer yüzey şekillendirme işlemidir. Bununla birlikte, oksijenin tersine azot, işlenmiş yüzey yakınlarında veya plazma içinde negatif iyon biçiminde değildir. Bu yüzden, burada nitrit metal arayüze karşı negatif iyonların hareketine yardımcı olan alan nitrürleme işlemine önemli derecede katkı sağlamaz. Plazma nitrürleme, enerjik pozitif iyonlar ile gerçekleşen bir katodik işlemin en iyi olanıdır.

Nitrürleme işleminde parçalar 0,1 ve 10 Torr arasında vakumlanabilen bir odacık içine konulur. Genellikle işlenmiş parçaların aşındırılması en iyi şekilde olması için 2 ve 5 Torr arasındaki basınçlar kullanılır (Grill, 1993).

İyon nitrürleme ya saf nitrojen ya da hidrojen ile nitrojenin karışımı ile yapılır. 0,1 ve 8m^3 aralığında çalışma hacimleri ile vakum ocakları plazma nitrürlemesi için kullanılır. DC güç kaynakları 100 V' da, yüzlerce amper akımlarına karşı faklı yüzlerce kilowattların çıkışına erişebilir (Grill, 1993).

Reaktörde meydana gelen çeşitli işlemlerin sonuçları olarak plazma nitrürlemesi:

- Saçtırma: Yüzeyden atomların saçılmasına neden olan enerjik iyonlar yüzeylere çarpar. Metal alaşımlarının bileşenlerinin saçılmasına ek olarak, yüzey katkıları ayrıca saçılır, yüzeyin temizlenmesine yardımcı olur. Oksijenin taşınması, yüksek krom veya paslanmaz çelik olsa dahi tüm yüzeyin pasifleşmemesiyle sonuçlanır.

- Isıtma: Bir yüzey atomunun saçılmasına neden olan ve metalin yüzeyine çarpan bir iyonun enerji ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir (Grill, 1993).

$$W_{iyon} = W_f + W_{kin} + Q \tag{3.1}$$

Burada

W_{iyon} = Gelen iyonun kinetik enerjisi

W_f = Yüzeyden bir atomun saçılması için kullanılan iş

W_{kin} = Saçtırılan parçacığın kinetik enerjisi

Q = Enerji değişimi

İyonların çarparak yüzey tabakasından içine işlemesi ve çalışılan parçaların enerjileri için Q' nun küçük sıcaklık değerini verir. Ulaşılan sıcaklık, iyon enerjisinin (uygulanan voltaj) ve iyon yoğunluğunun (akım) bir fonksiyonudur (Grill, 1993).

- Yoğunlaştırma: Nitrürlemenin sadece küçük bir parçası, işlenmiş yüzeyde nitrojen atomlarının direk olarak içermesinin bir sonucudur. Çeliğin plazma nitrürlemesi boyunca, örneğin, demir iyonları yüzeyde depolanan (FeN) demir nitrit biçiminde plazmada yüksek derecede aktif nitrojen atomları ile reaksiyona giren yüzeyden saçtırılmıştır (Grill, 1993).

Uygun nitrürleme ile iyon nitrürlemenin çeşitli avantajları gösterilir. Onlar arasından;

- Tabaka özelliklerinin ve çalışılan materyalin kontrolü cinsinden işlemin uygunluğu.
- 300^0C ve 600^0C arasında sıcaklık davranış aralığı.
- Nitrürlü tabakaların yapısı ve özelliklerinin kontrolü.
- Nitrürlemenin 50 saatten 3 ile 30 saate azaltılması.

Daha düşük sıcaklıklarda oluşan nitrürlü plazma sonucu genellikle hassas alet parçalarının sertliği için uygun olan bir metodu yapan işlenmiş parçaların sabitliği büyük boyutludur (Grill, 1993).

Plazma nitrürleme süresince iyon ve enerji yüklü partiküller yardımıyla oksit tabakası yüzeyden uzaklaştırılır, böylece parça yüzeyine plazmadan azot transferi yapılır. Malzemenin yüzeyinden iç kısımlarına doğru oluşan azot transferi difüzyon kurallarına göre olur. Difüzyon sıcaklık ve zaman arttıkça arttığından, plazma nitrürleme yönteminde işlem sıcaklığının ve zamanının arttırılması tabaka kalınlığının artmasına neden olur (Kahraman vd., 2008).

4. KULLANILAN CİHAZLAR VE HESAPLAMA MODELİ

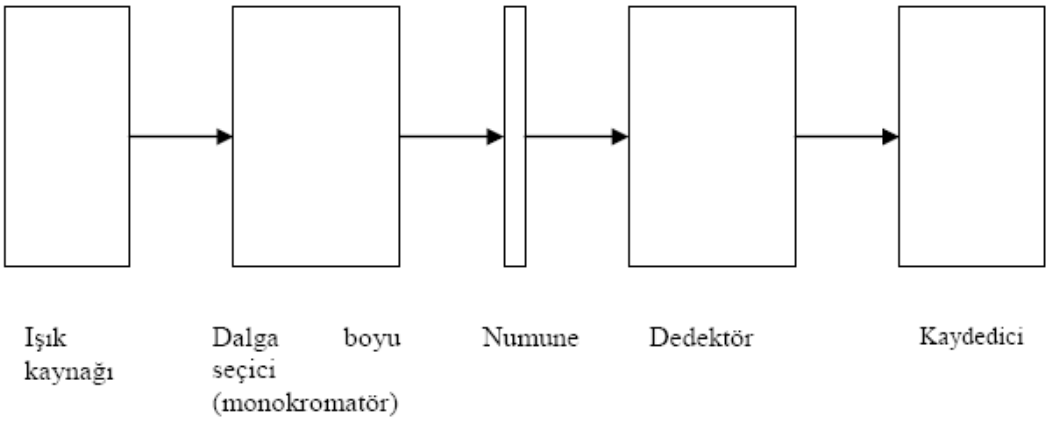
4.1.UV-Vis Spektrometre

Elde edilen AlN ince filmlerin optik özelliklerini belirlemek için önce oda sıcaklığındaki optik geçirgenlikleri ölçülmektedir. Bu ölçümler 200 – 1100 nm dalga boyu aralığına sahip Perkin-Elmer UV/VIS Lamda 2S Spektrometresi ile yapılmaktadır. Şekil 4.1. kullanılan UV-Vis spektrometrenin fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan UV-Vis spektrometresi

Bir UV-VIS (mor ötesi ve görünür bölge) spektrometresi ışık kaynağı, bir monokromatör (dalga boyu seçicisi) ve dedektörden oluşur. Dedektörde elektrik sinyaline dönüşen optik sinyal bir kaydedici ya da galvanometre ile ölçülür. Şekil 4.2. de spektrometrenin bileşenleri gösterilmiştir.



Sekil 4.2 Bir UV-VIS spektrometresinin temel bileşenleri

Bu cihazlarda ışık kaynağı olarak tungsten fitilli lambalar, ksenon ark lambaları, döteryum ve hidrojen lambaları kullanılır.

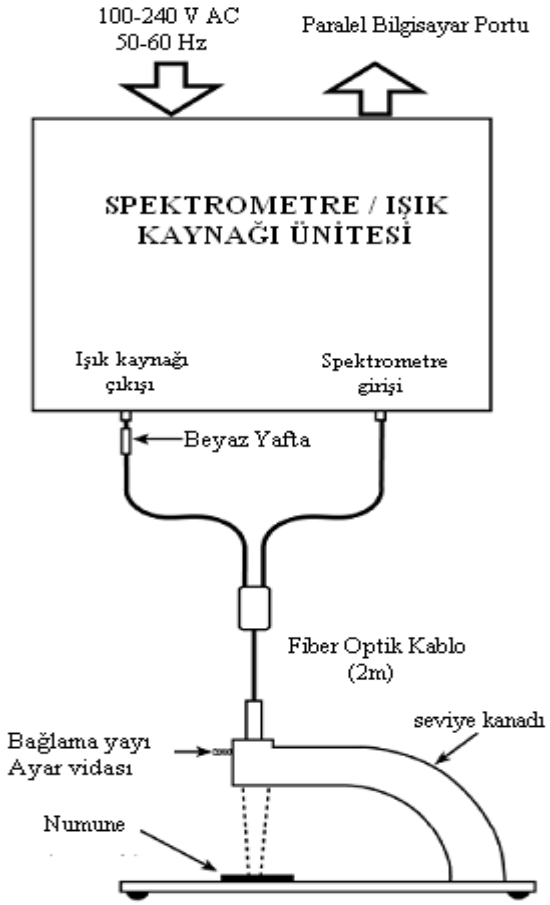
Soğurulmanın ölçülmesi sırasında, ışık kaynağından gelen polikromatik ışıktan tek bir dalga boyunda ışık seçilerek örneğe gönderilir. Polikromatik ışıktan monokromatik ışık elde edilmesini sağlayan düzeneğe monokromatör (dalga boyu seçicileri) adını alır. Monokromatör olarak prizma ya da optik ağ adını alan parçalar kullanılır.

Daha sonra tek dalga boyuna ayrıştırılmış olan ışık numune üzerine düşer. Burada eğer fotonun enerjisi, enerji bant aralığından daha büyük ise fotonlar soğurulur, enerji band aralığından daha küçük ise fotonlar soğurulmadan direk geçer (Şener 2005).

Maddeden geçen ışığın ne kadar soğurulduğunu anlamak için geçen demet şiddetini ölçmek üzere düzeneğe dedektör yerleştirilmiştir. Mor ötesi ve görünür bölgede kullanılan üç türlü dedektör vardır. Bunlar, fotovoltaik dedektörler, fototüpler ve foto çoğaltıcı tüplerdir.

4.2. İnterferometrik Ölçüm

Elde edilen AlN ince filmlerin kalınlıklarını ölçmek için Filmetrics F 20 interferometrik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan ciahızın kurulum düzeni Şekil 4.3 de gösterilmiştir (Filmetrics F_{20} operation manual, 2005).



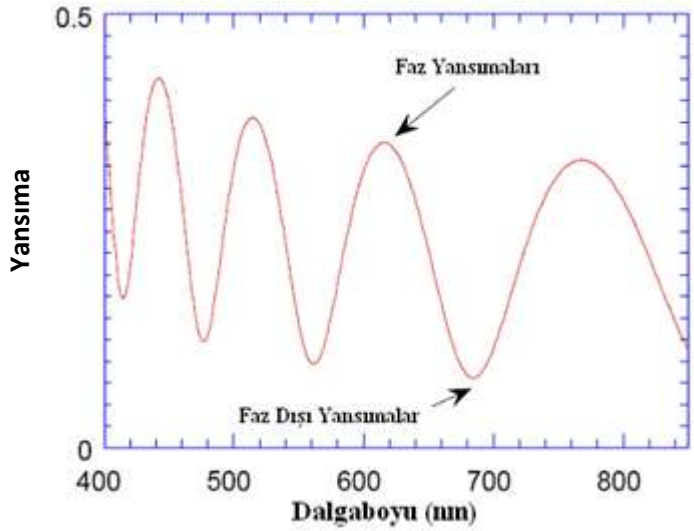
Şekil 4.3 İnterferometre cihazın basit gösterimi (Filmetrics F_{20} operation manual, 2005)

Bu cihazin ölçüm teorisi şöyledir:

F_{20} cihazı, ince film özeliklerini, 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 doru yansıması eş fazlı olabilir, böylece yansımalar eklenir yada faz dışında olabilir, bu durumda da yansımalar çıkartılır. Bu yansımalar ister eş-fazlı ister faz dışında olsun (ikisinin arasında bir yerdede olabilir) filmin özelliklerine ve kalınlığına bağlı olduğu gibi ışığın dalga boyuna da bağlıdır.

$$L= (2 \times n \times d) \div i \qquad (4.1)$$

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 4.4). Genelde daha kalın filmlerde verilen bir dalgaboyu aralığında daha fazla dalga yoğunluğu olur. Dalgalanmanın titreşim genliği, kırılma indisi, filmlerin ve allttaşın sönüm katsayısı tarafından belirlenir. Bundan dolayı, peryodun analizi ve bu dalgalanmaların titreşim genliği F_{20} cihazı tarafından çoklu ince filmlerin optiksel özelliklerini (*n* ve *k*) ve kalınğını belirleyebilir.



Şekil 4.4 Dalgalanma ile kırılma spektrumunun örneği(Filmetrics F_{20} operation manual, 2005)

Optik ince film kalınlığı ölçümleri iki işlemin başarıyla tamamlanmasını gerektirir:

Yansıma spektrumunun elde edilmesi ve daha sonra eksiksiz analizi. Film kalınlığını belirlemek için Filmeasure paket programı, ölçülen spektruma mümkün olduğu kadar yakın eşleşen 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 datalarla 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 1000A^{o}'a yaklaşık olarak ulaşmazsa işe yaramayacaktır. Sadece kalınlığın ölçülmesinde Filmesure programı ölçülen ve hesaplanan spektralar arasında en iyi eşleşmeyi veren kalınlığı belirlemek için kabul edilebilir bütün kalınlık aralığının araştırılmasıyla, yanlış bir çözüme yönelmekten kaçınır. 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 araştırcaktır. Filmlerin ölçülen kalınlıkları başlangıç tahminini sağlaması için oransal olarak araştırılmış kalınlık aralığı bir çözüm bulmak için faydalıdır (Filmetrics F_{20} operation manual, 2005).

Bu ölçüm cihazıyla aynı zamanda optiksel sabit olan (*n* ve *k*) ölçümleri de yapılabilmektedir. Optik sabitlerin ölçümü (kırılma indisi *n* ve sönüm katsayısı *k*) film kalınlığının eş zamanlı olarak belirlenmesini gerektirir. Ancak saf alt taşın ölçümünde buna gerek yoktur. Filmesure programının film kalınlığı ve optik sabitleri belirlemek için kullandığı yaklaşım sadece kalınlığı ölçmek için kullanılan yaklaşımla aynıdır. Ölçülen ve hesaplanan yansıtma spektraları arasındaki eşleştirmeyi en iyi düzeye getirmek için *n* ve *k* dan da yararlanılır. *n* ve *k* dalga boyu fonksiyonu açısından farklılaştıklarından her dalga boyu için bunları ayrı ayrı çözümlemek gerekir. Sadece

yansıtma specktrumunu kullanarak hiç bilinmeyen bir materyal için bunu yapmak mümkün değildir. Çünkü her dalga boyunda sadece bir parametre (yansıtma) bilinebilir ve iki bilinmeyen bulunur (*n* ve *k*). *n* ve *k* birbirinden bağımsız olmadığı, aralarında Kramers-Kronig bağıntısı ile bir ilişki olduğu bilinmektedir. Eğer bütün dalga boylarında *n* değeri bilinirse k sadece n değerinden hesaplanabilir. Çünkü *n*'i belirli bir dalgaboyu değeri üzerinden ölçmek mümkündür, *k* ise doğrudan *n* değerinden hesaplanamaz. Gerçekte, çok sayıda data tek yansıma spektrumunun *n* ve *k* yı aynı anda belirlediğini gösterir herhangi bir dalaboyundaki kırılma indisi yakın dalgaboyundaki kırılma indisinden bağımsız değildir, ama teorik bir denklemle modellendiğinde düzgün bir bağımlılık gösterebilir. Ayrı yeten eğer bir kırılma indisi denklemi varsa *k* bölgesinin Kramers-Kronig ilişksi kullanılarak dönüştürülebilir. Böylece eğer kırılma indisi denkleminde üç ayarlanabilir parametre varsa, sadece bu üç parametreyi ve bunlara ilave olarak kalınlığı ayarlamak gerekir ki hesaplanan ve ölçülen spektra eşleştirilebilsin. Bu nedenle , *n* ve *k* için uygun bir model seçilerek *n* ve *k* nın ölçümü dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ve modeldeki parametreleri elde edilen verilerle uygun olması için azaltılır. Filmeasure paket programı ölçülen numunenin türüne bağlı olarak farklı modeller kullanır. Bir çözüm bulmak için araştırılan parametre aralığı kalınlığa ek olarak modelin ayarlanabilir parametrelerini de içerdiğinden potansiyel olarak oldukça geniştir. Ayrıca, modelin kalınlığı çeşitlilik gösterebildiğinden yakın sonuçlar ortaya çıkabilir bu durumda araştırılan parametre aralığını daraltmak gerekir. İlk tahmine en yakın eşleşmeyi doğru kabul ederek yapılır (Filmetrics F_{20} operation manual, 2005).

Ancak, eğer ilk kalınlık tahmini gerçek değerin yaklaşık yarım dalga boyu civarında ise bu çözüm yolu doğru olacaktır. FILMeasure paket programı daha güçlü bir çözüm almak ve *n* ile *k'*yı çözmeye başlamadan önce gerçek kalınlığı tespit etmek için tüm sınırlı kalınlık aralığını ölçebilir (Filmetrics F_{20} operation manual, 2005).

4.3 İnce Film Kalınlık Ölçer

Bu çalışmada RF saçtırma yöntemiyle elde edilen AlN ince filmlerin üretim aşamasında vakum odası içerisindeki ince filmin kalınlığını ölçmek için Cressington marka ince film kalınlık ölçüm monitörü kullanılmıştır. Bu cihaz cam alt taş üzerinde depolanan AlN bileşiğinin kalınlığını ölçmüştür.

Altın (Au) kaplı kuartz kristali ile saniyede 5 ölçüm yapabilen, yüksek çözünürlüklü (0,1nm), 0-1000nm ölçüm aralığına sahip, basit parametre girişi (yoğunluk) olan, düşük maliyetli bir film kalınlığı ölçüm cihazıdır. Kullanılan ince film kalınlık ölçüm monitörü Şekil 4.5 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İnce film kalınlık ölçüm monitörü

4.4 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Bu çalışmada RF saçtırma tekniği ile üretilen AlN ince filmlerin yüzey görüntülerini ve pürüzlülüğünü almak için Ambios SPM/AFM marka Atomik Kuvvet Mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kullanılan Atomik Kuvvet Mikroskobu

Yeni geliştirilen mikroskop çeşitlerinden biri olan Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy-AFM) ile malzeme yüzeyi analizleri yapılmaktadır. AFM cihazı, iğne ile örnek arasındaki kuvvetleri (basınçları) algılar. Özellikle yüzey pürüzlülüğünü belirlemekte kullanılan hızlı bir tekniktir. Yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek birçok ana problem (örneğin:sürtünme, kontak deformasyonu, ısı ve elektrik akım iletkenliği kontak köşelerin sızdırmazlığı ve yer doğruluğu) için önemlidir. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü onlarca yıldır deneysel ve teorik araştırmaların konusu olmuştur (Gadelmawla, et al., 2002).

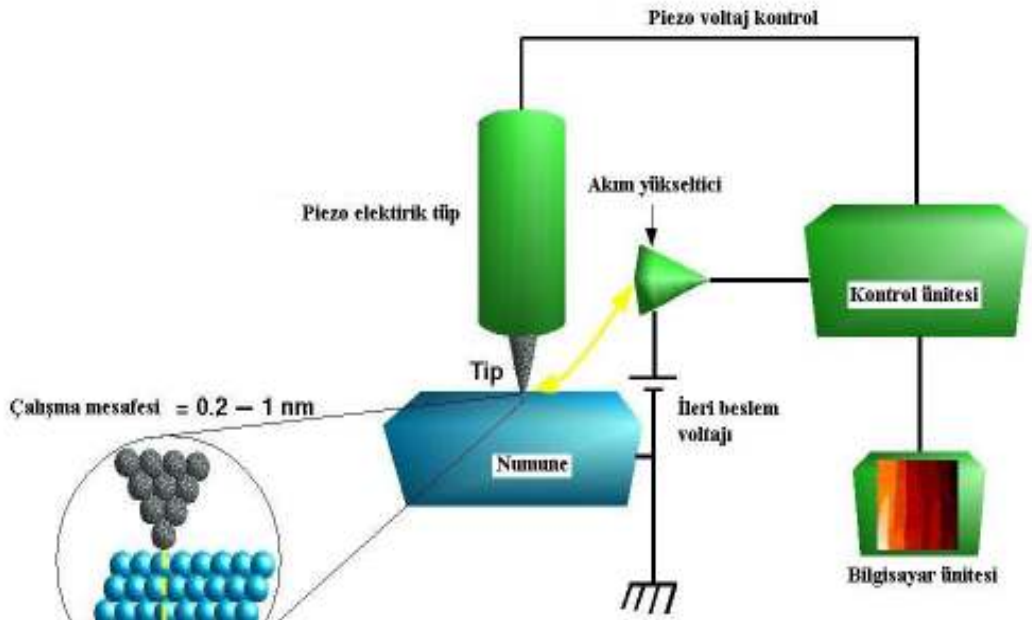
AFM'nin en önemli özelliği, alışılmış elektron mikroskobisi tekniklerinde kaçınılmaz olan, özel örnek hazırlanması, vakum gibi şartlara ihtiyaç duyulmadan, incelenen örnek yüzeyinin moleküler veya atomik seviyede üç boyutlu görüntüsünü verebilmesidir. Sıvı yada katı yüzey topografisini nanometre (nm) seviyesinde görüntüleyebilen ve moleküller arası kuvvetleri angstrom (A^o) mertebesinden 100 mikrona (μ) kadar ölçebilen bir sistemdir(Oura, et al., 2003).

AFM, görüntüleme metotları arasında en yaygın uygulama alanına sahiptir ve hızla gelişmekte olan nanoteknolojiler için vazgeçilmezdir. Elektronik, biyoloji, telekomünikasyon, kimya, otomotiv, uzay–havacılık ve enerji gibi endüstrilerde kullanılmaktadır.

AFM'ler düşük sıcaklıklarda yada vakumda çalıştırılabilirler. DNA ve proteinler gibi biyolojik yapıların görüntülenmesinde kullanılmış ve hatta bazı kimyasal süreçleri, oluşum sırasında görüntülenmiştir (Fıshbane , et al., 2003)**.**

AFM taranan alanın büyüklüğüne bağlı olan RMS pürüzlülüğünü belirler ve ağırlıklı ortalamasını verir. Ölçülen yapının minimum büyüklüğü ve dolayısıyla RMS pürüzlülüğü AFM iğnesinin (tip) büyüklüğüne ve geometrisine de bağlıdır (Schmidtling, et al., 2005).

Şekil 4.7 de Atomik kuvvet mikroskobunun şematik olarak çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. AFM'in çalışma prensibinin şematik gösterimi(Cheal, et al., 2003)

AFM'de çok hassas bir iğnenin (tip) yüzeyi taramasıyla atomlar arası kuvvetler nanonewton hassasiyetiyle ölçülür. Ölçülen yüzeyin özelliklerini büyük bir doğrulukla tespit edebilmek için, ucun uzaysal pozisyonunu ayarlamaya yarayan piezoelektrik güç vericileri kullanılır. Bu hareketten faydalanılarak bilgisayar ortamına aktarılan veriler, yazılım aracılığıyla derlenerek ya numunenin görüntüsü elde edilir yada iğne ve numune arası etkileşimler ölçülür. (Piezoelektriklik, bir kristalin üzerine uygulanan voltaj ile hareket etme özelliğidir.)

4.5 Hesaplama Modeli

Elde edilen AlN ince filmlerin kırılma indislerini hesaplamak için optiksel metod kullanılmıştır.

İnce filmlerin kırılma indisi

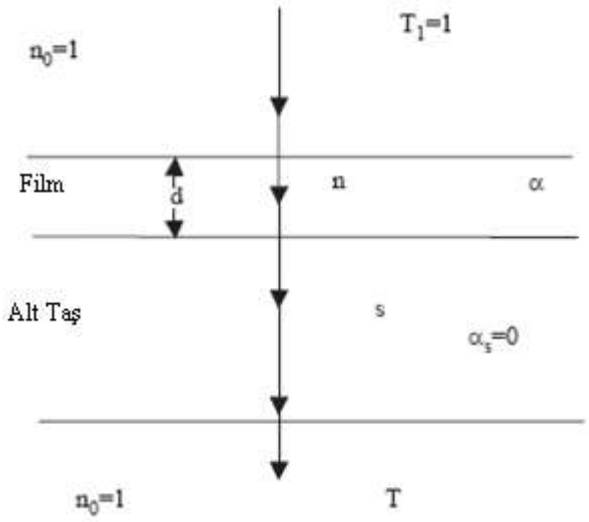
$$n' = n + ik \tag{4.2}$$

şeklinde verilmiştir. n; ince filmin kırılma indisinin reel kısmı, k (sönüm katsayısı) ise kırılma indisinin sanal kısmıdır.

Şekil 4.8'de geçirgen alt taş üzerindeki ince filmin yapısı şematize edilerek gösterilmiştir. Şekil 4.8 üzerindeki d, n, α ve T sırasıyla ince filmin kalınlığını, ince filmin kırılma indisinin reel kısmını, ince filmin absorbans katsayısını ve ince filmin geçirgenliğini simgelemektedir. Geçirgen yapıya sahip olan alt taş, filmin kalınlığı olan d'den daha büyük kalınlığa, s kırılma indisine ve α_s=0 absorbans katsayısına sahiptir.

Hava için kırılma indisi n_o=1 olarak alınır. Geçirgenlik spektrumu kabaca dört bölgeye ayrılır. Geçirgen bölgede (α=0) n ve s (çoklu yansıması) kullanılarak geçirgenlik belirlenir. Zayıf absorbans bölgesinde α küçüktür ve geçirgenlik de

azalmaya başlar. Orta absorbans bölgesinde absorbsiyon katsayısı α büyüktür ve geçirgenlik asıl bu bölgede α'nın etkisi ile azalır. Güçlü absorbsiyon bölgesinde ise geçirgenlik α'nın etkisiyle hızlı bir biçimde azalır.



Şekil 4.8. Sınırlı kalınlıktaki geçirgen alt taş üzerindeki ince filmin absorbsiyonunun gösterimi

Geçirgenlik (T) ve absorbans (A) spektrumlarından ince filmlerin yansıtması (R)

$$T = (1 - R^2)\exp(-A) \tag{4.3}$$

eşitliği ile hesaplanabilir (Pankove, 1971; Benramdane, et al., 1997).

RF saçtırma yöntemiyle elde edilen AlN ince filmlerin reel kırılma indisi hesaplamaları,

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \left[\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2\right]^{1/2} \tag{4.4}$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Benramdane, et al., 1997). Bu eşitlikte R ince filmlerin yansıma katsayısı, k sönüm katsayısı ve n ise kırılma indisi olarak ifade edilmektedir.

AlN ince filmlerin k sönüm katsayıları hesaplaması;

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \tag{4.5}$$

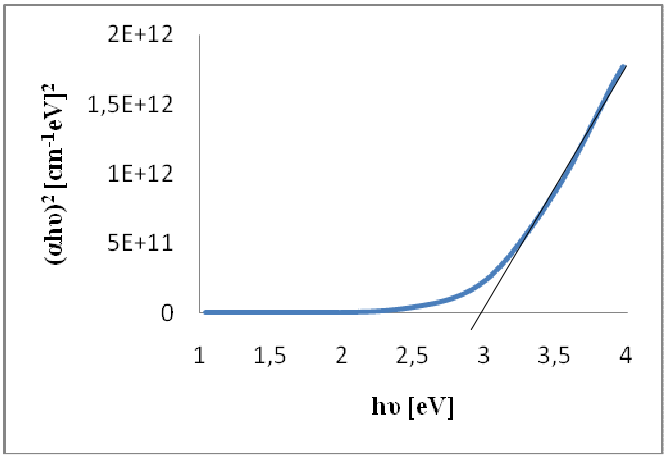
eşitliği kullanılarak yapılmıştır. Burada absorbans α;

$$\alpha = -\frac{1}{t}\ln(T) \tag{4.6}$$

eşitliği ile verilir. Verilen eşitliklerde λ dalga boyunu, t film kalınlığını ve T ise filmin geçirgenliği ifade etmektedir.

Yasak enerji aralığının E_g belirlenmesinde ise, Tauc Metodu kullanılmıştır. Bu metotla grafiklerin doğrusal kısmından x-eksenine düz çizgi çizillir. Bu çizilen çizginin x-eksenini ile kesiştiği yerdeki değer yasak enerji aralığı değerini vermektedir. Grafikte $(\alpha h\upsilon)^2$ y eksenini ve enerji (hυ) ise x-eksenini oluşturmaktadır.

İnce filmlerin Tauc Metodu ile grafiklerin oluşturulmasında absorbans katsayısı α için eşitlik (4.5) ve enerji (hυ) içinde 1240/λ hesaplamaları kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Tauc metodu ile yasak enerji aralığı hesabı

Çizilen doğrunun x eksenini kestiği nokta yasak enerji aralığı değerini vermektedir. Grafikten yasak enerji aralığı değeri E_g=3 eV olarak bulunur.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZLERİ

5.1. Giriş

RF saçtırma yöntemi ile AlN ince filmler plazma ortamında oluşturulmuştur. Bu deneyde önce AlN bileşiği plazma halinde oluşturulmuş ve ince film halinde cam alt taş üzerinde depolanmıştır. Oluşturulan bu AlN ince filmlerin optik ve yüzey özellikleri incelenerek, farklı %xAr+%(100-x)N_2 gazı konstrasyonundaki özellikleri ve farklılıkları belirlenmeye çalışılmıştır.

5.2 Deneysel Sistem

Bu çalışmada RF saçtırma yöntemi kullanılarak farklı gaz karışım oranlarındaki %xAr+%(100-x) N_2 plazması kullanılarak AlN (alüminyum nitrit) ince filmleri lamel üzerine üretilmiştir.

RF saçtırma sistemi beş ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

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

RF saçtırma sisteminde deney yaparken öncelikle, vakum pompası çalıştırılarak atmosferik basınçtaki gaz karıştırıcının içi vakumlanır. Ayrıca vakum odası istenilen basınç değerine düşürülünceye kadar vakumlanır. Vakum odasının içinde iki paralel elektrot bulunmaktadır. Depolanmak istenen hedef malzeme olan alüminyum, elektrotlardan birinin üzerine yerleştirilir. Diğer elektrot üzerine ise etil alkol ile temizlenmiş lamel yerleştirilir.

Daha sonra gaz karıştırıcının içine Ar ve N_2 gazı depolanır. Ar ve N_2 gazları her seferinde farklı yüzdelerle %xAr + %(100-x)N_2, örneğin (%20Ar + %80N_2) olarak depolanmıştır. İstenilen basınç değerine düşürülen vakum odası içine kontrollü olarak Ar ve N_2 gazları gönderilir.

Son olarak RF güç kaynağından gönderilen radyo frekansı eşleştirme ünitesi sayesinde mekanik titreşime dönüştürülerek Ar gazının plazması oluşması sağlanır.

Eşleştirme ünitesi iki kapasitör arasına bir indüktör yerleştirilerek oluşturulan bir sistemdir. Bu sistemde soğutma ise su ile gerçekleştirilir. Şekil 5.1 de RF saçtırma yöntemiyle AlN ince film üretmek için kullanılan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 5.1. RF saçtırma sisteminin fotoğrafı

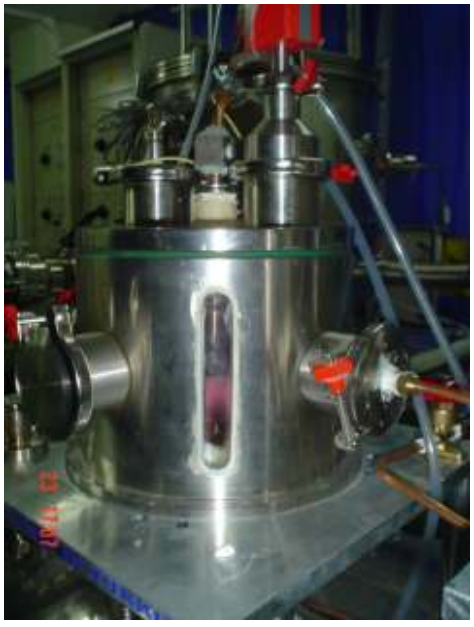
Bu çalışmada, vakum odası içine hedef malzeme olarak Al (alüminyum) yerleştirilmiştir. Vakum odasının içinde Ar ve N_2 gaz karışımının plazması oluşturularak hedef materyal (Al) bombardıman edilip iyonlaştırılmış ve N_2 gazı ile materyal reaksiyona girerek lamel alt taş üzerine AlN bileşiği depolanarak ince filmler üretilmiştir.

Şekil 5.2.'de ise RF saçtırma sisteminin içerisindeki alt taş olarak kullanılan alüminyumun üzerine konulduğu **hedef elektrot** un fotoğrafı görülmektedir. Bu elektrotun alt ucu bakırdan imal edilmiştir. Materyalin üzerine konulduğu yer ise 316 numaralı paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 5.2. Hedef elekrot

Şekil 5.3’ de ise RF saçtırma yöntemiyle AlN ince film üretilirken çekilen fotoğraf gösterilmiştir.



Şekil 5.3. RF saçtırma sisteminin vakum odası

5.3 AlN İnce Film Üretim Parametreleri

RF saçtırma yöntemi ile AlN ince filmleri elde etmek için kullanılan deneysel parametreler Çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneysel parametreler

%Ar	$\%N_2$	Basınç (Torr)	Süre (dk)	Uygulanan Güç(W)
%10	%90	$1.7*10^{-1}$	60	200W
%20	%80	$1.7*10^{-1}$	60	200W
%30	%70	$1.7*10^{-1}$	90	200W
%40	%60	$1.54*10^{-1}$	90	200W
%50	%50	$1.4*10^{-1}$	100	200W
%60	%40	$1.37*10^{-1}$	90	200W
%70	%30	$1.7*10^{-1}$	100	200W
%80	%20	$1.58*10^{-1}$	80	200W
%90	%10	$1.7*10^{-1}$	90	200W

5.4 Üretilen AlN Numunelerinin Analizleri

RF saçtırma yöntemi ile elde edilen AlN ince filmlerin bazı optiksel ve yüzeysel özelliklerinin analizleri yapılmıştır. İnterferometrik metot ile AlN ince filmlerin kalınlık ölçümleri, optiksel metod ile kırılma indisi, UV-ViS ile geçirgenlik, absorbans ve sönüm katsayısı, Tauc meodu ile yasak enerji aralıkları değerleri, AFM ile yüzeylerinin pürüzlülüğü ve görüntüleri de incelenmiştir.

5.4.1.İnterferometrik metot ile kalınlık ölçümleri

RF saçtırma yöntemi ile Al hedef malzeme kullanılarak üretilen AlN ince film numunelerinin kalınlık ölçümleri iki farklı cihaz kullanılarak yapılmıştır. Bunlardan bir tanesi interferometrik ölçüm yapan Filmetrics F_{20} İnterferometrik Kalınlık Ölçüm cihazıdır. Bu cihaz ile cam alt taşlar üzerine üretilmiş olan ince filmlerin kalınlıklarının ölçümü, numune yüzeyinin elli farklı yerinden ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçülen kalınlık sonuçları maksimum, minimum ve standart sapma değerleri Çizelge 5.2'de özetlemiştir. Ayrıca Cressington İnce Film Kalınlık Ölçer cihazı ile depolanan AlN ince filmin kalınlığı takip edilmiştir.

Çizelge 5.2: Filmetrics F_{20} İnterferometrik ölçüm cihazıyla ölçülen kalınlık değerleri

Yüzde Oran	Ortalama Kalınlık (nm)	Minimum Kalınlık (nm)	Maksimum Kalınlık (nm)	Standart Sapma
%10Ar-%90N_2	58.57	50	75.64	4.905
%20Ar-%80N_2	62.88	54.29	72.19	2.865
%30Ar-%70N_2	90.65	79.77	109.38	9.992
%40Ar-%60N_2	81,12	81,04	81,24	0.042
%50Ar-%50N_2	74,03	73,93	74,1	0.04
%60Ar-%40N_2	65,75	25	65,98	14,294
%70Ar-%30N_2	64,96	64,87	65,04	0,038
%80Ar-%20N_2	54,82	54,75	54,87	0,026
%90Ar-%10N_2	59,74	59,64	60,13	0,149

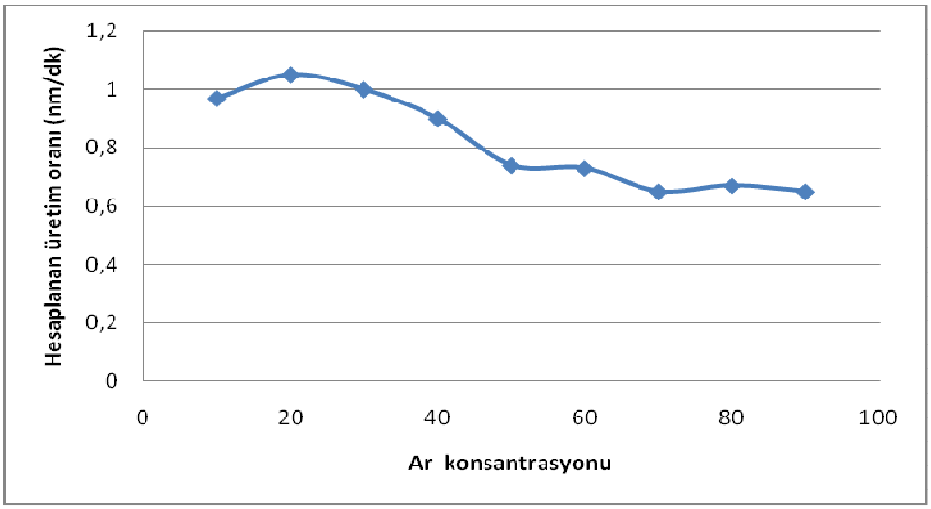
Diğer kullanılan kalınlık ölçüm cihazı ise Creessington İnce Film Kalınlık ölçerdir. Bu cihaz üretim esnasında numune yüzeyi üzerinde AlN ince filmin oluşup oluşmadığını belirlemekte kullanılmıştır. AlN ince filmlerin üretim oranları için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.3. Elde edilen AlN ince filmin gaz konsantrasyonuna göre hesaplanan üretim oranı

Yüzde Oran	**Ölçülen Ortalama Kalınlık (nm)**	**Hesaplanan Üretim Oranı (nm/dakika)**
%10Ar-%90N_2	58.57	0,97
%20Ar-%80N_2	62.88	1,05
%30Ar-%70N_2	90.65	1
%40Ar-%60N_2	81,12	0,90
%50Ar-%50N_2	74,03	0,74
%60Ar-%40N_2	65,75	0,73
%70Ar-%30N_2	64,96	0,65
%80Ar-%20N_2	54,82	0,67
%90Ar-%10N_2	59,74	0,65

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4'de de görülebileceği gibi gaz karışımı plazması içerisindeki Ar gazının konsantrasyonu arttıkça (N_2 gazı azaldıkça) AlN ince film üretim oranında azalma gözlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre AlN ince film üretimi gaz karışımı plazma içerisindeki %xAr+%(100-x)N_2 gazının konsantrasyonuna

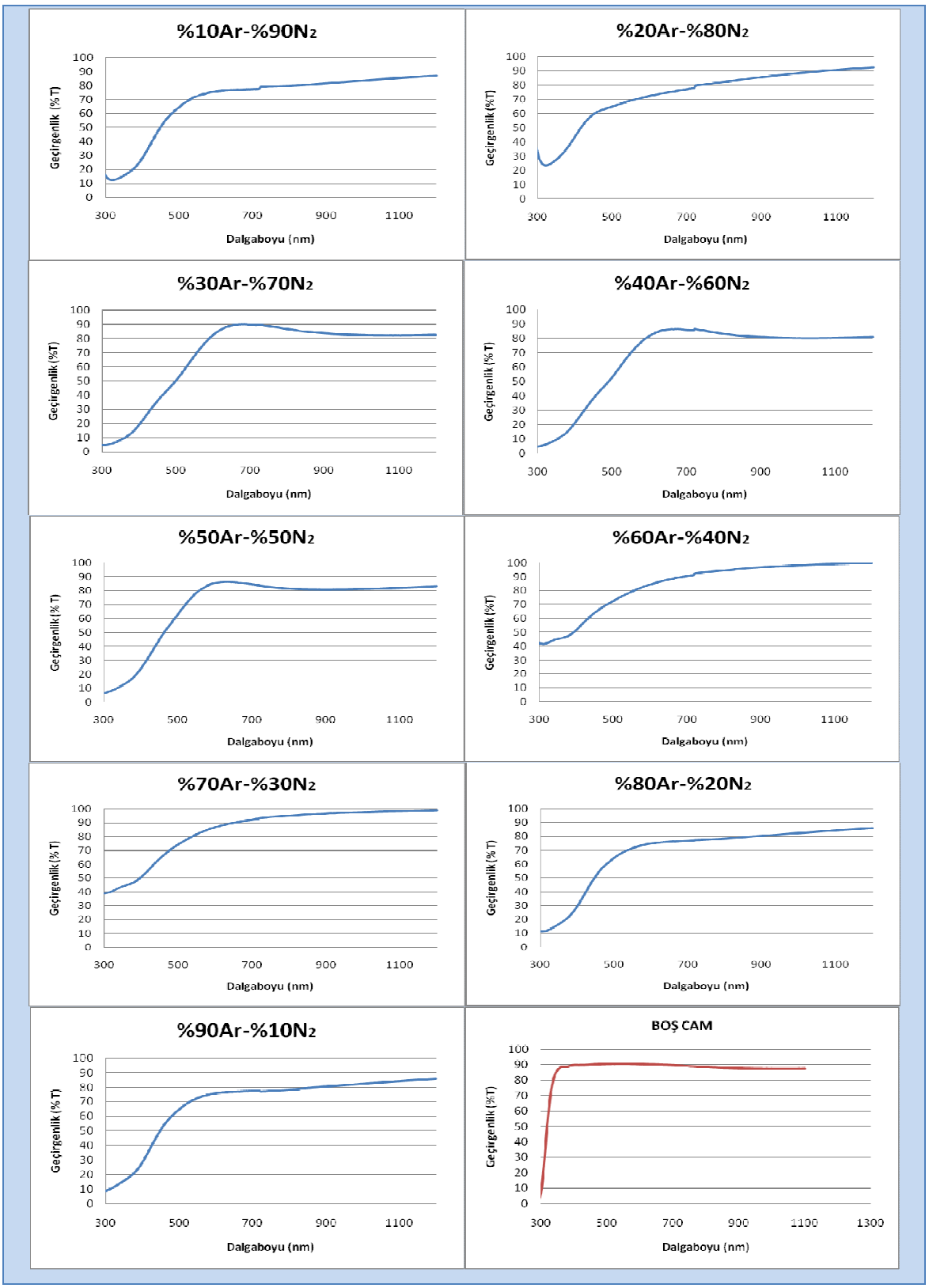
bağlı olduğu görülmektedir. Üretim oranının en yüksek değeri%20Ar+%80N_2 gazı konsantrasyonunda 1,05' nm/dak dır. %90 Ar+%10N_2 gaz karışımında ise bu oran 0,65 nm/dak ya düşmüştür. Bununla birlikte alt taş üzerinde dakikada ortalama 0,8 nm' lik bir kaplama oranı gözlenmiştir.



Şekil 5.4. Argon konsantrasyonuna göre AlN ince filmin üretim oranı grafiği

5.4.2. UV-ViS geçirgenlik sonuçları

RF saçtırma yöntemi ile üretilen AlN ince filmlerin geçirgenlik değerleri Perkin Elmer UV/ VIS Spectrometer Lambda 2S ölçüm cihazı (200-1200 nm) ile ölçülmüştür. Ölçülen geçirgenlik (% T) değerleri Şekil 5.5' de verilmiştir.



Şekil 5.5. Elde edilen AlN ince filmlerin UV-ViS spektrometre cihazı ile ölçülen geçirgenlik-dalga boyu değerleri

AlN ince filmlerin geçirgenlik değerleri incelendiğinde dalga boyunun 300-700nm olduğu bölgede geçirgenlik daha azdır. Geçirgenlik değerleri Ar ve N_2 gaz karışım oranlarına göre değişiklik göstermektedir. 700nm ve daha büyük dalga boylarında ise geçirgenlik oranı artmıştır, yaklaşık geçirgenlik %80 olarak ölçülmüştür. Alttaş olarak kullanılan camın geçirgenliği ise %93 (600-1400 nm) (Babon, et al., 2005)'tür.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde zayıf absorbans bölgesinde (>550 nm) üretilen AlN ince filmlerin geçirgenlikleri %xAr+%(100-x)N_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. %60Ar + %40N_2 ve %70Ar + %30N_2 ile üretilen AlN ince filmin 700 nm üzerindeki geçirgenliği kuvvetli bir şekilde artmıştır. Geçirgenlik değerleri alt taş olan camın geçirgenliği ile karşılaştırıldığında daha yüksektir (~%100). Başka bir deyişle 700nm üzerindeki bu bölgelerde AlN ince filmler yüksek geçirgenliğe sahiptir.

Görünür bölgede ise (400nm-700nm) en yüksek geçirgenlik değeri yine %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30 N_2 gaz karışımıyla üretilen ince filmlere aittir. Bunun sebebi ise alt taşın AlN ile kaplanması sonucu yüzey yansımalarının azalmasından kaynaklanmaktadır. T geçirgenliği, A absorbansı ve R de yansımayı simgelemek üzere

$$A+R+T=1 \tag{5.1}$$

olması gerekmektedir. Dolayısıyla yukarıda belirttiğimiz aralıklarda üretilen AlN ince filmlerin R yansıma oranları oldukça küçüktür.

Ayrıca yüzey üzerindeki elektron konsantrasyonunun artması veya azalması da metallerin geçirgenliğini değiştirebilr. Eletron konsantrasyonunun artmasıyla A aborbansı ve R yansıması artacağından T geçirgenlik azalabilir. Yüzeydeki eletron

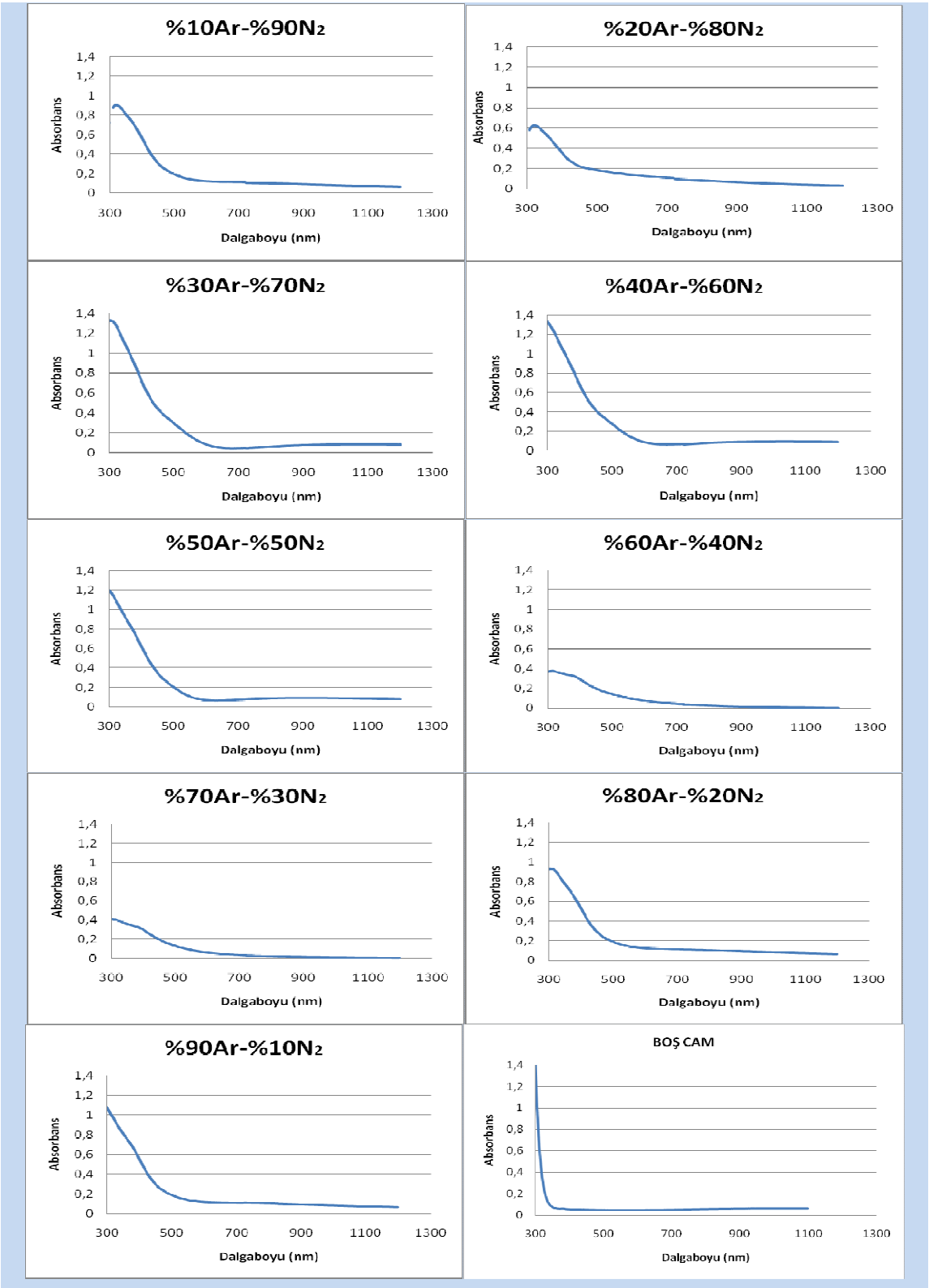
konsantrasyonunun azalmasıylada A ve R değerleri azalacağından geçirgenliğin arması beklenebilir.

Genel itibari ile geçirgenlik grafikleri incelendiğinde %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30 N_2 ile üretilen ince filmler yüksek geçirgenliklere sahiptir. Bu değredeki AlN numuneleri antireflektans özelliğe sahiptir.

Geçirgenlik değerlerindeki değişim düzenli olmamasına rağmen istenilen diğer değerler de göz önüne alınarak absorbans değerlerinin gaz karışımı oranları ile ayarlanabilmesi mümkün olabilmektedir.

5.4.3. UV- Vis absorbans sonuçları

RF saçtırma yöntemi ile üretilen AlN ince filmlerin Absorbans değerleri Perkin Elmer marka UV/ VIS Spectrometer Lambda 2S ölçüm cihazı (200-1200 nm) ile ölçülmüştür. Ölçülen Absorbans değerleri gaz konsantrasyonlarına göre Şekil 5.6.' da verilmiştir.



Şekil 5.6. AlN ince filmlerin UV-ViS spektrometre ile ölçülen Absorbans-Dalgaboyu grafikleri

Görünür bölgede (400nm-700nm) en yüksek absorbans değeri %30Ar+%70N_2 ve %40Ar+%60 N_2 gaz konsantrasyonunda üretilen ince filmlere aittir. Bu bölgede en düşük absorbans değeri ise %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30N_2 gaz konsantrasyonuna sahip AlN ince filmlerdir. 700-1200nm dalga boyundaki değerlerde ise %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30N_2 gaz konsantrasyonundaki AlN ince filmler camla kıyaslandığında oldukça düşük absorbans değerlerine sahiptir.

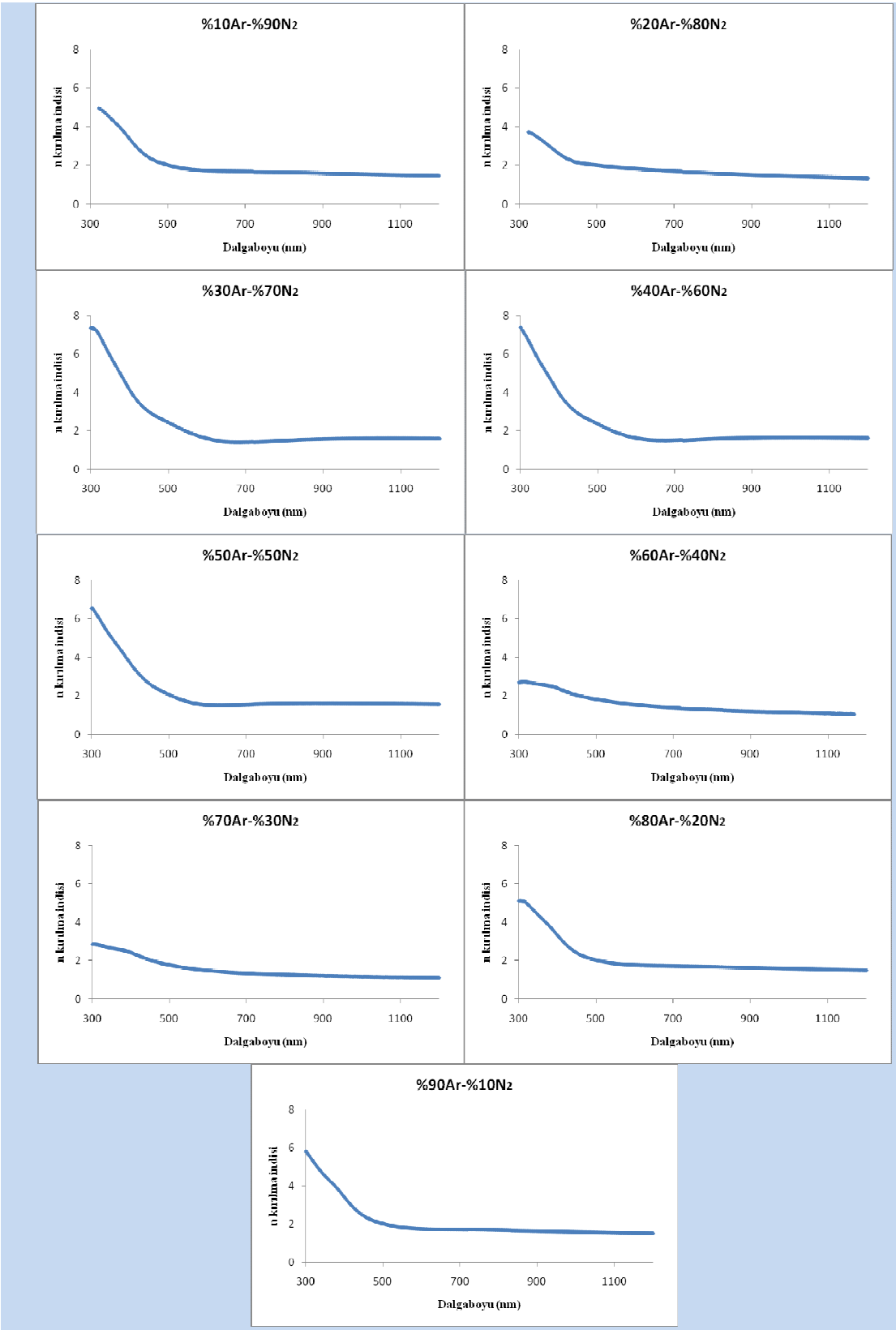
%10Ar+%90N_2 ve %20Ar+%80N_2 yüzdeli ince filmleri karşılaştırdığımızda AlN ince filmin absorbans değerinin argon miktarı arttıkça absorbans değerinin azaldığı görülmektedir. Üretilen filmler arasında en düşük absorbansa ise %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30N_2 gaz konsantrasyon oranları ile üretilen AlN ince filmler sahiptir.

Absorbans ve geçirgenlik değerlerindeki değişim düzenli olmamasına rağmen istenilen diğer değerlerde göz önüne alınarak absorbans değerlerinin gaz karışımı oranları ile ayarlanabilmesi mümkün olabilmektedir.

5.4.4. AlN ince filmlerin reel kırılma indisi (n) hesaplamaları

Farklı Ar ve N_2 gaz konsantrasyonlarında üretilen AlN ince filmlerin kırılma indisleri hesaplanır iken dördüncü bölümde verilen Eşitlik (4.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

300 ile 1200 nm dalga boyları arasında hesaplanan AlN ince filmlerinin kırılma indisi grafikleri Şekil 5.7'de farklı gaz konsantrasyonlarına göre verilmiştir.



Şekil 5.7 AlN ince filmlerin n kırılma indisi-dalga boyu grafikleri

Grafikler incelendiğinde Ar ve N_2 gazı konsantrasyonuna göre kırılma indisi değişim göstermektedir. AlN ince filmin literatürde gösterilen kırılma indisi değeri n=1,9-2,2 arasındadır. Bu metodla üretilen AlN ince filmlerin kırılma indisi değerlerinin literatürdeki değerlere çok yakın olduğu görülmektedir.

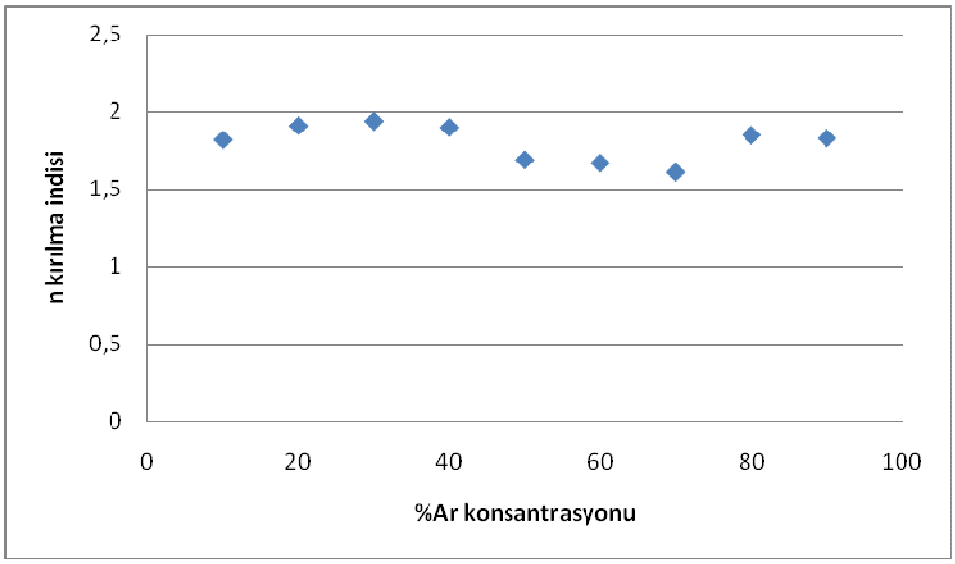
AlN ince filmlerin farklı gaz konsantrasyonlarında ve λ=550nm dalga boyundaki değişimi Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. AlN ince filmlerin (λ=550nm) kırılma indisi değerleri

Yüzde Oran %XAr+%(100-X)N_2	**Kırılma indisi (n)**
%10Ar+%90N_2	1,82
%20Ar+%80N_2	1,91
%30Ar+%70N_2	1,94
%40Ar+%60N_2	1,90
%50Ar+%50N_2	1,69
%60Ar+%40N_2	1,67
%70Ar+%30N_2	1,61
%80Ar+%20N_2	1,85
%90Ar+%10N_2	1,83

AlN ince filmlerin 550nm dalga boyundaki kırılma indisleri incelendiğinde; %70Ar+%30N_2 gaz konsantrasyonuna sahip olan numunelerin 1,61 ile en küçük kırılma indisi değerine sahip olduğu görülmüştür. %30Ar+%70N_2 gaz konsantrasyonunda ki AlN ince filmlerin ise kırılma indisleri 1,94 ile en büyük değere sahiptir.

RF saçtırma yöntemiyle plazma ortamında oluşturulan AlN ince filmlerin %Ar gazı konsantrasyonuna göre değişim grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir.



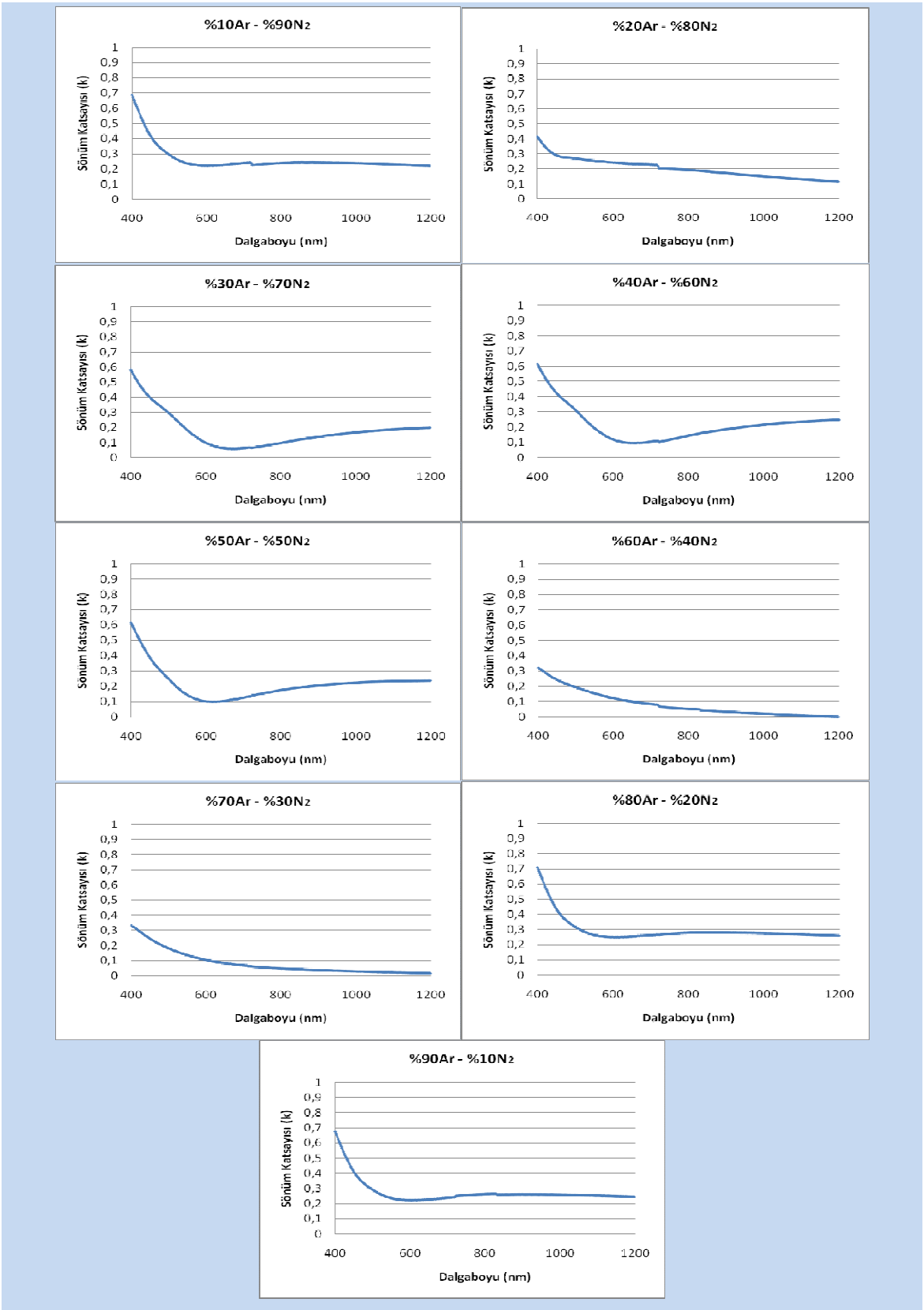
Şekil 5.8. Üretilen AlN ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre λ=550nm deki kırılma indisi değerleri

%10Ar gazı konsantrasyonundan %40Ar gazı konsantrasyonuna kadar kırılma indisi düzenli bir artış, daha sonra %80Ar konsantrasyonuna kadar da azalma eğilimi göstermiştir. %xAr+%(100-x)N_2 gaz konsantrasyonuna göre kırılma indisi değişim göstermektedir.

5.4.5. AlN numunelerinin sönüm katsayılarının (k) hesaplanması

RF saçtırma yöntemiyle elde edilen AlN ince filmlerin k; sönüm katsayıları hesaplaması dördüncü bölümde verilen Eşitlik (4.5) ve Eşitlik (4.6) kullanılarak yapılmıştır.

AlN ince film için ölçülen k, sönüm katsayısı grafikleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



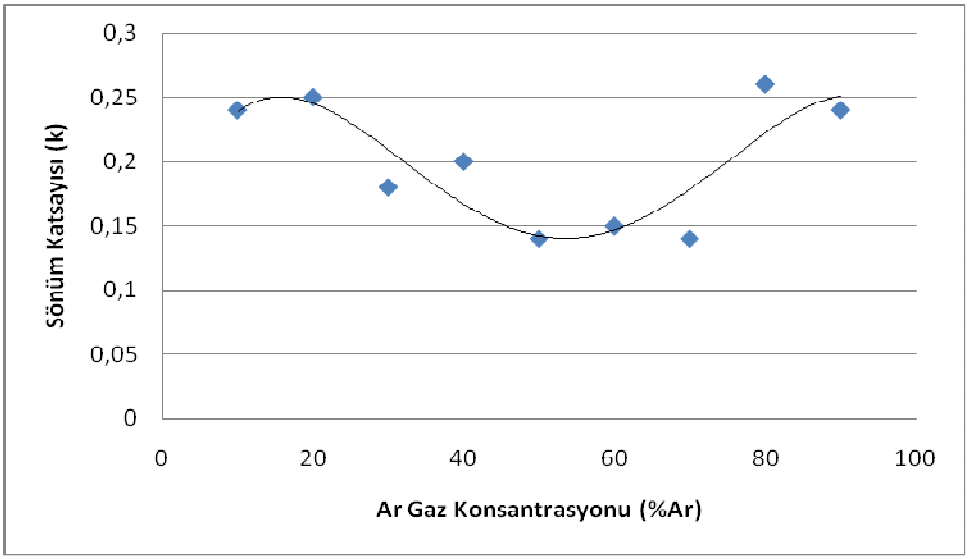
Şekil 5.9. AlN ince filmlerin sönüm katsayısı-dalga boyu grafikleri

Üretilen AlN ince filmlerin %xAr+%(100-x)N_2 gaz konsantrasyon oranlarına göre 550nm dalga boyuna karşılık gelen k sönüm katsayısı değerleri Çizelge 5.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 AlN ince filmlerin (λ=550nm) sönüm katsayısı değerleri

Yüzde Oran %X Ar+%(100-X) N_2	**Sönüm Katsayısı (λ=550nm) (k)**
%10Ar+%90N_2	0,24
%20Ar+%80N_2	0,25
%30Ar+%70N_2	0,18
%40Ar+%60N_2	0,20
%50Ar+%50N_2	0,14
%60Ar+%40N_2	0,15
%70Ar+%30N_2	0,14
%80Ar+%20N_2	0,26
%90Ar+%10N_2	0,24

Üretilen AlN ince filmlerin k sönüm katsayısı değerleri Çizelge 5.5 ve Şekil 5.10'dan incelendiğinde, sönüm katsayısının gaz karışım plazması içerisindeki %xAr+%(100-x) N_2 gazı konsantrasyonuna göre değişim gösterdiği görülmektedir. AlN ince filmlerin sönüm katsayısı değerlerinin (550nm dalga boyunda) 0,14 ile 0,26 arasında olduğu görülmüştür. %10Ar konsatrasyonundan %50Ar oranına kadar sönüm katsayısında azalma daha sonra ise artma görülmüştür.

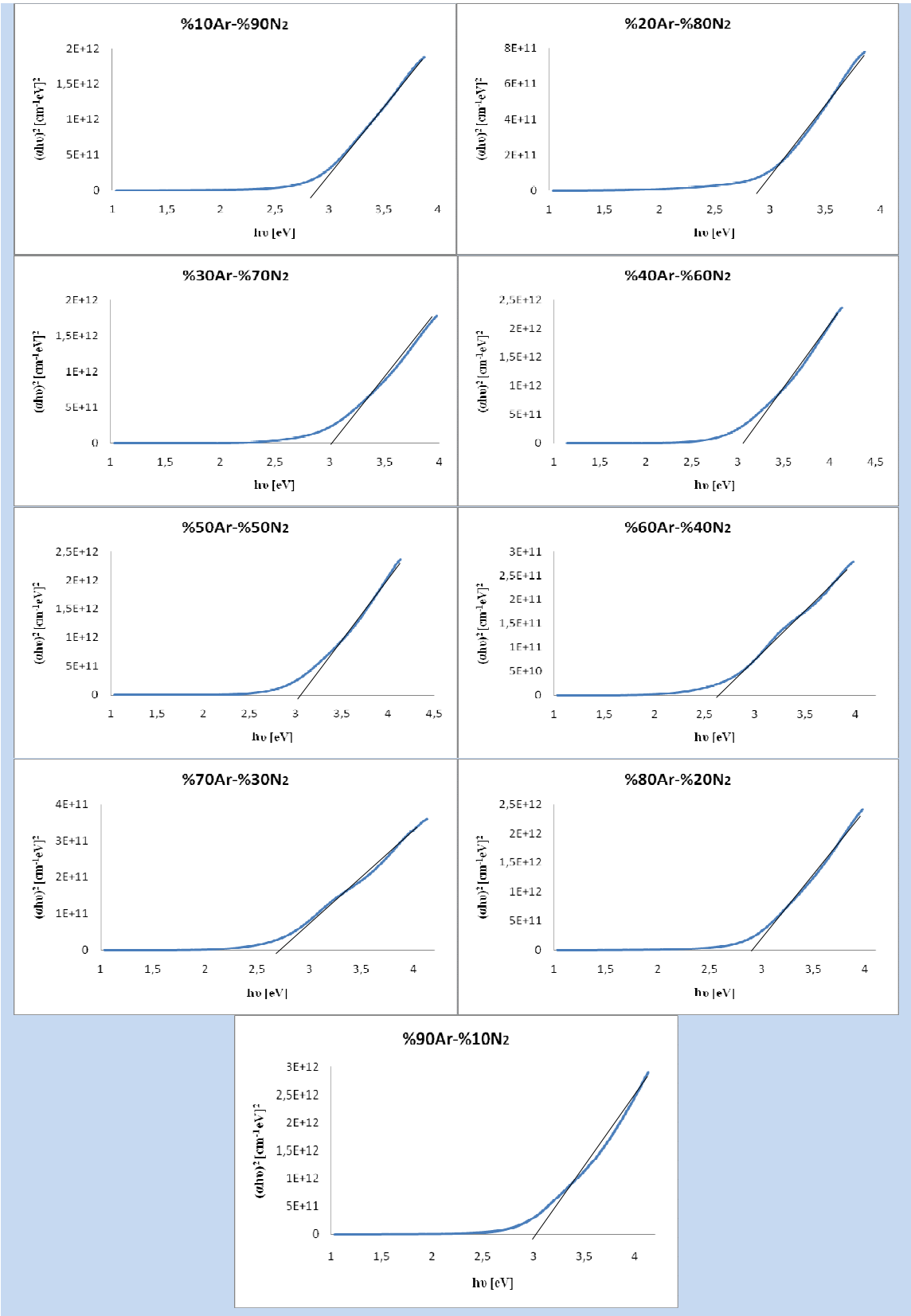


Şekil 5.10 AlN ince filmlerin %Ar konsantrasyonuna göre (k) sönüm katsayısı grafiği

5.4.6. AlN numunelerinin yasak enerji aralıkları hesaplamaları

RF saçtırma yöntemi kullanılarak üretilen AlN ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleri optiksel metod olan Tauc Metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.11'de AlN ince filmlerin farklı Ar ve N_2 gazı konsantrasyonlarındaki yasak enerji aralığının ölçüldüğü grafikler gösterilmiştir.

Bu grafiklerin düşey ekseni $(\alpha h\upsilon)^2$, yatay ekseni ise enerji ($h\upsilon$) ile gösterilir. α absorbansı, h Planc sabitini ve υ da frekansı göstermektedir. Absorbans α, değerleri Eşitlik (4.5) deki formülden hesaplanmıştır. Bu grafiğin doğrusal parçasından x eksenine düz çizgi çizilmiştir. Yatay eksenle bu çizginin kesişimi AlN ince filmin yasak enerji aralığı değerini göstermektedir.



Şekil 5.11. AlN ince filmlerin $(\alpha h\upsilon)^2$ – hυ grafikleri

Farklı %xAr+%(100-x)N_2 gaz konsantrasyonlarında üretilen AlN ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleri Çizelge 5.6 da gösterilmiştir.

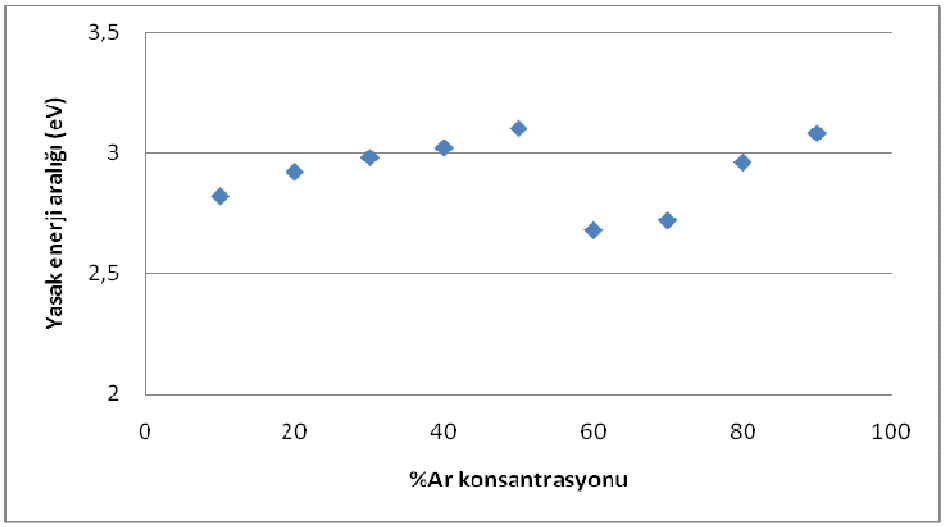
Çizelge 5.6 AlN ince filmlerin farklı Ar ve N_2 konsantrasyonlarındaki yasak enerji aralıkları

Yüzde Oran %X Ar+%(100-X)N_2	**Yasak enerji aralığı (E_g)(eV)**
%10Ar+%90N_2	2,82
%20Ar+%80N_2	2,92
%30Ar+%70N_2	2,98
%40Ar+%60N_2	3,02
%50Ar+%50N_2	3,10
%60Ar+%40N_2	2,68
%70Ar+%30N_2	2,72
%80Ar+%20N_2	2,96
%90Ar+%10N_2	3,08

AlN ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleride %xAr+%(100-x)N_2 gaz konsantrasyonuna göre değişim göstermektedir. Bu değerlere göre AlN yarıiletken bileşiğinin literatürdeki yasak enerji aralığı değeri olan 6.2eV'den küçük çıkmıştır. Bunun sebebi AlN bileşiğinin yapısında ki eşleşmeden yapıya katılan Al atomlarından yada oksijenin AlO safsızlık seviyesi oluşturabileceğinden kaynaklanabilmektedir.

AlN ince filmlerin yasak enerji aralıkları %xAr+%(100-x) N_2 gaz konsantrasyonuna göre değişim göstermektedir. Fakat bu değişim aralığı 2,68eV ile 3.10eV arasında birbirine oldukça yakın değerlerdedir. Gaz konsantrasyonuna göre

değişimin oldukça az olduğu görülmektedir. Bu şekilde iletkenliği gaz karışım oranlarını değiştirerek ayarlanabilir.



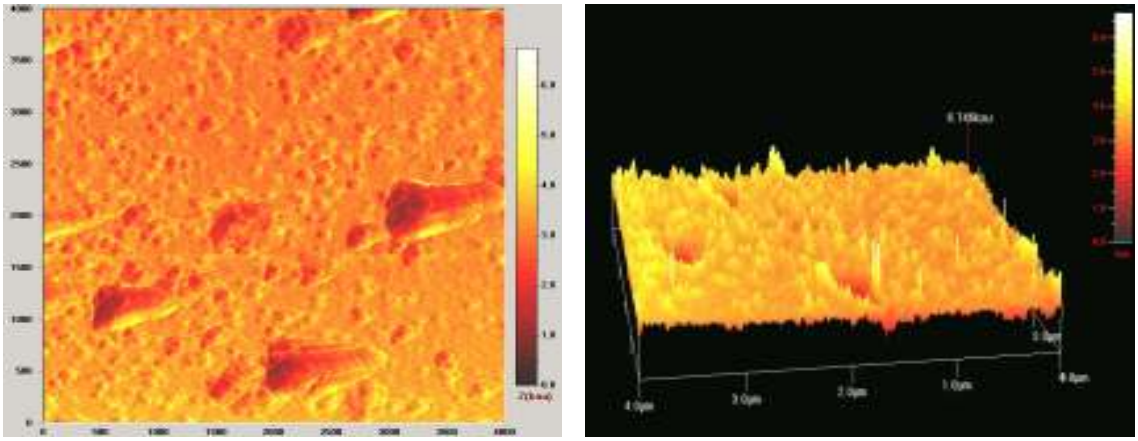
Şekil 5.12 AlN ince filmlerin Ar konsantrasyonuna göre yasak enerji grafiği

Üretilen AlN ince filmlerin gaz karışım plazması içerisindeki Ar gazı oranına göre yasak enerji aralığı değerleri Şekil 5.12'de verilmiştir. Ar gazı konsantrasyonuna göre %50 oranına kadar bir artış olmuştur. %60Ar+%40N_2 gazı konsantrasyonunda ise ani bir düşüş olmuş ve sonra tekrar artmaya başlamıştır. Yasak enerji aralığı değerleri %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30N_2 gaz konsantrasyonlarındaki değerler hariç 3eV civarındadır.

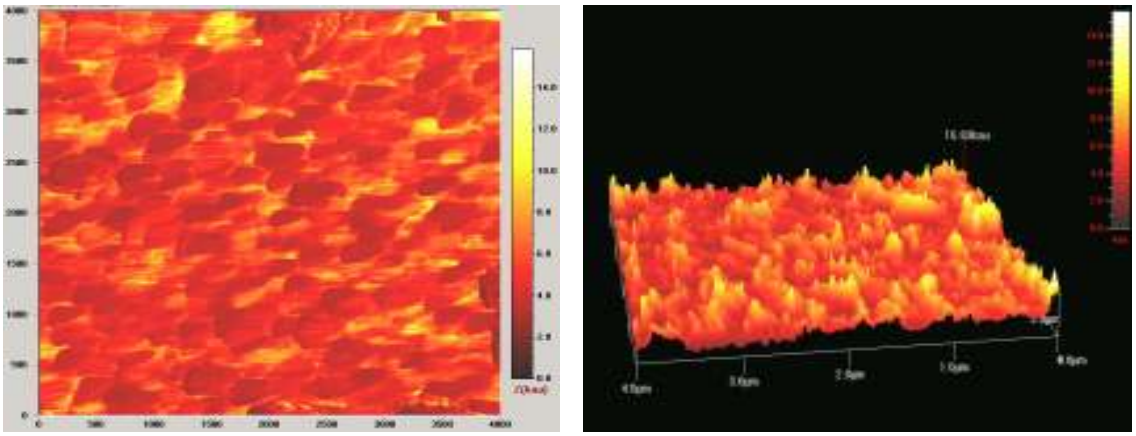
5.4.7. AlN numunelerinin AFM görüntüleri

RF saçtırma yöntemi ile üretilen AlN ince filmlerinin yüzey görüntüleri, Ambios marka Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak elde edilmiştir. Yüzey

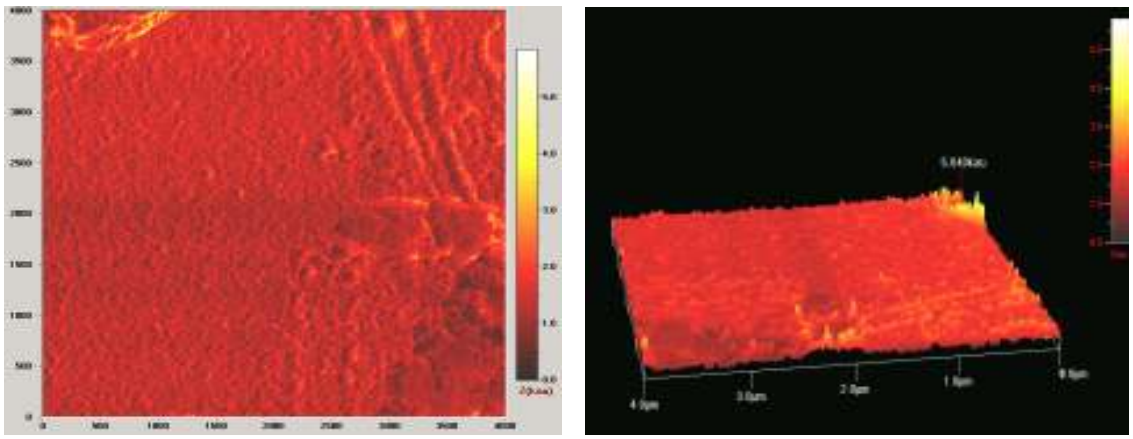
görüntüleri 4μm^2'lik alan taranarak görüntülenmiştir. Elde edilen görüntüler %xAr+%(100-x)N_2 gaz konsantrasyonuna göre Şekil 5.13-21 ile gösterilmiştir.



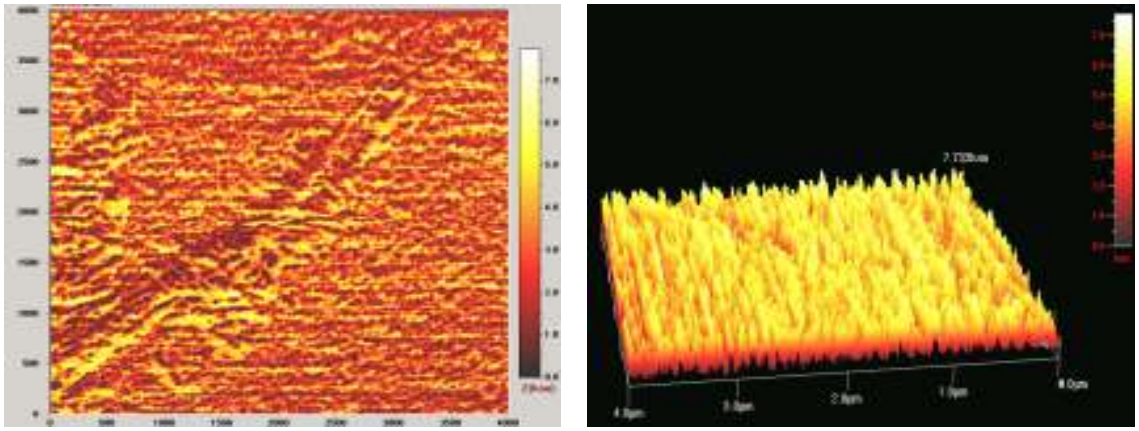
Şekil 5.13.%10Ar-%90N_2 gaz karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



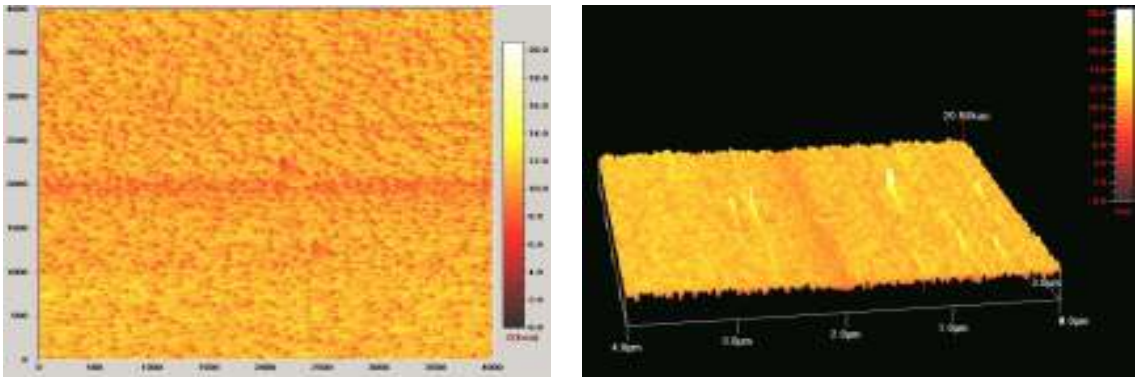
Şekil 5.14. %20Ar-%80N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



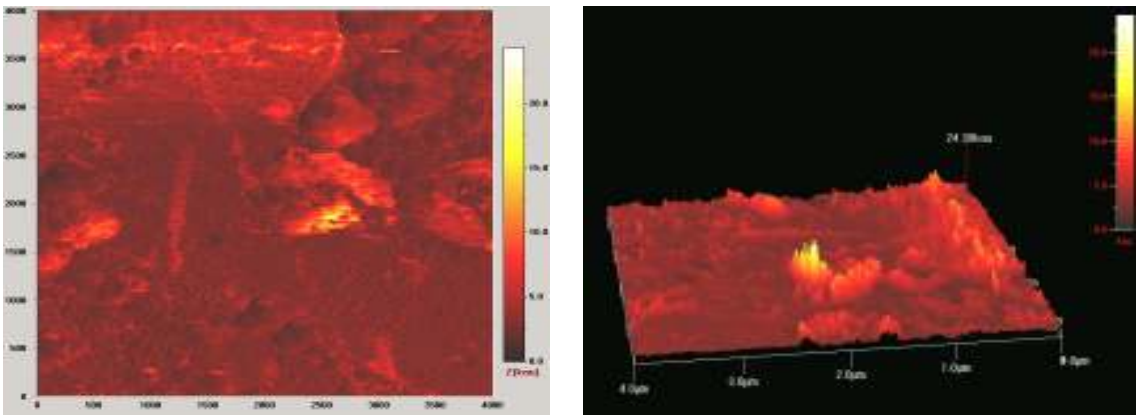
Şekil 5.15. %30Ar-%70N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



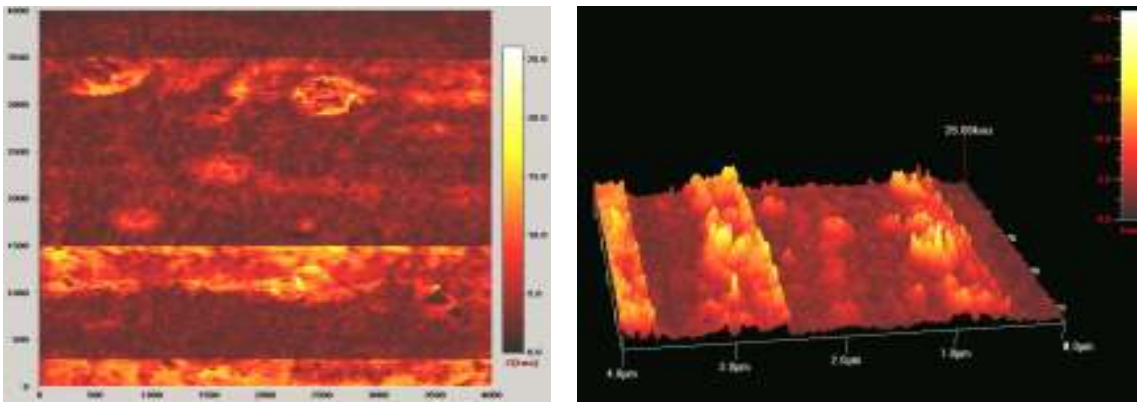
Şekil 5.16. %40Ar-%60N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



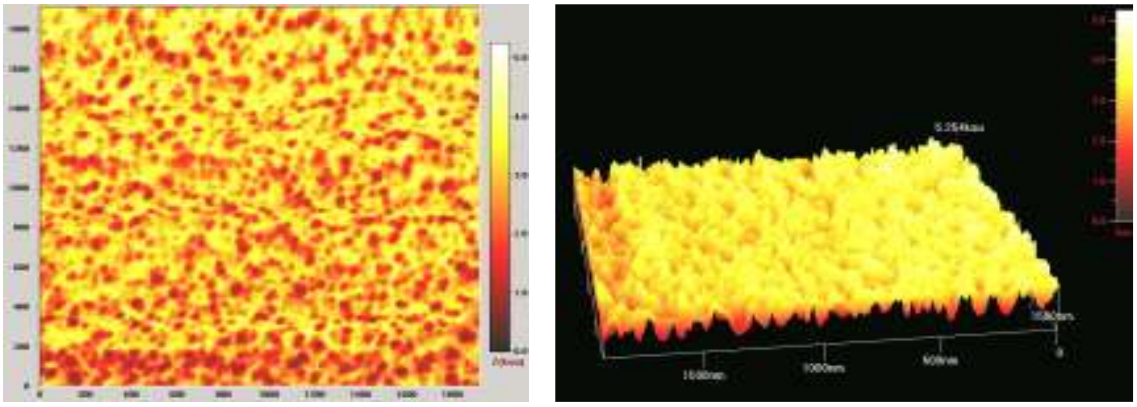
Şekil 5.17. %50Ar-%50N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



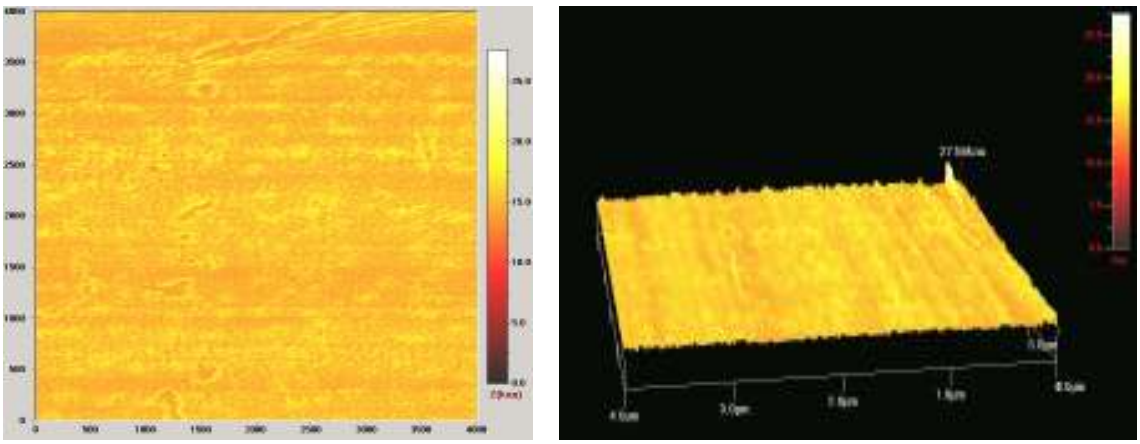
Şekil 5.18. %60Ar-%40N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



Şekil 5.19.%70Ar-%30N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



Şekil 5.20.%80Ar-%20N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri



Şekil 5.21.%90Ar-%10N_2 karışımı ile elde edilen AlN ince filmin AFM görüntüleri

Şekil 5.13 – 5.21 arasında AlN ince filmlerin AFM ile elde edilen, 4µm × 4µm ebatlarında iki boyutlu ve üç boyutlu faz görüntüleri gösterilmiştir. İki boyutlu ve üç boyutlu görüntülere bakıldığında, görüntüler arasında farklılıklar gözlenmektedir. RF saçtırma sistemindeki üretim parametreleri, gaz konsantrasyonu parametresi ve süre hariç sabit tutulmuştur. Ayrıca alt taşların hazırlanma işlemi de aynıdır. Dolayısıyla gözlenen farklılıkların sebebi azot gazı konsantrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

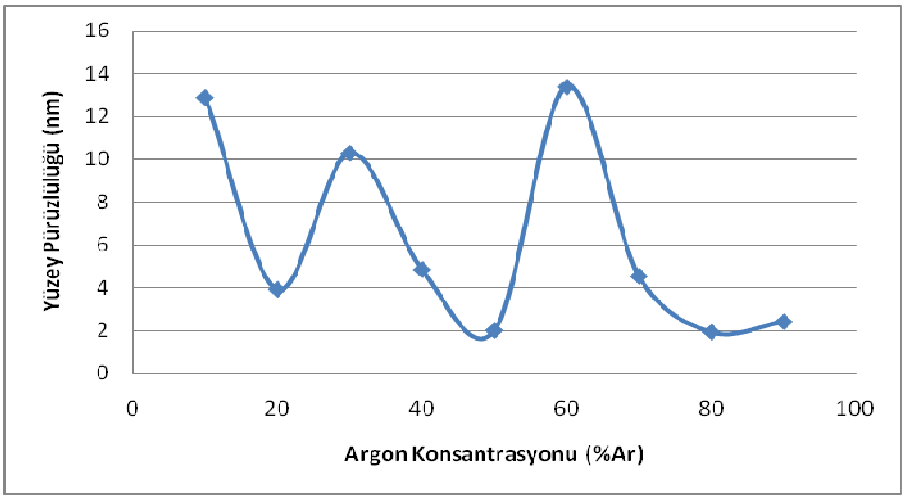
5.4.8. AlN numunelerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

RF saçtırma yöntemi ile üretilen AlN ince filmlerinin yüzey pürüzlülükleri Ambios marka Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) kullanılarak yüzey görüntüsü üzerinden eşit aralıklarla 20 ölçümün ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Bu elde edilen yüzey Ra (aritmetik ortalama pürüzlülük) pürüzlülüğü değerleri %Ar+%N_2 gaz konsantrasyonlarına göre Çizelge 5.7 ve Şekil 5.22 ile gösterilmiştir.

Çizelge.5.7. AlN ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri

Yüzde Oran %XAr+%(100-X)N_2	**Yüzey Pürüzlülüğü (nm)**
%10Ar+%90N_2	12,9
%20Ar+%80N_2	3,92
%30Ar+%70N_2	10,3
%40Ar+%60N_2	4,85
%50Ar+%50N_2	2,00
%60Ar+%40N_2	13,4
%70Ar+%30N_2	4,54
%80Ar+%20N_2	1,93
%90Ar+%10N_2	2,41

En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri %80Ar+%20N_2 gaz konsantrasyonunda 1,93nm olarak görülmüştür.



Şekil 5.22 AlN ince filmlerin Ar gazı konsantrasyonuna göre yüzey pürüzlülüğü

Üretilen AlN ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü %Ar+%N_2 gaz konsantrasyonuna göre değişim göstermektedir. Fakat filmlerin yüzey pürüzlülüğünün Ar ve N_2 gaz konsantrasyonuna göre değişimi düzenli değildir. Fakat elde edilen numunelerinin pürüzlülükleri şekil 5.22'den de görüleceği gibi oldukça düşüktür. Genel ortalaması ise 10nm'nin altındadır. Bu sonuç ise elde edilen numunelerin oldukça pürüzsüz yapıda olduğunu göstermektedir.

5.5 AlN Numunelerinin Analiz Sonuçları

Üretilen AlN numunelerinin yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda elde edilen verileri toplu olarak Çizelge 5.8 de karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.

Çizelge 5.8 AlN ince filmlerin üretim parametreleri ve ölçüm sonuçları

Numune kodu (AlN)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
%Ar	10	20	30	40	50	60	70	80	90
%N_2	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Bamç (Torr)	$1.7*10^{-1}$	$1.7*10^{-1}$	$1.7*10^{-1}$	$1.54*10^{-1}$	$1.4*10^{-1}$	$1.37*10^{-1}$	$1.7*10^{-1}$	$1.58*10^{-1}$	$1.7*10^{-1}$
Güç (Watt)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Süre (dk)	60	60	90	90	100	90	100	80	90
Ölçülen Kalınlık(nm)	58.57	62,88	90,65	81,12	74,03	65,75	64,96	54,82	59,74
Sönüm Katsayısı (550nm)	0,24	0,25	0,18	0,20	0,14	0,15	0,14	0,26	0,24
Hesaplanan Kırılma İndisi (550 nm)	1,82	1,91	1,94	1,90	1,69	1,67	1,61	1,85	1,83
Yasak Enerji Aralığı (eV)	2,82	2,92	2,98	3,02	3,10	2,68	2,72	2,96	3,08
Yüzey Pürüzlüğü(nm)	12,9	3.92	10,3	4,85	2,00	13,40	4,54	1,93	2,41

6 SONUÇ VE TARTIŞMA

RF saçtırma yöntemi ile alüminyum metalini kullanarak alt taş (cam) üzerine AlN ince filmlerin farklı %xAr+%(100-x)N_2 gazı karışım plazması kullanılarak üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu üretilen AlN ince filmlerin interferometrik metot ile oluşturulan ince filmlerin kalınlığı, üretim oranı, üretim oranının Ar ve N_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi, UV-Vis spektrometre ile geçirgenlikleri ve absorbansları belirlenmiştir. Ayrıca optiksel Tauc Metodu kullanılarak AlN ince filmlerin reel kırılma indisleri hesaplanmıştır. AlN ince filmlerin sönüm katsayıları ve üretilen AlN ince filmlerin yasak enerji aralıkları Ar ve N_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Son olarak üretilen AlN ince filmlerin yüzey fotoğrafları ve pürüzlülüklerinin değişimi %xAr+%(100-x)N_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak incelenmiştir.

RF saçtırma sistemi yarı iletken ve iletken ince filmlerin ve kaplamaların yapılmasında oldukça yaygın kullanılan bir sistemdir. Genellikle kullanılan sistemlerde ince filmi oluşturulacak ya da kaplanacak malzeme "hedef materyal" olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise AlN ince filmler oluşturulurken AlN hedef materyal yerine Al metali kullanılmıştır. Çalışma gazı olarak ise farklı konsantrasyonlarda N_2 gazı ilave edilerek vakum odası içerisinde Ar+N_2 gaz karışımı plazması oluşturulmuş ve RF yardımı ile hedef materyalden (Al) saçtırılan Al atomları N_2 atomlarıyla reaksiyona girerek AlN bileşiği şeklinde alt taşın üzerine depolanması gerçekleştirilmiştir. AlN ince filmlerin kalınlıklarında düzenli bir değişim olmamasına rağmen N_2 konsantrasyonunun azalmasıyla AlN ince filmlerin üretim oranında azalma gözlenmiştir.

Elde edilen geçirgenlik sonuçları incelendiğinde zayıf absorbans bölgesinde (>550 nm) ve görünür bölgede (400nm-700nm) en yüksek geçirgenlik değeri %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30 N_2 gaz karışımıyla üretilen ince filmlere aittir. Bu konsantrasyonlardaki AlN ince filmin 700 nm üzerindeki geçirgenliği kuvvetli bir şekilde artmıştır. Geçirgenlik değerleri alt taş olan camın geçirgenliği ile karşılaştırıldığında daha yüksektir (~%100). Başka bir deyişle 700nm üzerindeki bu bölgelerde AlN ince filmler yüksek geçirgenliğe sahiptir. Bunun sebebi ise alt taşın AlN ile kaplanması sonucu yüzey yansımalarının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Absorbans değerleri incelendiğinde de yine %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30 N_2 gaz konsantrasyonuyla üretilen AlN ince filmlerde bir farklılık göstermiştir. Bu konsatrasyondaki AlN ince filmlerin absorbans değerleri oldukça düşüktür.

Geçirgenlik ve absorbans değerlerindeki değişimin düzenli olmamasına rağmen istenilen diğer değerlerde göz önüne alınarak absorbans değerlerinin gaz karışımı oranları ile ayarlanabilmesi mümkün olabilmektedir.

RF saçtırma yöntemiyle elde edilen AlN ince filmlerin hesaplanan reel kırılma indisi değerleri 1,61-1,94 arasında değişmektedir. Bu değişim yine Ar ve N_2 gaz konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir.

AlN ince filmlerin ölçülen sönüm katsayıları değerlerinde %60Ar+%40N_2 ve %70Ar+%30 N_2 gaz konsantrasyonunun k değerlerinin düşük olduğu görülmüştür.

AlN ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleri ise 3eV civarında birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Yine bu değerlerde Ar ve N_2 gaz oranlarına bağlı olarak az da olsa değişim göstermektedir.

AlN ince filmlerin görüntüleri incelendiğinde, gaz konsantrasyonuna göre değişik yapılarda oldukları görülmüştür. Tüm gözlenen farklılıkların sebebi azot gazı konsantrasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Üretilen AlN ince filmlerin yüzey pürüzlülükleri %xAr+%(100-x)N_2 gaz konsantrasyonuna göre farklı değerlerdedir. Bu farklılık düzenli olmamasına rağmen üretilen ince filmlerin yüzey pürüzlülükleri oldukça düşüktür.

RF saçtırma tekniği ile üretilen AlN yarıiletken ince filmlerin elektriksel özellikleri bu çalışmada incelenmemiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kullanılan gaz karışımı plazması içerisindeki Ar ve N_2 gazı konsantrasyonuna bağlı olarak AlN yapılarının değiştiği gözlenmiştir. Bunun sebebi ise AlN ince filmleri üretirken alüminyum ve azot atomlarının kimyasal 1:1 eşleştikten sonra alt taş üzerine yapıştırılması gerekmektedir. Fakat ortamın gaz konsantrasyonu göre Al ve N atomlarının oluşturdukları bölgedeki azot atomlarının eksikliğine ve fazlalığına bağlı olarak AlN ince filmlerin içerisindeki eşleşmemiş alüminyum atomlarının da alt taş üzerine yapışarak orada reaksiyona girmesi sonucu değişimler meydana gelmiştir. Ayrıca vakumlanan ortamda istenmeyen gazlarında (oksijen) tepkimeye girmesi etkili olabilir.

Sonuçlar incelendiğinde Ar ve N_2 gaz konsantrasyonunun üretilen ince filmlere etkileri oldukça önem arz etmektedir. AlN filmlerin hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak AlN ince filmlerin bazı fiziksel özellikleri Ar ve N_2 gaz konsantrasyonuna göre değişebilmektedir.

KAYNAKLAR

Akan, T., 2003, Termiyonik vakum ark (TVA)'nın temel özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Universitesi, Fen Bilimleri Enstitusu, Eskisehir

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

Babon, C., Rusu, G. I., Prepelita, P., 2005, On The optical properties of polyony stalline CdSe thin films, Journel of Optoelectronics and Advanced Materials Vol 7, No 2, p. 817-821

Balbağ, M. Z., 2009, Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği ile Magnezyum, Bor ve Magnezyum Borür ince filmerinin üretilmesi ve bazı fiziksel özelleklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Osmangazi Universitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

Benramdane, N., Murad, WA., Misho, RH., Ziane, M., Kebbab, Z. A., 1997, Chemical method for the preparation of thin films of CdO and ZnO. Mater Chem Phys; 48:119–23.

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, syf 14, 15

Cheal, R. L., Yong, J. P., 2003, Characteristics of UV photodetector fabricated by Al0, 3Ga0,7N/ GaN heterostructure, Journal of Crystal Growth, 252: 51-57

KAYNAKLAR (devam)

Chenn, E., 2004, Thin film deposition, Aplied Physics, 298r

Dogan, M., 2004. 21. Yüzyılın teknolojisi nanoteknoloji, Popüler Bilim Dergisi, 128;32-36

Fıshbane, Paul M., Gasiorowicz Stephen, Stephen T. Thornton 2003, Temel Fizik, Cilt 2, *Arkadaş Yayıncılık*, İstanbul, 686,1155-1195-1209

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 Universitesi Matbaası

Grill A., 1993, Cold Plasma in materials fabrication, IEEE Pres,

Hasançebi, Ö., 2006, Sol-Gel Yöntemi ile azırlanan Bakır Oksit ince filmlerin elektriksel, yapısal ve optiksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara 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, Ames, Iowa, 98 p.

Kahraman F, Yadullah B.,Karadeniz S., 2008, Nikel bazlı süperalaşımların plazma nitrürleme yöntemi ile yüzey özelliklerinin değiştirilmesi, MakinaTek, sayı:123 Araştırma Makalesi, Ulusal Hakemli

Ohta, J., Fujioka, H., Ito, S. and M. Oshima, 2002, Room-temperature epitaxial growth of AlN films Appl. Phys. Lett. 81 , 2373

KAYNAKLAR (Devam)

Operations Manual for the Filmetrics F20 thin film analyzer, 2005, Revision 4.04, Filmetrics, Inc Limited

Oura, K., Lifshits, V. G., Saranin, A. A., Zotov, A. V., Katayama, M., 2003, Surface science:An introduction, Springer, Berlin, 19-37, 159-168

Pankove JI. Optical process in semiconductors, solid state physical electronics series. N.J.: Prentice-Hall; 1971.

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. and Bour, D. P., 1996, Nitride-based semiconductors for blue and green light-emitting devices, Nature London 386 , 351

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

Schmidtling, T., Poh,l U.W., Richter, W., 2005, In situ spectroscopic ellipsometry study of GaN nucleation layer growth and annealing on sapphire in metal-organic vapor-phase epitaxy, Journal of Applied Physics, 98: 33522-1-5

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

Sener, D. 2006, Sol-Gel yöntemiyle hazırlanan metal oksit ince filmlerin elektriksel yapısal ve optiksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Tarımcı C., Sarı H., 2006, Vakum tekniği, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 1. Baskı, 168 s.

KAYNAKLAR (devam)

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

Thornton, J. A., 1983, Plasma assisted deposition process: Theory, mechanism and applications, Thin Solid Film, vol.107, 3-19

Tuzemen, E. S., 2007, ZnO ince filmlerinin eldesi ve aygıt üretimi için parametrelerinin optimizasyonu, Doktora Tezi, Cukurova Universitesi, Fen Bilimleri Enstitusu, 208s.

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

Watchman, J. B., Haber R.A., 1993 Ceramic films and coatings, Noyes Publications, New Jersey, USA, 447p.

Wellings, J. S., Chaure, N. B., Heavens, S. N., Dharmadasa, I. M., 2008, Growth and characterisation of electrodeposited ZnO thin films**,** Thin Solid Films 516, 3893