



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK VAKUM ORTAMINDA ÜRETİLEN $Ba_xMg_{1-x}F_2$
ALAŞIMININ MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ATOMİK
KONSANTRASYONUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ezgi BARIŞ

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN**

**II. DANIŞMAN
Doç. Dr. Bükem TANÖREN**

Ocak, 2023

İSTANBUL

Bu çalışma, 4.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Gönül BAŞAR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Şeyma PARLATAN
İstinye Üniversitesi
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince bilgisi ve deneyimleri ile her şartta yanımda olan, yol gösteren ve tez çalışmam boyunca ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışman hocam Prof. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN'e en içten duygularıyla teşekkür ederim. Yüksek Lisans tezimin altyapısının oluşmasında ve numunelerin yüzey karakterizasyon deneylerinin yapılması aşamasında verdiği teorik ve deneysel bilgilerden ötürü tez eş danışmanım Doç. Dr. Bükem TANÖREN'e çok teşekkür ederim.

Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımlarının üretilmesi ve atomik kuvvet mikroskobu ölçümlerinin yapılabilmesi için olanak sağlayan Doç. Dr. Barış KINACI'ya, laboratuvar müdürü Prof. Dr. Süleyman ÖZÇELİK'e ve tüm laboratuvar personeline çok teşekkür ederim.

Taramalı elektron mikroskobu/enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi ile yüzey görüntülenmesi aşamasında katkı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Melih Beşir ARVAS'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamın Boğaziçi Üniversitesi Medikal Görüntüleme Laboratuvarı'nda (BUMILAB) taramalı akustik mikroskopisi deneylerinin yapılabilmesi için olanak sağlayan laboratuvar sorumlusu Prof. Dr. Mehmet Burçin ÜNLÜ'ye ve deneyler esnasında gösterdikleri ilgiden dolayı Dr. Uğur PARLATAN'a ve Melita PARLAK'a çok teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden itibaren bilgi ve tecrübelerini hiçbir suretle esirgemeyen İstanbul Üniversitesi öğretim üyelerinden saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Gönül BAŞAR'a ve Prof. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Merve SİRKECİ'ye ve Doğukan BİNGÖL'e teşekkür ederim.

Tüm yaşantım ve eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemedi her koşulda yanımda olan annem, babam ve ablama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2023

Ezgi BARIŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	12
3.1. $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ İNCE FİLM NANO MALZEMELER.....	12
3.2. MALZEMELERİN RF MAGNETRON SIÇRATMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİMİ	15
3.3. MALZEMELERİN AKM TEKNİĞİ İLE YÜZEY KARAKTERİZASYONU.....	18
3.4. MALZEMELERİN SEM TEKNİĞİ İLE YÜZEY KARAKTERİZASYONU	20
3.5. MALZEMELERİN SEM-EDS TEKNİĞİ İLE YAPISAL KARAKTERİZASYONU	22
3.6. MALZEMELERİN TAM TEKNİĞİ İLE YÜZEY KARAKTERİZASYONU	23
4. BULGULAR.....	30
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	44
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Radyo-frekans magnetron sıçratma tekniğine ait a) şematik gösterim, b) deney düzeneği.	15
Şekil 3.2: Radyo-frekans magnetron sıçratma tekniği ile ince film oluşumunun şematik gösterimi.	16
Şekil 3.3: Nanovak NVTS – 500 radyo-frekans magnetron sıçratma sistemi.	18
Şekil 3.4: Atomik kuvvet mikroskopuna ait temel bileşenler.	19
Şekil 3.5: NanoMagnetics Instruments LTD., Oxford, UK AKM Cihazı.	20
Şekil 3.6: SEM cihazının şematik gösterimi.	21
Şekil 3.7: Zeiss EVO LS 10 SEM cihazı.	22
Şekil 3.8: Zeiss EVO LS 10 SEM-EDS cihazı.	23
Şekil 3.9: Akustik empedans modunda TAM cihazının kurulum şeması.	24
Şekil 3.10: Akustik empedans ölçümünün çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi.	25
Şekil 3.11: TAM cihazı deney düzeneğinin şematik diyagramı.	26
Şekil 3.12: Boğaziçi Üniversitesi Medikal Görüntüleme Laboratuvarı'nda bulunan Honda Electronics SAM AMS-50SI cihazı.	28
Şekil 3.13: TAM ölçümlerinin görüntülenmesini sağlayan programa ait ara yüz.	28
Şekil 3.14: Ölçümü alınan numunenin cihaz üzerindeki yerleşimi.	29
Şekil 4.1: n tipi Silisyum üzerine kaplanmış numuneler.	30
Şekil 4.2: Kuvars cam üzerine kaplanmış numuneler.	30
Şekil 4.3: Kuvars cam üzerine kaplanmış BaF ₂ bileşiğinin 10 x 10 µm ² 'lik tarama alanında AKM görüntüsü.	31
Şekil 4.4: Kuvars cam üzerine kaplanmış MgF ₂ bileşiğinin 10 x 10 µm ² 'lik tarama alanında AKM görüntüsü.	31
Şekil 4.5: Kuvars cam üzerine kaplanmış Ba _x Mg _{1-x} F ₂ (Baryumca zengin, x>0.5) alaşımının 10 x 10 µm ² 'lik tarama alanında AKM görüntüsü.	32

Şekil 4.6: Kuvars cam üzerine kaplanmış $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) alaşımının $10 \times 10 \mu m^2$ 'lik tarama alanında AKM görüntüsü.....	32
Şekil 4.7: a) Vakum ortamına yerleştirilecek numuneler, b) Quorum-SC7620 cihazı ile vakum altında kaplama işlemi.	33
Şekil 4.8: BaF_2 bileşiğine ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm 'lik tarama alanı için, b) $1 \mu m$ 'lik tarama alanı için.....	34
Şekil 4.9: MgF_2 bileşiğine ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm 'lik tarama alanı için, b) $1 \mu m$ 'lik tarama alanı için.....	34
Şekil 4.10: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x > 0.5$) alaşımına ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm 'lik tarama alanı için, b) $1 \mu m$ 'lik tarama alanı için.....	35
Şekil 4.11: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) alaşımına ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm 'lik tarama alanı için, b) $1 \mu m$ 'lik tarama alanı için.....	35
Şekil 4.12: 100 nm kalınlığındaki BaF_2 bileşiğinin SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Ba, c) F elementlerinin Silisyum alttaşı üzerinde biriken BaF_2 kaplamasındaki EDS haritalamaları, d) Şekil 4.12a'da gösterilen alanın EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu $2 \mu m$ 'dir).....	36
Şekil 4.13: 100 nm kalınlığındaki MgF_2 bileşiğinin SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Mg, c) F elementlerinin Silisyum alttaşı üzerinde biriken MgF_2 kaplamasındaki EDS haritalamaları, d) Şekil 4.13a'da gösterilen alanın EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu $2 \mu m$ 'dir).....	37
Şekil 4.14: 100 nm kalınlığındaki $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x > 0.5$) alaşımının SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Ba, c) Mg, d) F elementlerinin Silisyum alttaşı üzerine biriken $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x > 0.5$) kaplamasındaki EDS haritalamaları, e) Şekil 4.14a'da gösterilen EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu $2 \mu m$ 'dir).....	38
Şekil 4.15: 100 nm kalınlığındaki $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) alaşımının SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Ba, c) Mg, d) F elementlerinin Silisyum alttaşı üzerinde biriken $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) kaplamasındaki EDS haritalamaları, e) Şekil 4.15a'da gösterilen alanın EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu $2 \mu m$ 'dir).....	39
Şekil 4.16: BaF_2 bileşiğinin TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) $4.8 \text{ mm} \times 4.8 \text{ mm}$ tarama alanında, b) $0.3 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ tarama alanında.....	41
Şekil 4.17: MgF_2 bileşiğinin TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) $4.8 \text{ mm} \times 4.8 \text{ mm}$ tarama alanında, b) $0.3 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ tarama alanında.....	41

Şekil 4.18: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) alaşımasının TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) 4.8 mm x 4.8 mm tarama alanında, b) 0.3 mm x 0.3 mm tarama alanında.42

Şekil 4.19: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$) alaşımasının TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) 4.8 mm x 4.8 mm tarama alanında, b) 0.3 mm x 0.3 mm tarama alanında.42



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: BaF ₂ bileşiğine ait bazı parametreler (Optical Solutions, 2020a).	13
Tablo 3.2: MgF ₂ bileşiğine ait bazı parametreler (Optical Solutions, 2020b).	14
Tablo 4.1: Farklı atomik konsantrasyonlara sahip BaF ₂ ve MgF ₂ bileşikleri ile Ba _x Mg _{1-x} F ₂ alaşımları için karekök ortalama yüzey pürüzlülük (rms) değerleri.	33
Tablo 4.2: Üretilen ince film nano malzemelerin TAM tekniği ile belirlenen yüzey akustik empedans (MRayl cinsinden) ve standart sapma değerleri.	43

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

BaF₂	: Baryum Florür
MgF₂	: Magnezyum Florür
Ar	: Argon
Si	: Silisyum
S₀	: Üretilen akustik (ses) sinyali
S_{hedef}	: Hedeften yansıyan akustik (ses) sinyali
S_{ref}	: Referanstan yansıyan akustik (ses) sinyali
Z_{hedef}	: Numunenin akustik empedansı
Z_{alt}	: Alt tabakanın (subtrat) akustik empedansı
Z_{ref}	: Distile suyun (referans) akustik empedansı
ρ	: Yoğunluk
V	: Akustik hız
E_m	: Elastikiyet modülü

Kısaltmalar

Açıklama

AKM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
rf	: Radyo frekansı
rms	: Karekök Ortalama
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopisi
SEM-EDS	: Taramalı Elektron Mikroskopisi-Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
TAM	: Taramalı Akustik Mikroskobu

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK VAKUM ORTAMINDA ÜRETİLEN $Ba_xMg_{1-x}F_2$ ALAŞIMININ MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ATOMİK KONSANTRASYONUN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ezgi BARIŞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN

II. Danışman : Doç. Dr. Bükem TANÖREN

Bu tez çalışmasında; yenilikçi malzemelerden olan hem BaF_2 , MgF_2 bileşikleri hem de $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım ince filmleri, radyo frekansı (rf) magnetron sıçratma yöntemi ile yüksek vakum ortamında cam ve silisyum (Si) alttaşlar üzerine nanometrik boyutta (100 ± 10 nm) biriktirilmiştir. Yüksek vakum ortamında BaF_2 (%99 saflıkta) ve MgF_2 (%99 saflıkta) hedef malzemeler kullanılması ve bu hedeflere uygulanan güç seviyelerinin değiştirilmesi ile farklı atomik konsantrasyonlarda $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım kaplamaları aynı ortam koşullarında ve aynı anda oluşturulmuştur. Malzeme örneklerinin mikro yapısı ve yüzey karakterizasyonu spektroskopik ve mikroskobik yöntemler yardımıyla analiz edilerek, morfolojik özellikleri incelenmesi amaçlanmıştır.

Malzemelerin yüzey karakterizasyonu kısmında; iyi bir 2- ve 3-boyutlu topografik görüntüleme tekniği olan atomik kuvvet mikroskopisi (AKM), ince filmlerin yüzey morfolojisini aydınlatmak için güçlü bir yüzey tekniği olan taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve 2-boyutlu ileri mikroskobik yüzey akustik görüntüleme tekniği olan taramalı akustik mikroskopi (TAM) tekniği kullanılmıştır. AKM tekniği ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım malzemelerin 3-boyutlu yüzey görüntüsü alınarak yüzey pürüzlülük değerleri ve tanecik boyutları elde edilmiştir. SEM tekniği ile her bir malzeme için nanometrik boyutta parçacık boyutları belirlenmiş ve yüzey homojenliği hakkında bilgi elde edilmiştir. TAM tekniği ile örneklerin 2-boyutlu yüzey akustik

görüntüsü haritalanmış ve yüzey akustik empedans değerleri belirlenmiş ve malzemelerin mikro sertliği hakkında bilgi elde edilmiştir.

Malzemelerin mikro yapısal karakterizasyonu kapsamında; taramalı elektron mikroskopisi/enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDS) tekniği kullanılarak kantitatif elementel analizi gerçekleştirilmiş ve atomik bileşimlerin stokiometrik oranları belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında; hem BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri hem de $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım kaplama örneklerinin AKM, SEM, SEM-EDS ve TAM ölçümleri sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile, atomik konsantrasyon parametresinin malzemenin morfolojik özellikleri üzerinde meydana getirdiği etki tespit edilmiştir. Üretilen ince filmlerin farklı optoelektronik uygulamaları, seramik endüstrisi ve yüzey akustik dalgalarını kullanan cihazlar için uygun bir malzeme olarak kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Ocak 2023, 68 sayfa.

Anahtar kelimeler: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ ince film alaşımları, rf magnetron sıçratma tekniği, atomik kuvvet mikroskopisi, taramalı elektron mikroskopisi, taramalı elektron mikroskopisi/enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi, taramalı akustik mikroskopisi, yüzey karakterizasyonu, yapısal karakterizasyon

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ATOMIC CONCENTRATION ON MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ ALLOY PRODUCED IN HIGH VACUUM ENVIRONMENT

Ezgi BARİŞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Bükem TANÖREN

In this thesis study, both hem BaF_2 , MgF_2 compounds and $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alloy thin films, one of the innovative materials, were deposited on glass and silicon (Si) substrates in nanometric size (100 ± 10 nm) in a high vacuum environment by radio frequency (rf) magnetron sputtering method. Using BaF_2 (99% purity) and MgF_2 (99% purity) target materials in a high vacuum environment and changing the power levels applied to these targets, $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alloy coatings at different atomic concentrations were formed under the same ambient conditions and at the same time. The microstructure and surface characterization of the material samples were analyzed with the help of spectroscopic and microscopic methods, aiming to examine the morphological properties.

In the surface characterization of materials, atomic force microscopy (AKM), a good 2- and 3-dimensional topographic imaging technique, scanning electron microscopy (SEM), a robust surface technique to elucidate the surface morphology of thin films, and scanning acoustic microscopy, a 2-dimensional advanced microscopic surface acoustic imaging technique (TAM) technique was used. With the TAM technique, the 2-dimensional surface acoustic image of the samples was mapped, the surface acoustic impedance values were determined, and information about the microhardness of the materials was obtained. Surface roughness values and grain

sizes were obtained by taking 3-dimensional surface images of $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alloy materials with the AFM technique. Nanometric particle sizes were determined for each material with the SEM technique, and information about surface homogeneity was obtained.

In the microstructural characterization of materials, quantitative elemental analysis was performed using scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS) technique, and stoichiometric ratios of atomic compositions were determined.

In this thesis study, By evaluating the data obtained as a result of AFM, SEM, SEM-EDS and TAM measurements of both BaF_2 , MgF_2 compounds and $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alloy coating samples, the effect of the atomic concentration parameter on the morphological properties of the material was determined. The usability of the produced thin films as a suitable material for different optoelectronic applications, ceramic industry and devices using surface acoustic waves has been indicated.

January 2023, 68 pages.

Keywords: $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ thin film alloys, rf sputtering method, atomic force microscopy, scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectroscopy, scanning acoustic microscopy, surface characterization, structural characterization

1. GİRİŞ

İnce film bileşik/alaşım malzemeler, son senelerde gerek ülkemizde gerek dünya çapında hızlıca popülerlik kazanan uygulamalar arasında yer almaktadır. Gün geçtikçe gelişen teknoloji sayesinde nano-bilim ve nano-teknoloji alanında yapılan bilimsel çalışmalar, çeşitli uygulamaların gelişim süreçlerine ışık tutacak nitelikte olmuştur. İnce film kaplama teknolojisi ile üretilen nano malzemeler, bu malzemelerin kullanılması ile elde edilen araç-gereçlerin yüzey, optik, elektronik ve mekanik özelliklerinde yüksek oranda iyileştirme sağlamaktadır. Yaygın bir kullanım alanına sahip olan ince filmler, yansıma önleyici kaplamalar, optik diskler, devre elemanlarının yapımı, hafıza diskleri gibi birçok alanda kendilerine yer bulmaktadır (Sönmezoğlu ve diğ., 2012). Son yıllarda, ince film bileşik/alaşım kaplamaları, yüzey akustik dalgaları kullanılan cihazlarda da kullanılabilmektedir. Bu gibi cihazların genelde yarıiletken bileşik tabanlı olduğuna dikkat çekilirse, yarıiletkenlerin önemi göz önünde bulundurulmaktadır. Bunun yanı sıra günümüzde, yarıiletken bileşiklerin farklı atomik konsantrasyonlarda oluşturabileceği alaşım nano malzemelerin de yukarıda bahsi geçen farklı uygulamalarda kullanılabilirliği konusunda kaynak olacağı düşünülebilir. Burada, atomik konsantrasyon değişken parametresi nano malzemelerin yüzey, optik, elektrik, mekanik ve akustik özelliklerinde önemli bir belirleyici olabilmektedir.

İnce film kaplamaları elde etmek için, hizmet ettikleri amaca yönelik farklı üretim teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden başlıcaları; katı fazda, sıvı fazda ve buhar fazda kaplama olarak kategorize edilebilir. Her bir tekniğin kendi içerisinde avantaj/dezavantajları bulunmaktadır. Buhar fazda kaplama tekniklerinden biri olan radyo-frekans (rf) magnetron sıçratma tekniği, düşük alttaş sıcaklığına sahip olması, düşük maliyet ile üretim sağlanması ve yüksek düzeyde kaplama yapılabilmesi özellikleri nedeniyle günümüzde araştırmalar için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir.

BaF₂ ve MgF₂ bileşik ince filmler, optoelektronik uygulamalarda ve bilhassa seramik endüstrisinde kullanışlı olan özellikleri sayesinde önemli materyallerdendir. Şimdiye kadar Ba_xMg_{1-x}F₂ ince film alaşım nano malzemeleri, çoğunlukla BaF₂ ve MgF₂ ikili bileşiklerinden oluşup fiziksel ve kimyasal biriktirme teknikleri ile geliştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, rf magnetron sıçratma tekniği kullanılarak yüksek vakum ortamında, n tipi silisyum (Si) ve kuvars cam alttaşlar üzerinde nanometrik boyutta (~ 100 nm) hem BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri hem de farklı atomik konsantrasyonlara sahip $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ ince film kaplamaları elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, üretilen nano malzemelerin mikro yapısal ve yüzey karakterizasyonu çeşitli spektroskopik ve mikroskobik tekniklerle araştırılarak, literatüre atomik konsantrasyon değişken parametresinin morfolojik özelliklere etkisinin analiz edilmesi ve elde edilen verilerle ilgili uygulama alanlarına katkı sağlamaktır. Bu tez çalışmasının, üretilen $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alaşımlarının seramik endüstrisinde, optoelektronik uygulama alanında ve yüzey akustik dalgaları kullanılan cihazlarda kullanılabilirliği ile ilgili önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Malzemelerin yüzey karakterizasyonu kısmında; güvenilir bir 3-boyutlu topografik görüntüleme tekniği olan atomik kuvvet mikroskobu (AKM) ile BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ile $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alaşım malzemelerinin 2- ve 3-boyutta yüzey görüntüsü alınarak yüzey pürüzlülük değerleri saptanmıştır. Ayrıca ince filmlerin yüzey morfolojisini aydınlatmak için güçlü bir yüzey tekniği olan taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniği ile her bir malzeme için parçacık boyutları belirlenmiş ve yüzey homojenliği hakkında bilgi sahibi olunmuştur. 2-boyutlu ileri mikroskobik yüzey akustik tarama metodu olan taramalı akustik mikroskobu (TAM) kullanılarak malzemelere ait akustik haritalandırılmış ve yüzey ortalama akustik empedans değerleri hesaplanmış ve malzemelerin mikro sertlik özelliği ile ilgili öngörude bulunulmuştur. Atomik konsantrasyon parametresinin, bu tez çalışmasında üretilen malzemelerin morfolojik özelliklerine etkisi ilk kez bu tez çalışmasında ortaya konmuştur.

Malzemelerin mikro yapı analizi kısmında; taramalı elektron mikroskobu/enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDS) tekniği kullanılmıştır. Bu teknikle, BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ile $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alaşımlarına ait elementel analiz yapılarak atomik bileşimin stokiyometrik oranı elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan malzemelerin rf magnetron sıçratma tekniği kullanılarak üretilmesi ve AKM ölçümleri, Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde; SEM ve SEM-EDS ölçümleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma

Merkezi'nde; TAM ölçümleri ise Boğaziçi Üniversitesi Medikal Görüntüleme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Genel Kısımlar bölümünde; MgF_2 ve BaF_2 bileşikleri ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım kaplamaları ve bu çalışmada kullanılan spektroskopik ve mikroskopik teknikler hakkında bilgiler içeren bilimsel çalışmalar ile literatür taraması sunuldu.

Malzeme ve Yöntem bölümünde; deney materyalleri olan MgF_2 ve BaF_2 bileşikleri ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımları hakkında genel bilgiler, bu ince filmlerin üretim tekniği olan rf magnetron sıçratma tekniği ve çalışmada kullanılan SEM-EDS, SEM, AKM ve TAM hakkında teorik bilgiler verildi.

Bulgular bölümünde; üretilen ince film nano malzemelerin yüzey ve yapısal karakterizasyonundan elde edilen sonuçlar verildi.

Tartışma ve Sonuç bölümünde; farklı atomik konsantrasyonlara sahip BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım numunelerinin SEM, SEM-EDS, AKM ve TAM ölçümleri sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile atomik konsantrasyon parametresinin malzemelerin morfolojik özellikleri üzerinde meydana getirdiği etki araştırıldı ve bulgular ayrıntılı şekilde yorumlandı.

2. GENEL KISIMLAR

Bir ince film nano malzeme, kimyasal veya fiziksel işlemlerle moleküllerin, iyonların veya buharların kontrollü şekilde yoğunlaştırılmasıyla bir destekleyici malzeme (alttaş) üzerinde biriken bir tabaka olarak tanımlanabilir. Bu şekilde biriktirilen filmler birbirinden farklı yüzey, optik, mekanik, yapısal ve elektriksel özellikler gösterirler (Vyas, 2020). Biriktirme işlemi temelde, ince filmi oluşturan parçacıkların hazırlanması, kaynaktan alttaşa aktarılması ve bu parçacıkların alttaş tarafından emilmesi şeklinde gerçekleşir. İnce filmlerin elementel kompozisyonu, atomik konsantrasyonu, tanecik boyutu, film kalınlığı vb. gibi temel özellikleri farklı biriktirme koşulları ile kontrol edilebilir ve bu sayede üretilen malzemeler karakteristik özelliklere sahip olabilirler.

İnce film biriktirme yöntemleri vakum bazlı ve solüsyon bazlı olarak iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Vakum bazlı olanlar, fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleridir. Fiziksel biriktirme yöntemlerinden olan püskürtmede atomları kaynaktan çıkartmak için gaz iyonları kullanılmaktadır (Ohring, 1992).

Bu tez çalışmasında bileşik ve alaşımları oluşturulacak elementlerden biri olan Magnezyum (Mg), yüksek boyutsal kararlılık ve ısı iletkenliğin yanında iyi işlenebilirlik ve kolay geri dönüşüm özelliklerine sahiptir. Bunun yanında düşük tokluk ve düşük mukavemet değerleri gibi dezavantajları olduğundan çoğunlukla bileşik ve alaşım oluşturularak kullanılmaktadır. Mg ile oluşturulan bileşik/alaşımlar havacılık ve uzay sanayisinde, otomotiv endüstrisinde ve biyomedikal alandaki uygulamalarda kullanılabilmektedir (Öztürk ve Kaçar, 2012).

Mg elementinin Flor (F) ile bileşik oluşturması sonucu oluşan MgF_2 , mekanik/termal şoklara karşı dayanıklı, oldukça sert ve sağlam bir kristal olarak değerlendirilmektedir. Düşük kırılma indisine sahip olması ve oldukça geniş dalga boyu aralığınca gösterdiği yüksek şeffaflık özelliği ile optik filmlerde çokça tercih edilmektedir (Kırak, 2020).

MgF_2 bileşiği kullanılarak tasarlanan yapılar teknolojik açıdan birçok uygulamaya konu olmuştur ve bu süreç içerisinde modern uygulamaların tasarımı ve geliştirilmesi için önem taşıyan bir malzeme özelliği kazanmıştır. Bu tür bileşiklerin oluşturulması için oldukça fazla kaplama tekniği olmakla beraber, buhar fazda kaplama tekniklerinden biri olan rf magnetron sıçratma tekniği, düşük maliyet, yüksek büyütme oranı, üretim aşamasında ihtiyaç duyulan

alttaş sıcaklığının düşük olması gibi özelliklerinden ötürü kaplama teknikleri arasında en önemlisi olmayı başarmıştır.

Kawamata ve diğ. (1998), radyo-frekans magnetron sıçratma tekniğini kullanarak oksijen üzerine magnezyum florür (MgF_2) ince film kaplamayı başarıyla gerçekleştirmiş ve Mg, O ve MgF emisyon çizgilerini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen filmin sönme katsayısının görünür bölgede yansıma önleyici kaplamalar için yeterince küçük olduğu tespit edilmiştir.

Zhao ve diğ. (2020a), yüksek yansıma önleyici MgF_2 ince film hazırlamak için rf magnetron sıçratma tekniğinde reaksiyon gazı olarak kullanılan Argon (Ar) gazını kükürt hekzaflorür (SF_6) ile katkılamıştır. Kuvars cam alttaş üzerine MgF_2 ince film biriktirmesi ile oluşan filmlerin geçirgenliğinin çıplak camın geçirgenlik değerinden %93.2 fazla yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Zhao ve diğ. (2020b), yaptıkları diğer bir çalışmada oluşturulan MgF_2 ince film kaplamalarının mikro yapısının, püskürtme gücüne bağlı değişimini gözlemlemiştir.

Geleneksel olmayan bir magnetron sıçratma tekniği kullanan De ve diğ. (2016a), magnezyum florür ince filmleri üretmek için flor gazı akışı olmadan flor yakalamayı denemiş ve 50-250 W arasında magnetron gücü uygulayarak numunelerin optik, fiziksel ve yapısal özelliklerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda 100 MHz'den düşük radyo-frekans gücü uygulanan numunelerin optik uygulamalar için nispeten uygun olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

De ve diğ. (2016b), X-ışını foto-elektron spektrometresi (XPS) ile filmin bileşiminin güç aralığı boyunca korunduğunu görmüş ve biriktirme için kullanılacak optimum püskürtme gücüne karar vermiştir.

McGrath (2021), rf magnetron sıçratma tekniği kullanarak elde edilen MgF_2 ince filmlerin optik ve fiziksel özellikleri üzerine bir çalışma yapmıştır. X-ışını yansıtma ölçümleri ile kalınlık değerleri belirlenmiş ve optik özellikler ile kalınlık arasındaki ilişki araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yansıma önlemek için kullanılan kaplamaların üzerinde püskürtme nedeniyle oluşan birikimin optik özelliklere etkisinin görülebilmesi için yol gösterici olmuştur.

Zhang ve diğ. (2015), magnetron sıçratma ile biriktirilen O katkılı MgF_2 ince filmlerin optik ve elektronik özelliklerini incelemiş, deneysel sonuçlar doğrultusunda daha fazla O içeren filmin kırılma indisinin ve sönme katsayısının diğerlerine göre yüksek olduğunu görmüştür.

Birlikte biriktirilmiş olan indiyum kalay oksit (ITO) ve MgF_2 bileşikleri, uzay araçlarının dış yüzeylerini çevresel etkilerden korumak için kullanılmaktadır (Uppala ve diğ., 2004). Radyo-frekans magnetron sıçratma tekniği ile kaplanan bu filmlerin tekrarlanabilirliğini geliştirmek amacıyla yapılan araştırma sonucunda Uppala ve diğ. (2004), ITO- MgF_2 ile güvenilir kaplama yapılabilmesi için optik veya elektriksel karakterizasyona ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymuştur.

Diğer taraftan, bu tez çalışmasında ele alınan bir diğer element olan Baryum (Ba)'nın oluşturduğu BaF_2 bileşiği ise inorganik, suya dayanıklı ve renksiz bir katıdır. Sert bir malzeme olan BaF_2 , termal şoka karşı oldukça dayanıksızdır ve darbeler sonucunda kırılmaya müsait bir yapıdadır. Bu tür alaşımlar radyasyona dayanıklı olduklarından radyasyon tespitinde kullanılmak ile birlikte fizik, tıp, sanayi ve optik alanlarındaki araştırmalara konu olmuş ve çeşitli uygulamalarda kullanılmak için aday malzemeler olarak kabul edilmişlerdir.

MgF_2 bileşiğinde olduğu gibi, BaF_2 kaplama uygulamaları için de rf magnetron sıçratma tekniği en popüler tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir.

Jia ve Anderson (1992a), BaF_2 alaşımının III-V grubu (InP ve GaAs gibi) yarı iletken alttaşlar üzerinde yüksek sıcaklık şartlarında süper iletken ince film büyütmesi için tampon tabaka olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Magnetron sıçratma yöntemi ile başarılı şekilde InP ve GaAs üzerinde gerçekleşen büyütme işlemi sonucunda BaF_2 alaşımının tampon tabaka olarak uygun bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Aynı yıl içerisinde yaptıkları diğer çalışmada Jia ve Anderson (1992b), epitaksiyel BaF_2 ince filmleri 450-480 °C arasındaki substrat sıcaklığında InP üzerinde biriktirmiş ve TAM ile yüzey taraması yapmıştır. Bu işlem sonucunda, elde edilen malzemenin pürüzlü bir yapıya sahip olduğu sonucuna varmıştır.

Jia ve Anderson (1994), BaF_2 ince filmlerini radyo-frekans magnetron sıçratma tekniği ile 450-480 °C aralığındaki farklı alttaş sıcaklıklarında InP (indiyum fosfit) üzerine biriktirmiştir. X-ışını kırınım analizi ile oluşan ince filmlerin mikro yapısını analiz etmiş, geçirimli elektron mikroskopisi (TEM) cihazı ile yüzey morfolojisini görüntülemiş ve ince filmlerin kafes şeklinde büyüme gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Zang ve diğ. (2007) yaptıkları çalışma ile BaF_2 matrisine gömülü çinko oksit (ZnO) nanoparçacıkları, rf magnetron sıçratma tekniği ve sonrasında 400-1100 °C arasında termal

tavlama ile elde etmiştir. Yaptıkları deney ve çalışmalar sonucunda malzemenin emisyon yoğunluğunun tavlama sıcaklığı ile doğru orantılı arttığını gözlemlemişlerdir.

Zang ve diğ. (2011), rf magnetron sıçratma tekniğiyle BaF_2 matrisine gömülü ZnO nanoparçacıkları üretmiş, BaF_2 ve ZnO matrisleri arasında var olan kafes uyumsuzluğu nedeniyle deformasyon enerjisi açığa çıktığını ortaya koymuştur.

Timus ve diğ. (1998) BaF_2 , ZnS ve GaAs ince filmlerini NaCl ve GaAs alttaşları üzerine rf magnetron sıçratma tekniği ile üretmiştir. Elde edilen ince filmlerin optik özellikleri ve morfolojisini incelemiş, BaF_2 ince filminin pürüzlü yapısını tespit etmişlerdir.

Oldukça yeni bir malzeme olmasından ötürü, $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alaşımı ile ilgili literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Bununla birlikte Kotlikov ve diğ. (2004), $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ ince filmlerini 0.9 ve 10.6 μm 'lik dalga boylarında çalışmış ve bu tür ince film alaşım kaplamalarının saf BaF_2 filmlerinden daha yüksek kırılma indisine ve paketlenme yoğunluğuna sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, Alexandrovna (2015), yaptığı tez çalışmasında tek florür içeren YF_3 , BaF_2 , CaF_2 ve çift florür içeren $\text{Ba}_x\text{Me}_{1-x}\text{F}_2$ ve $\text{Y}_x\text{Me}_{1-x}\text{F}_{2+x}$ ince filmlerini (Me ile ifade edilen bileşenler Kalsiyum, Magnezyum ve Baryum Florürler olmak üzere) 1.3 μm ile 12 μm aralığında incelemiştir.

Bu tez çalışmasında, üretilen nano malzemelerin morfolojik özelliklerinin incelenebilmesi için mikroskobik ve spektroskopik yöntemler kullanılmıştır.

Madde/malzeme ile elektromanyetik ışıma arasındaki etkileşimleri inceleyen ve elde edilen verileri yorumlayan bilim dalı olan spektroskopi, malzeme örneklerine ait yapısal özellikler hakkında bilgi sağlar (Parlak, 2020). Bu tez çalışmasında mikro yapı analizlerinde kullanılmak üzere, SEM-EDS tekniği seçilmiştir.

Yakın geçmiş literatüründe farklı değişken parametrelerin, rf magnetron sıçratma tekniği ile üretilen malzemelerin morfolojik ve yapısal analizi üzerine etkisinin incelendiği bilimsel çalışmalara göz atarsak; Stan ve diğ. (2010a), düşük sıcaklıkta (150 °C) silikon alttaş üzerine rf magnetron sıçratma tekniği ile biyoaktif cam kaplamalar hazırlamışlardır. İnce film biriktirme işlemi esnasında uygulanan farklı Ar basınç değerlerinin, kaplamaların yapısı ve biyo

mineralizasyon potansiyeli üzerinde gösterdiği etkiyi, SEM-EDS, XRD ve FTIR cihazlarını kullanarak gözlemlemişlerdir.

Stan ve diğ. (2010b), rf magnetron sıçratma tekniğini, düşük sıcaklıkta (150 °C) ve üç farklı (Ar %100, Ar + %7 O₂ ve Ar + %20 O₂) çalışma ortamında titanyum alttaş üzerine biyoaktif cam kaplamalar üretmek amacıyla kullanmış, yapılan SEM-EDS, XRD, FTIR ölçümleri sonucunda hazırlanan tüm ince filmlerin güçlü biyoaktif özelliğe sahip olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

Liao ve diğ. (2012), titanyum dioksit (TiO₂) ve tungsten trioksit (WO₃) ince filmleri rf magnetron sıçratma tekniği ile hazırladıktan sonra, elde edilen filmlerin kimyasal bileşimini, kristalliliğini ve yüzey morfolojisini XRD, SEM-EDS ve UV-görünür bölge spektrometresi ile analiz etmiştir.

Güzelçimen ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada silikon alttaş üzerine rf magnetron sıçratma tekniğini kullanarak TiO₂ ince film biriktirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen malzemelerin yüzey morfolojik ve mikro yapısal analizleri SEM-EDS, TAM, AKM ve XPS teknikleri ile gerçekleştirilmiş, SEM-EDS sonuçları ile malzeme içerisinde titanyum ve oksijenin varlığını kanıtlayan iki belirgin tepe noktası gözlemlemişlerdir.

Dreghici ve diğ. (2020), silisyum alttaş üzerine rf magnetron sıçratma tekniği kullanarak kitosan-hidroksiapatit kompozit katmanı biriktirmişlerdir. Bu magnetron sıçratma tekniğinde kitosan ve hidroksiapatit malzemelerinin aynı anda biriktirilmesi tane benzeri yapıya sahip dokular oluşturabileceğinden, bunları gözlemek için SEM cihazını kullanmış ve kimyasal bileşimi gözlemek için düzeneğe EDS eklemişlerdir.

Efkere ve diğ. (2021), tavlamanın yapısal, optik ve yüzey morfolojik özelliklere etkisini gözlemlemeyi amaçladıkları çalışmada, radyo-frekans sıçratma tekniği kullanarak n tipi silisyum alttaş üzerine WO₃ biriktirmesi yaparak SEM-EDS ve XPS teknikleri ile kimyasal bileşimi araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, tavllanmış WO₃ nano malzemesinin elektronik cihazlar için yapılacak çalışmalarda kullanışlı bir malzeme olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Diğer taraftan; mikroskopi bilim dalı ile malzemelerin geçirgenlik, girişim, kırılma, difraksiyon ve absorpsiyon vb. gibi birçok özelliklerinden faydalanılarak mikroskop ile görüntü elde edilmesi sağlanmaktadır (Junquera ve Carneiro, 2009). Mikroskobik teknikler, incelenen

malzemeye ait fiziksel özelliklerin yanı sıra malzemenin bileşimi ve morfolojisi hakkında bilgi sağlamaktadır. Ayrıca bu teknikler, yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi ve kalite kontrol çalışmaları için gerekli görülmektedir (Rydz ve diğ., 2019). Bu çalışmada kullanılan mikroskopik teknikler; atomik kuvvet mikroskopisi, taramalı elektron mikroskopisi ve taramalı akustik mikroskopisidir.

AKM, yeni nesil dijital sinyal işlemci tabanlı bir tekniktir. Bu teknik ile, çok katmanlı malzemelerin yüzey topografisine ait görüntüler belirlenebilmektedir (Ulmeanu ve diğ., 2000). Rf magnetron sıçratma sistemi ile elde edilmiş ince film alaşım kaplamaları üzerinde AKM ile yapılan çalışmalara değinirsek; Guo ve diğ. (1995), safir üzerine yapılmış seryum dioksit (CeO_2) ince filmlerinin yüzey morfolojisini analiz etmişlerdir.

Prioli ve diğ. (1999), amorf karbon nitrür filmler üzerinde gerçekleştirilen tavlama işleminin yüzey topografisine olan etkisi ve ince filmlerin tribolojik özellikleri üzerine çalışmışlardır.

Ulmeanu ve diğ. (2000), insidanslı yansıtıcı olarak tasarladıkları amorf C-Ni filmleri kuvars substrat üzerinde büyütmüşlerdir. Sonrasında, elde edilen çok katmanlı yapının yüzeyindeki pürüzlülük dağılımını AKM tekniği ile tespit etmişlerdir.

Sirghi ve diğ. (2001), yaptıkları çalışmada, TiO_2 ince filmlerin yüzeyinde meydana gelen ultraviyole (UV) kaynaklı makroskopik değişimlerin numune yüzeyi ile cihazdaki iğne ucu arasında bulunan çekim kuvvetinde artış meydana getirdiğini gözlemlemişlerdir. Sirghi ve diğ. (2003), aynı malzeme (TiO_2) üzerinde yaptıkları diğer bir çalışmada; ince filmlerin kimyasal homojenliğini incelemeyi amaçlamış ve sonuçta UV etkisi ile süperhidrofilik hale gelen yüzeyin düşük hidrofilik bölgeler ile kıyaslandığında daha büyük sürtünme ve çekme kuvvetleri gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Kapaklis ve diğ. (2006), cam altlık üzerine gümüş (Ag) ince film biriktirmesi yapmış ve malzemeyi AKM ile görüntülemiş, sonuçları X-ışını kırınımı yöntemi ile tamamlamıştır. Bu iki tekniğin beraber kullanılması ile malzemenin tane boyutunu, yüzey pürüzlülüğünü ve istatistiksel dağılımı analiz etmişlerdir.

Mwema ve diğ. (2018), yumuşak çelik alttaşlar üzerine saf alüminyum ince film biriktirmiş sonrasında yüzey yapısının dağılımı, pürüzlülüğü ve evrimini gözlemlemişlerdir.

SEM tekniği, elektronik ve optik özelliklerin bir arada kullanılması ile elde edilmiş yüksek çözünürlüklü bir yüzey görüntüleme tekniğidir. Teknik, çalışma prensibi olarak elektron bombası ile örnek üzerine gönderilen elektron demetinin, numune boyunca taranması ve elde edilen sonuçların analiz edilmesini kullanmaktadır.

Cheng ve diğ. (1996), alüminyum nitrür (AlN) hedef malzemelerini kullanarak n tipi Silisyum alttaş üzerine rf- magnetron sıçratma tekniğı ile büyütme gerçekleştirmiştir. Elde edilen ince filmlerin yapısal ve morfolojik karakterizasyonlarını SEM ve XRD tekniklerini kullanarak analiz etmiş, ulaşılan sonuçlardan yola çıkarak bu parametrelerin uygulanan rf- gücüne, alttaş sıcaklığına, püskürtmenin uygulandığı basınca ve N₂ yoğunluğu gibi farklı biriktirme şartlarına duyarlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Lemire ve diğ. (2002), yaptıkları çalışmada ince tungsten trioksit (WO₃) filmlerini, gaz algılama yeteneğinden faydalanmak için reaktif rf- magnetron sıçratma tekniğı ile cam, MgO (100), SiO₂/Si gibi farklı alttaşlar üzerine elde etmiş ve biriktirilen ince filmleri karşılaştırarak gaz algılaması için en uygun alttaşın SiO₂/Si olduğuna karar vermişlerdir. Sıcaklık, plazmanın kısmi oksijen basıncı gibi biriktirme parametrelerinin oluşan filmler üzerindeki etkilerini AKM ve SEM teknikleri ile incelemişlerdir.

Chu ve diğ. (2003), vakum ortamında silisyum alttaş üzerine rf- magnetron sıçratma tekniğini kullanarak çinko oksit (ZnO) filmler hazırlamıştır. Oluşan filmlerin biriktirme işlemi sonrası tavlama sürecinin yapısal, yüzeysel ve direnç gibi elektriksel özellikler üzerindeki etkisini araştırmış ve bu işlemin bahsedilen özellikleri artırdığını ortaya koymuştur. Tavlamanın gerçekleştiğı koşullar ile filmlerin kristal ve mikro yapısı arasındaki bağlantıyı XRD, SEM ve AKM teknikleri kullanarak incelemiştir.

Ghorannevis ve diğ. (2016), rf- magnetron sıçratma tekniğı ile alüminyum çinko oksit (AZO) filmlerini biriktirmiş ve oda sıcaklığı koşullarında optik, elektriksel, yapısal ve morfolojik özelliklerini farklı biriktirme sürelerinde (10, 20, 40 ve 60 dk.) incelemişlerdir. Biriktirme sürelerinin AZO filmleri üzerindeki etkilerini XRD, AKM ve SEM, spektrofotometre ve dört nokta problemleri ile araştırmışlardır. Optik ölçümler sonucunda, filmlerin %60'ın üzerinde iletim sağladığını ve biriktirme süresinin artışıyla bağlantılı olarak filmlerin öz direncinde düşüş meydana geldiğini ortaya koymuşlardır.

TAM tekniği, her tür numuneye ait ses hızını, akustik empedans verilerini ve elastikiyet modülünü belirleyebilen, 2-boyutlu yüzey taraması yaparak haritalandırabilen, kullanımı basit ve hızlı bir tekniktir. İşlemler esnasında boyama gerektirmez ve numunenin morfolojisine zarar vermez (Sirkeci, 2021). Bu teknikte yer alan mikroskop türü, malzemelere ait mikro sertlik ve elastikiyet özellikleri hakkındaki verileri akustik empedans ve ses hızını ölçerek sağlamaktadır. Bu sistem, gözlemlenen numunenin yapısında herhangi bir zararlanma olmadan, yaklaşık 2 dakikalık bir tarama sayesinde akustik empedans, ses hızı ve kalınlık verilerine ulaşabilmeyi, ayrıca mikroskobik düzeyde analiz yapmayı mümkün kılmaktadır (Güzelçimen ve diğ., 2020).

Kim ve diğ. (2018), çinko oksit (ZnO) ince filmleri rf magnetron sıçratma tekniği kullanarak silikon alttaş üzerinde büyötmüşlerdir. Filmlere ait akustik özellikleri gözlemlmek amacıyla TAM tekniğinin kullanıldığı çalışma, aynı zamanda literatürde ZnO ince filmlerin elastik dalga yayılımlarının nicel analizinin bu teknik ile araştırıldığı ilk çalışma olarak geçmektedir.

Güzelçimen ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada, silikon alttaş üzerine titanyum dioksit (TiO₂) ince filmleri biriktirmiştir. Filmlerin 2-boyutlu akustik görüntülerini TAM cihazı ile elde etmiş ve film sertliğinin, kalınlığın artışı ile doğru orantılı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Güzelçimen ve diğ. (2021), diğeri bir çalışmada silisyum alttaş üzerine CZO biriktirerek elde ettikleri ince filmlerin yüzey pürüzlülüğünü 2-boyutlu akustik görüntüler sayesinde gözlemlemişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. $Ba_xMg_{1-x}F_2$ İNCE FİLM NANO MALZEMELER

İnce film kaplamaları, gelişen teknoloji sayesinde elektronik ve optik alandaki uygulamalarda hızlıca popülerlik kazanmıştır. Nano-boyutta malzemeler olmaları sayesinde birçok avantaj sağlayan bu yenilikçi malzemeler, günümüzde hala gelişmeye ve çeşitlilik kazanmaya devam etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında farklı atomik konsantrasyonlara sahip BaF_2 ve MgF_2 hedef malzemeleri kullanılarak elde edilen $Ba_xMg_{1-x}F_2$ ince film kaplamaları, gelecek dönemde yapılacak çalışmalar için etkin bir nano-malzeme olacaktır.

BaF_2 (Baryum Florür), 1980'li yılların başında UV (ultraviyole) ve VUV (vakum ultraviyole) spektral bölgeleri arasında 0,7-0,8 ns'lik lüminesansın keşfedilmesinden bu yana kapsamlı çalışmaların odak noktası haline gelmiştir (Rodnyi ve diğ., 2019).

Kısa bir bozunma süresine sahip olan BaF_2 , bu özelliği sayesinde tıp alanındaki teşhis sistemlerinde, astrofizikte ve deneysel fizik alanlarında kullanım için umut vaat eden bir materyaldir (Rodnyi ve diğ., 2019). Ayrıca, yüksek derecede ışıma yapabilmesi ve radyasyona gösterdiği dayanıklılık sebebiyle X/gama radyasyonunun tespiti için kullanılabilir (Han ve diğ., 2013).

BaF_2 , orta kızılötesi bölgede yüksek derecede yalıtkanlık gösterir ve optik olarak şeffaftır (Springholz ve Bauer, 2013). BaF_2 'ye ait bazı parametreler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: BaF₂ bileşiğine ait bazı parametreler (Optical Solutions, 2020a).

Parametre	Değer
Yoğunluk	4.89 g/cm ³
Erime Noktası	1280 °C
Dielektrik Sabiti	7.33
Kırılma İndisi	1.47
Termal İletkenlik	1.172 W/cm.K
Band Aralığı	26.89 eV
Kristal Yapı (Kararlı)	Kübik
Dalgaboyu Aralığı	150 nm - 12500 nm
Young Modülü	53.07 GPa

BaF₂ gibi oksijen içermeyen tuz türevleri ile katkılanmış nadir toprak elementleri, optik uygulamalarda kullanılabilmektedir (Grass ve Stark, 2005). Süperiyonik özelliğe sahip olan BaF₂ bileşiği bu özelliği sebebiyle yakıt hücrelerinde, kimyasal filtrelerde, sensörlerde ve yüksek sıcaklıklı pillerin üretiminde kullanılabilecek seçenekler arasında görülebilir (Sata ve diğ., 2000).

Toprak alkali metal florür sınıfından olan MgF₂ (Magnezyum Florür), tek katmanlı optik kaplamalar için geniş kullanım alanına sahip dielektrik bir malzemedir. 120 nm ile 8 mm'lik bir dalga boyu aralığınca emilim göstermediğinden oldukça iyi optik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Aykut, 2019). Geniş bir geçirgenlik aralığına sahip olan MgF₂, aynı zamanda düşük kırılma indisine de sahip olduğundan cam veya aynalarda oluşan ışık kaybını hafifletmek için antireflektif (yansıma önleyici) bir nano-kaplama işlevi görmektedir (Radhika ve Annamalai, 2013).

Wan ve diğ. (2016), silisyum üzerine elektron seçici temas oluşturmak amacıyla MgF₂ film kaplama uygulaması yapmış ve bu işlem ile işlev kazandırılan silisyum güneş pillerinin performansının önemli derecede arttığı sonucuna ulaşmışlardır. MgF₂'ün bu şekilde kullanımı, silisyum güneş pillerinin fotovoltaipler, ince film transistörleri ya da ışık yayan diyotlar gibi optoelektronik cihazlarda uygulanabilirliğini sağlamıştır.

MgF₂, yalıtkan özellik gösteren bir malzeme olduğundan, çoğunlukla bu tarz malzemeler için kullanılan radyo-frekans saçırma yöntemi aracılığıyla biriktirilir. MgF₂'ye ait bazı parametreler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: MgF₂ bileşiğine ait bazı parametreler (Optical Solutions, 2020b).

Parametre	Değer
Yoğunluk	3.177 g/cm ³
Erime Noktası	1255 °C
Dielektrik Sabiti	5.44
Kırılma İndisi	1.38
Termal İletkenlik	1.16 W/cm.K
Band Aralığı	6.8 eV
Kristal Yapı (Kararlı)	Tetragonal
Dalgaboyu Aralığı	110 nm – 7500 nm
Young Modülü	138.5 GPa

Tek kristal içeren MgF₂ çoğunlukla pencere camları, polarizörler ve lensler gibi optik bileşenler için kullanılırken, polikristal MgF₂, kızılötesi bölgesinde optik bileşenler için tercih edilmektedir. UV ve kızılötesi bölgelerinde gösterdiği şeffaflık, bileşiği birçok uygulamada kullanılabilir hale getirmektedir (Cotter ve diğ., 1997).

MgF₂, uzak UV optik sistemler için yapılan kaplamalarda çoğunlukla kullanılan bir malzemedir (Sun ve diğ., 2014). Kimyasal tepkimeye girme eğilimi de düşük olan MgF₂, şeffaf gözlükler ve güneş gözlüklerinde, mikroskoplarda, dürbün camlarında, LCD monitörlerde, teleskop objektifleri ve TV ekranlarında da kaplama olarak kullanılabilir. Bu kaplamalar, gözlük camlarında yansımayı olabildiğince aza indirerek görüşü netleştirmek amacıyla gözlüğün yüzey kısmına uygulanırlar (Özmumcu, 2011; Aydoğmuş, 2013).

Bu tez çalışmasında, n tipi silisyum (n-Si) ve kuvars cam alttaşlar üzerine %99 saflıktaki MgF₂ ve BaF₂, farklı atomik konsantrasyonlarda olmak üzere radyo-frekans magnetron sıçratma tekniği ile biriktirilerek yenilikçi malzemelerden olan BaF₂ ve MgF₂ bileşikleriyle Ba_xMg_{1-x}F₂ alaşım kaplamaları elde edilmiştir.

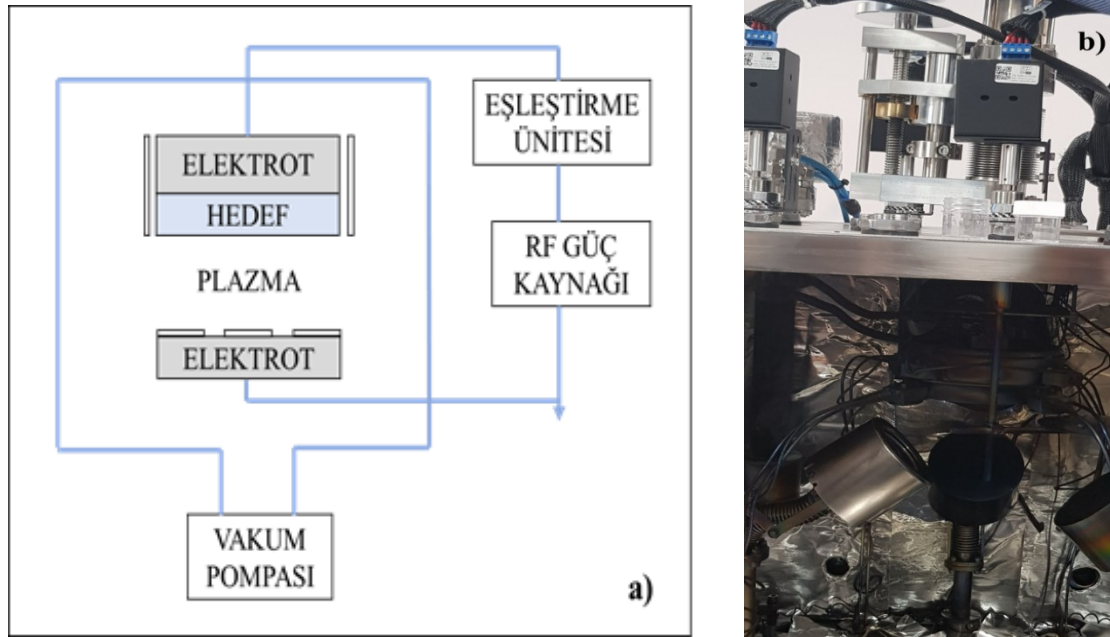
$Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım kaplamaları ile ilgili literatürde yer alan çalışmalarda, malzemelerin yüzey morfolojisi ve mikro yapısı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen malzemeler, çeşitli spektroskopik ve mikroskopik teknikler aracılığıyla incelenmiş ve atomik konsantrasyon parametresinin malzemenin morfolojik özellikleri üzerine etkisi ortaya konmuştur. Ulaşılan sonuçların, yakın gelecekte bu malzemeler ile ilgili yapılacak araştırmalara ve geliştirilecek olan cihazlara ışık tutacak nitelikte olması amaçlanmaktadır.

3.2. MALZEMELERİN RF MAGNETRON SİÇRATMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİMİ

Yüzey kaplama teknolojisinde fiziksel buhar biriktirme teknikleri ön planda olmakla birlikte bu teknikler içerisinde en çok tercih edilen teknik, rf magnetron sıçratma tekniğidir.

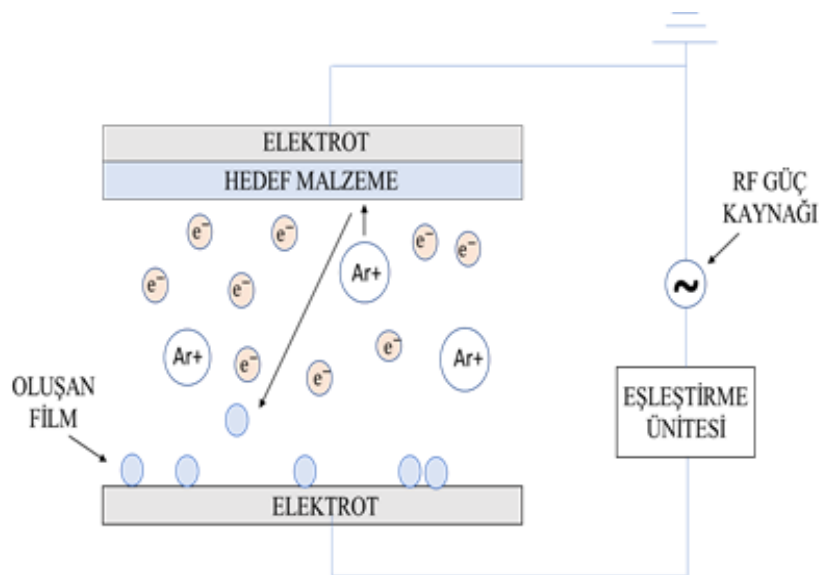
İstenen kaplama ve yüzeysel işlemleri nano düzeyde yapmayı mümkün kılan bu teknik, düşük ve oldukça düşük basınç altında çalışabilirken, nispeten daha yüksek basınç altında da çalışmayı mümkün kılmaktadır (Geçici, 2018). Rf magnetron sıçratma tekniğinde kullanılan frekans çoğunlukla 13.56 MHz'tir ve Şekil 3.1'de, kullanılan sisteme ait şematik gösterim ile deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.1: Radyo-frekans magnetron sıçratma tekniğine ait a) şematik gösterim, b) deney düzeneği.

Kullanılan teknikte, vakum odası içerisindeki iki elektrottan birinin üzerine hedef, diğerinin üzerine ise taban (alttaş) yerleştirilir. Sistemde bulunan vakum odasının basıncını düşük değerlere çekmek amaçlanmaktadır. Bunun nedeni, plazması oluşturulacak olan materyalin saflığını ve kalitesini arttırmak için vakum odasındaki havada mevcut diğer gazların temizlenmesi ve iyonize hale gelen parçacıkların kat edeceği ortalama serbest yolu artırarak elde edilecek çarpışmaların daha yüksek enerjili olmalarını sağlamaktır. Vakum pompası, bahsedilen işlemin gerçekleşmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Nebi, 2011).

Vakum odasındaki basınç istenilen seviyeye ulaştığında, ortama bir soy gaz gönderilir. Bu işlem için kullanılan soy gaz çoğunlukla doğada bulunması kolay olan Argon (Ar) gazıdır. Argon gazı, çarptığı yüzeydeki atom/atomları kazıyabilecek kadar büyük bir enerjide olması ve kimyasal tepkimeye girmemesi nedeniyle bu işlem için idealdir (Ertuğrul, 2019). Pompalama işlemi sonrasında radyo-frekans güç kaynağı kullanılarak elektromanyetik dalgalar oluşması sağlanır. Oluşan dalgalar, eşleştirme ünitesi yardımıyla vakum odası içerisinde bir titreşim frekansı meydana getirir (Nebi, 2011). Bu olay sonucunda Argon atomları, birbirleri ile çarpışma sonucunda elektron (e^-) kaybederek iyonize hale gelir ve bu şekilde ilerleyerek bir plazma oluştururlar. Manyetik alanın etkisiyle hızla hedef malzemeye çarpan Argon iyonları yüzeyden parçacık kopmasına neden olur ve kopan parçacıklar alttaş üzerinde birikerek bir ince film meydana getirirler. Bu teknik ile ince film oluşumu şematik olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Radyo-frekans magnetron sıçratma tekniği ile ince film oluşumunun şematik gösterimi.

Bu tez çalışması kapsamında; BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımları, Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan ve Şekil 3.3'te gösterilen Nanovak NVTs – 500 rf magnetron sıçratma sistemi kullanılarak kuvars cam ve Si alttaşlar üzerine kaplanmıştır.

Kaplama yapılacak olan alttaşlar aynı şartlarda, aynı vakum ortamı içerisine yerleştirilmiş ve bu sayede tüm alttaşlar için, dönme hareketi gerçekleştiren elektrot sayesinde eş koşullarda, 100 ± 10 nm kalınlığında homojen kaplamalar elde edilmesi sağlanmıştır.

BaF_2 bileşik nano malzeme, yüksek saflıkta (%99.9) BaF_2 hedef bileşik ve MgF_2 bileşik nano malzeme de, yüksek saflıkta (%99.9) MgF_2 hedef vakum sistemine yerleştirilerek üretilmiştir. $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımların üretimi için ise, eş sıçratma tekniği ile BaF_2 ve MgF_2 hedefler aynı vakum sisteminde kullanılarak üretilmiştir. Kaplamalar, ~ 2 Pa Ar gazı atmosferinde ve 5 rpm dönme hızında gerçekleştirilmiştir. Alttaşlar oda sıcaklığında tutulmuştur. Vakum haznesindeki biriktirme parametrelerinden taban basıncı 10^{-4} Pa mertebesinde ve biriktirme hızı 0.03 – 0.06 Å/s aralığındadır. Malzemelerin kalınlığı ~ 100 nm olacak şekilde, vakum haznesinde biriktirme süreleri ve güçleri ayarlanmıştır.



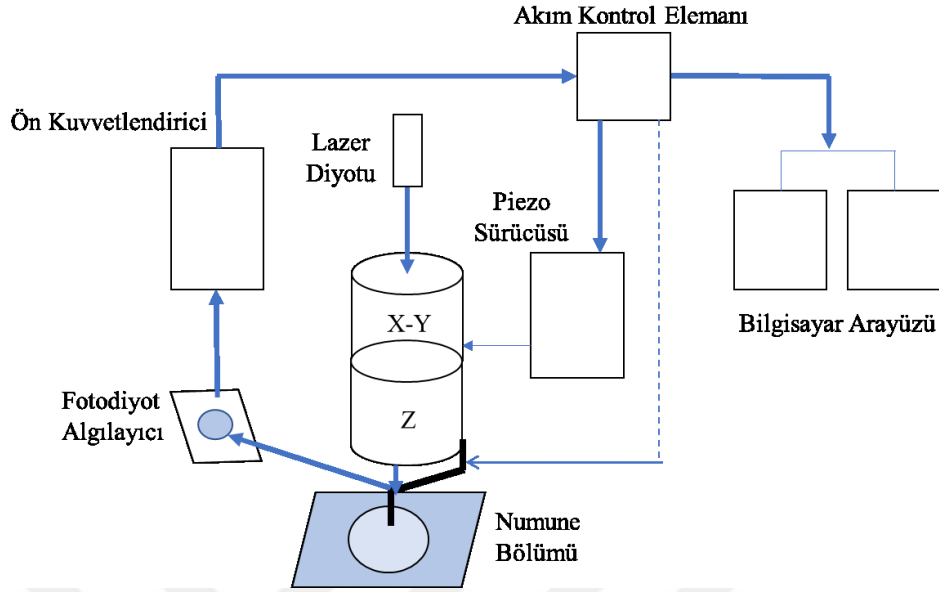
Şekil 3.3: Nanovak NVTs – 500 radyo-frekans magnetron sıçratma sistemi.

3.3. MALZEMELERİN AKM TEKNIĞİ İLE YÜZEY KARAKTERİZASYONU

AKM, 1986 yılında Gerd Binnig, Calvin Quate ve Christoph Gerber isimli bilim insanları tarafından icat edilen oldukça yüksek çözünürlüklü bir görüntüleme yöntemidir.

AKM cihazı diğer yüzey görüntüleme tekniklerine göre çeşitli avantajlara sahiptir. Cihazın en önemli özellikleri arasında örnek yüzeyi için herhangi bir ön hazırlık gerektirmemesi ve vakum ortamı gibi şartlara ihtiyaç duyulmadan örnekten yüksek çözünürlükte 2 ve 3 boyutlu görüntüleme sağlaması gelmektedir. Cihaz, iletken veya yalıtkan fark etmeksizin sıvı ya da katı malzemelerin yüzey topografisini Angström (Å) mertebesinde 100 mikrona (µ) kadar görüntüleyebilmektedir (Kokkoğlu, 2010).

Bu mikroskobik teknikte görüntüleme işlemi, atomik boyutlara kadar inceltirilmiş iğne ucu ve yüzey arasındaki etkileşimin incelenmesi sonucunda gerçekleşir. Şekil 3.4'te AKM cihazının temel bileşenleri ve şematik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Atomik kuvvet mikroskobuna ait temel bileşenler.

AKM cihazı, yüzey kusurlarına ait (korozyon çukurları, göçükler, çizikler vb.) bilgilerin üç boyutta elde edilmesine olanak sağlar (Khan ve diğ., 2016). Bunun yanında sürtünme, sertlik ve viskoelastik gibi mekanik özellikler ile manyetik, kimyasal ve elektriksel özelliklerin de nano boyutta elde edilmesi amacı ile kullanılabilir (Hendrych ve diğ., 2007).

Bu tez çalışmasında farklı atomik konsantrasyonlara sahip $Ba_xMg_{1-x}F_2$ ince film malzemelerinin yüzey karakterizasyonu, yüksek performans gösteren temassız modda AKM cihazı ile $10 \times 10 \mu m^2$ 'lik bir tarama alanı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Yüzey karakterizasyon işlemi esnasında kullanılan NanoMagnetics Instruments LTD., Oxford, UK cihazı Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri (rms), ölçümler neticesinde elde edilen iki boyutlu yüzey görüntüleri üzerinden hesaplanmıştır.



Şekil 3.5: NanoMagnetics Instruments LTD., Oxford, UK AKM Cihazı.

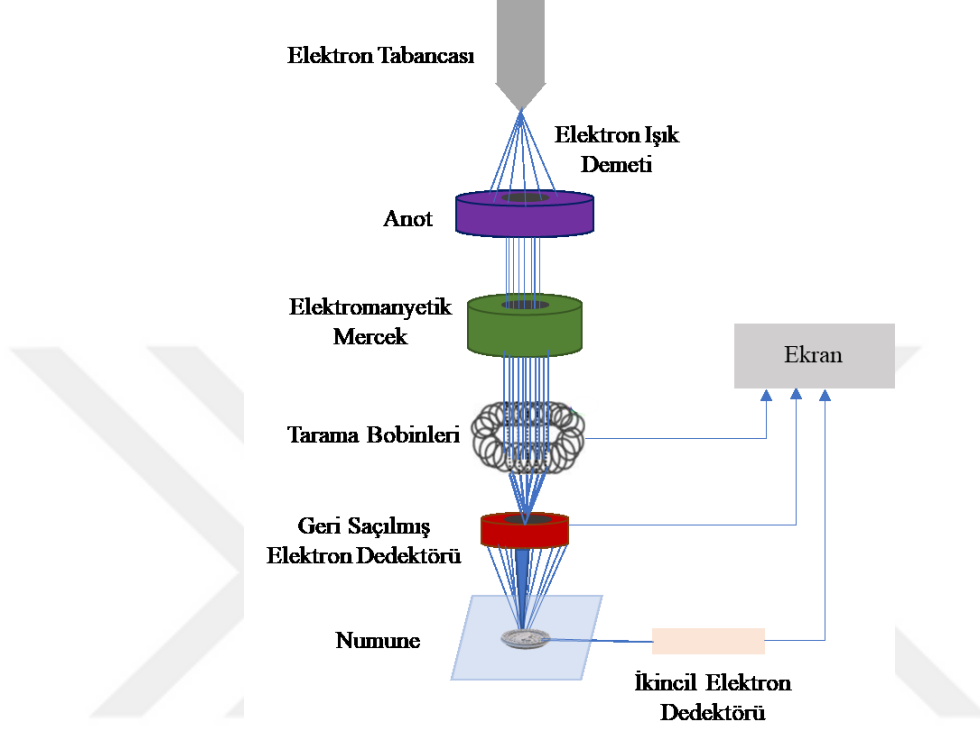
3.4. MALZEMELERİN SEM TEKNİĞİ İLE YÜZEY KARAKTERİZASYONU

İnsan gözü ile görülebilecek ayrıntıların sınırlı olmasından ötürü bu sınırların genişletilmesi amacıyla çeşitli optik cihazlar geliştirilmiştir.

Son zamanlarda optik ve elektronik sistemlerin bir arada kullanılması ile yüksek büyütme (çözünürlüklü) işlemler ve analizlerin gerçekleştirilebildiği cihazlar geliştirilmiştir. Elektro-optik ilkesi çerçevesinde tasarlanan SEM cihazları, bu hedefe yönelik cihazlardan bir tanesidir. SEM, bir katot ışınının (elektron demeti) ölçümü alınacak numune uzunluğunca taranması ve numuneden yayılan elektronların algılanarak görüntü şekline dönüştürülmesi prensibinde uygulanan bir topografik analiz yöntemidir.

SEM cihazının kullanım alanları, çözünürlük oranı, odak derinliği ve görüntü/analiz birleştirme yeteneği sayesinde genişlemektedir (Demirpolat, 2018). SEM cihazı ile incelenecek numunelerin nem, çözücü artıkları gibi maddeleri içermemesi yani tamamı ile kuru olması, ayrıca katı halde ve vakum ortamına karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

Teknik, malzemelere ait çatlak/kırıkların ve morfolojik yapının tayini için yüksek çözünürlüklü büyütme sağlar ve bu şekilde görüntü alınarak analiz yapılmasına imkan verir. SEM cihazının şematik gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: SEM cihazının şematik gösterimi.

BaF₂ ve MgF₂ bileşikleri ile Ba_xMg_{1-x}F₂ alaşım numunelerine ait yüzey görüntüleri Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Zeiss EVO LS 10 cihazı (Şekil 3.7) ile elde edilmiştir.



Şekil 3.7: Zeiss EVO LS 10 SEM cihazı.

3.5. MALZEMELERİN SEM-EDS TEKNİĞİ İLE YAPISAL KARAKTERİZASYONU

Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi, malzemenin temel olarak tanımlanması ve kantitatif analizini yapmak için kullanılan bir tekniktir. Teknik, her malzemenin kendisine özgü karakteristik bir X-ışınına sahip olması prensibini kullanır. Bu teknik ile malzemeye ait element/bileşiklerin yüzdelik olarak miktarı elde edilebilir. SEM-EDS tekniğinde ise elektron demeti ile bombardıman edilen yüzeyden sıçrayan elektronlar, uygun dedektörler tarafından yakalanır. Bu işlem sonucunda, analiz edilecek numuneye ait görüntü üzerinde, hedef alınan bölgede bulunan elementlerin dağılımı haritalama yöntemi ile tespit edilebilir.

SEM-EDS tekniği ile malzemelerin yapısal karakterizasyonunun gözlenmesi dışında korozyon analizi, numunenin gevrekliği ve dolgu içeriği de belirlenebilir (Eurolab Laboratory Services, 2020).

SEM-EDS tekniği ile numunelere ait yapısal karakterizasyon, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan Zeiss EVO LS 10 cihazı ile elde edilmiştir. Cihaza ait görüntü Şekil 3.8’de verildiği gibidir.



Şekil 3.8: Zeiss EVO LS 10 SEM-EDS cihazı.

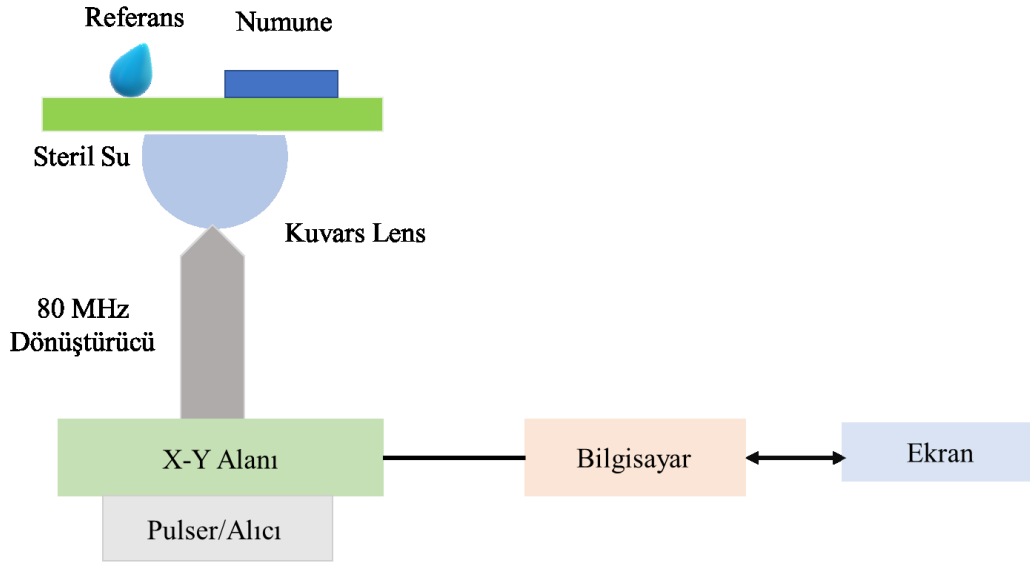
3.6. MALZEMELERİN TAM TEKNİĞİ İLE YÜZEY KARAKTERİZASYONU

TAM tekniği, yetmişli yılların ortalarında kullanılmaya başlanan fakat ticari uygulamalarda ancak son dönemlerde kendisine yer edinebilmiş bir tekniktir. Örneklerin mekanik özelliklerindeki çeşitliliklerin görsel görüntülerini oluşturmak için sesi kullanan TAM cihazı, akustik dalgaların optik olarak opak malzemelere nüfus etme yeteneğini kullanarak diğer tekniklerle gözlenmesi zor olan yapılara ait görüntülerin tahribatsız olarak elde edilmesine olanak sağlar (Yang ve diğ., 1996).

TAM cihazının düzeneği, optik (safır kuvars) mercekli bir dönüştürücü, osiloskop, darbe/alıcı, bilgisayar ve ekrandan meydana gelir. Cihazın kurulumu, Şekil 3.9’da şematik olarak verilmektedir (Bilen ve diğ., 2018a; Güzelçimen ve diğ., 2020).

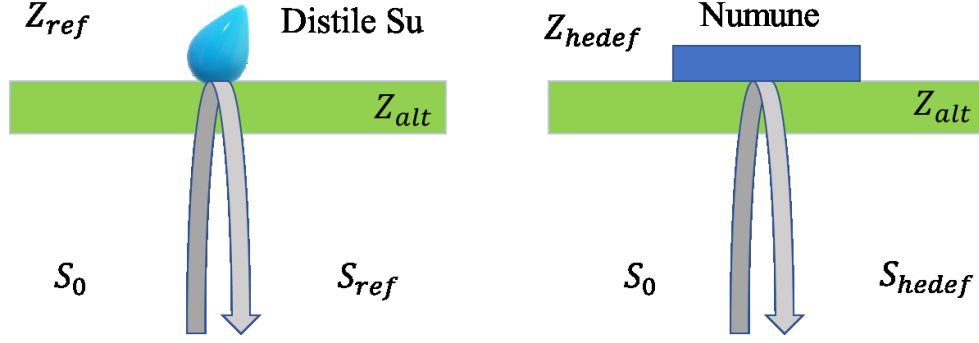
17 μm 'lik spot büyüklüğüne ve 1.5 mm'lik odak uzaklığına sahip 80 MHz frekanslı dönüştürücü, tekrarlama oranı 10 kHz ile 5 ns genişliğinde darbe üretmekte ve örnek ile referanstan yansıyan akustik dalgaları toplamakta, bu nedenle de darbe/alıcı yerine geçmektedir (Bilen ve diğ., 2018b; Güzelçimen ve diğ., 2020).

Şekil 3.9'da gösterildiği üzere damıtılmış (distile) su, dönüştürücü ile numune arasındaki bağlantı noktası olarak kullanılır. Bilgisayar yardımı ile kontrol edilen X-Y düzlemi, dönüştürücünün hedef malzemeyi iki boyutlu olarak taramasından sorumludur. Ölçümü alınacak örnek ve referans olarak kullanılan damıtılmış su tarafından yansıyan sinyaller 80 MHz'lik dönüştürücü ile toplanır ve osiloskop yardımı ile analiz edilir. Bu sayede, yaklaşık 20 μm 'lik yanal çözünürlüğe sahip 0.3 mm x 0.3 mm örnekleme noktası ile ölçüm alınmak istenen bölgeye ait empedans ve akustik yoğunluk haritaları görsel olarak elde edilebilmektedir (Güzelçimen ve diğ., 2020).



Şekil 3.9: Akustik empedans modunda TAM cihazının kurulum şeması.

Akustik empedans modunda TAM cihazının çalışma prensibi Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilmiştir. Piezo elektrik dönüştürücü ile üretilen akustik dalga, optik (safir kuvars) mercek tarafından hedef olarak adlandırılan bir örnek üzerine odaklanır, sonrasında aynı dönüştürücü yardımıyla yansıtılır ve toplanır (Sirkeci, 2021).



Şekil 3.10: Akustik empedans ölçümünün çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi.

Ölçümlerde referans malzeme genellikle damıtılmış (distile) sudur. Hedef sinyal S_{hedef} olarak kabul edilir ise;

$$S_{hedef} = \frac{Z_{hedef} - Z_{alt}}{Z_{hedef} + Z_{alt}} S_0 \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. Denklemden S_0 , 80 MHz'lik piezo elektrik dönüştürücü tarafından üretilmekte olan akustik sinyali ifade eder. Z ise akustik empedanstır ve birimi MRayl ile gösterilir ($1 \text{ Rayl} = 1 \text{ kg m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Z_{hedef} , örneğin akustik empedansı olarak tanımlanır ve Z_{alt} , polistiren substratın (alt tabaka) akustik empedansıdır (2.37 MRayl). Örneğin akustik empedansı, örnekten yansıyan ve referans tarafından alınan sinyalin karşılaştırılması ile hesaplanır. Bu durumda referanstan yansıyan sinyal,

$$S_{ref} = \frac{Z_{ref} - Z_{alt}}{Z_{ref} + Z_{alt}} S_0 \quad (3.2)$$

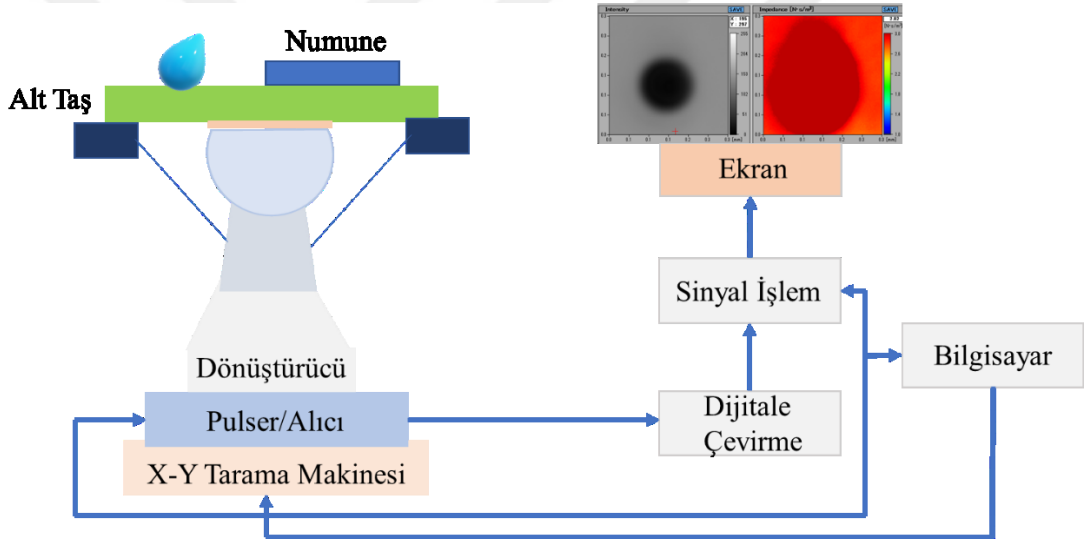
ile hesaplanır. Z_{ref} , damıtılmış suyun akustik empedansıdır (1.50 MRayl). Sonuç olarak örneğin akustik empedansı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Z_{hedef} = \frac{1 + \frac{S_{hedef}}{S_0}}{1 - \frac{S_{hedef}}{S_0}} Z_{alt} = \frac{1 - \frac{S_{hedef}(Z_{alt} - Z_{ref})}{S_{ref}(Z_{alt} + Z_{ref})}}{1 + \frac{S_{hedef}(Z_{alt} - Z_{ref})}{S_{ref}(Z_{alt} + Z_{ref})}} Z_{alt} \quad (3.3)$$

S_0 'ın gözlem esnasında sabit olduğu kabul edilmektedir (Bilen ve diğ., 2018b; Bilen ve diğ., 2019; Demirkan ve diğ., 2019; Güzelçimen ve diğ., 2020).

Şekil 3.11’de bu çalışmada kullanılan TAM cihazının deney düzeneği şematik olarak gösterilmiştir. Örneğin yapısına bağlı olarak elde edilen yansımaya ait yoğunluk görüntüsü, numunenin akustik empedansına veya numunenin geçirdiği ses hızına çevrilir. Mikroskobik düzeyde gözlenen 2-boyutlu görüntüler, örneğin altında yer alan (X-Y düzlemi) transformatörler sayesinde gerçekleştirilen mekanik tarama ile elde edilir. İncelenen örneğin türü ile bağlantılı olarak transformatörde kullanılan frekans değışı ve kullanılan frekans değeri, sistemin çözünürlüğünü doğru orantılı olarak etkiler.

Yaklaşık 2 dakika gibi bir sürede ölçüm alabilen akustik mikroskop, $16 \mu\text{m}^2$ ’lik tarama adımları ile maksimum $4.8 \text{ mm} \times 4.8 \text{ mm}$ ’lik bir alanı 2-boyutta tarayabilmektedir (Bilen ve diğ., 2018a; Bilen ve diğ., 2019; Demirkan ve diğ., 2019; Güzelçimen ve diğ., 2020).



Şekil 3.11: TAM cihazı deney düzeneğinin şematik diyagramı.

Akustik empedans, örneğe ait mikro sertlik, elastikiyet modülü ve yoğunluk değeri ile ilişkilidir.

$$Z = \rho \cdot V = \sqrt{E_m \cdot \rho} \quad (3.4)$$

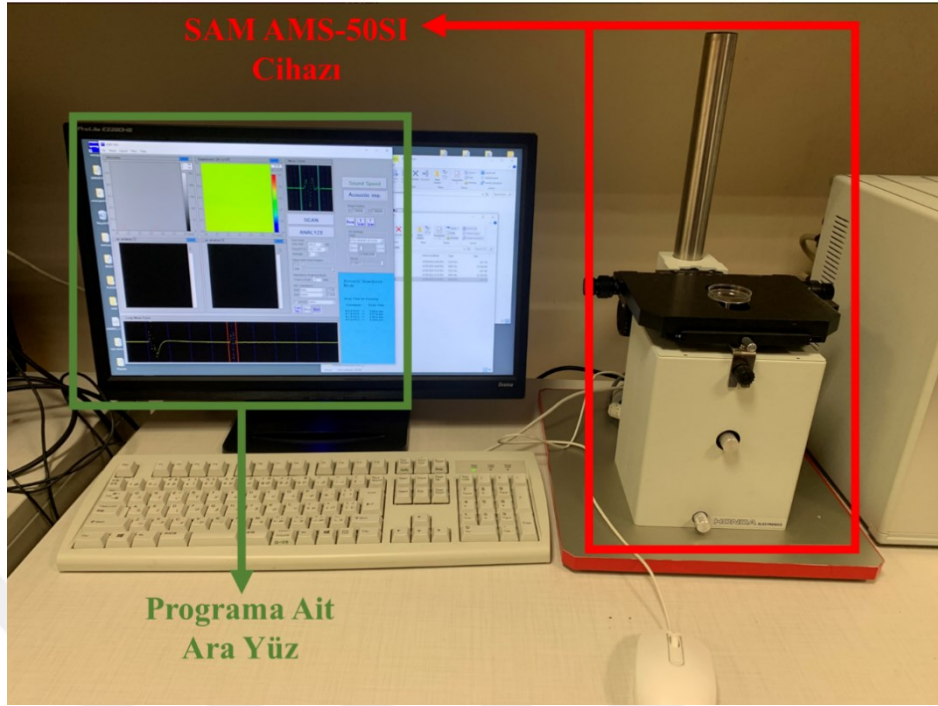
Denklemden E_m elastikiyet modülünü, V akustik hızı ve ρ ise yoğunluğu temsil etmektedir.

Bir malzemenin elastikiyet modülünde meydana gelen artışa bağlı olarak mikrosertlik de artma eğilimindedir. Malzemeye ait mikrosertlik değeri, örneğin dışarıdan uygulanan kuvvet ve

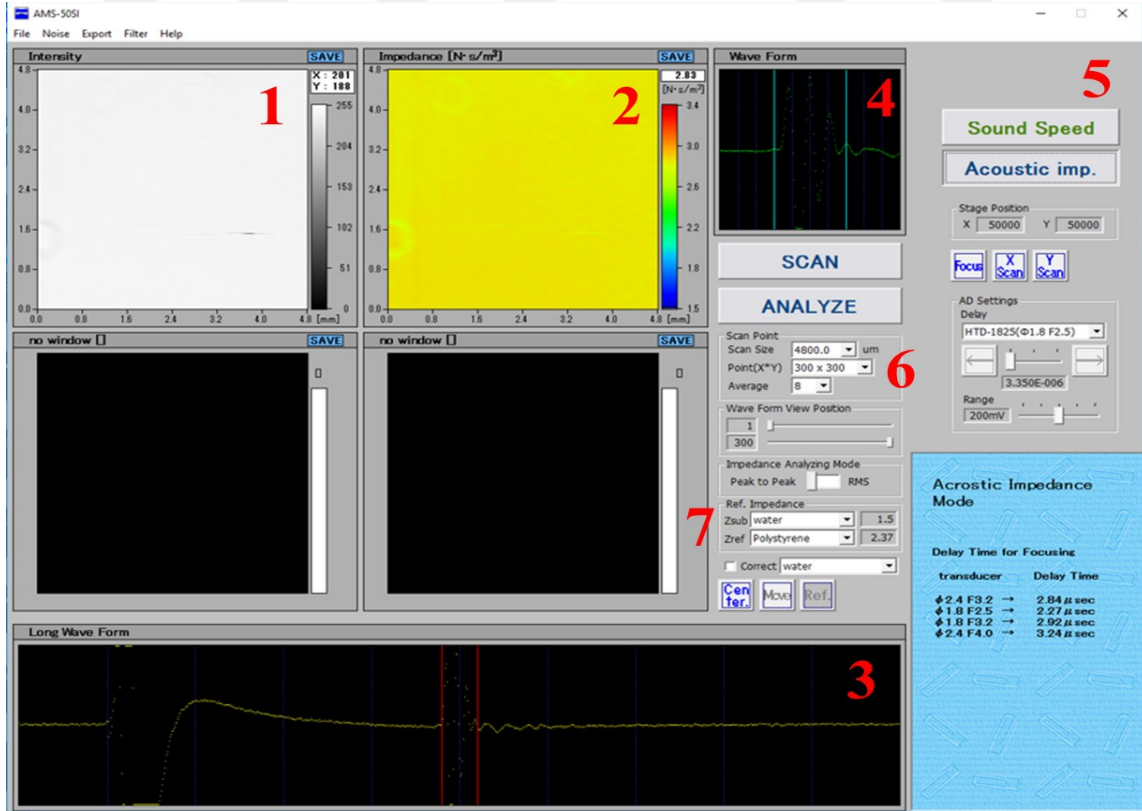
benzeri etmenler altında deformasyon veya zararlanmalara karşı direnme derecesini etkiler (Sirkeci, 2021).

BaF₂ ve MgF₂ bileşikleri ile Ba_xMg_{1-x}F₂ alaşımlarına ait akustik empedans görüntüleri, Boğaziçi Üniversitesi Medikal Görüntüleme Laboratuvarı'nda bulunan Honda Electronics SAM AMS-50SI cihazı ile elde edilmiştir (Şekil 3.12).





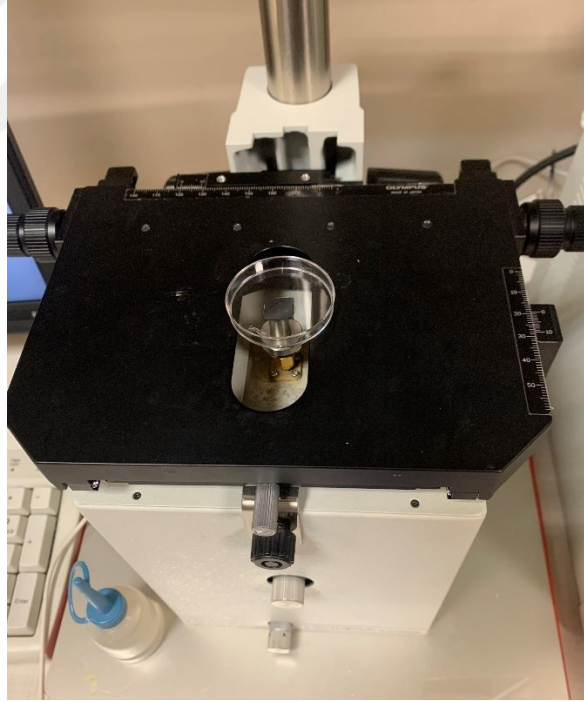
Şekil 3.12: Boğaziçi Üniversitesi Medikal Görüntüleme Laboratuvarı'nda bulunan Honda Electronics SAM AMS-50SI cihazı.



Şekil 3.13: TAM ölçümlerinin görüntülenmesini sağlayan programa ait ara yüz.

Şekil 3.13’de TAM ölçümlerinin yapılması ve elde edilen verilerin kayıt altına alınması sırasında kullanılan bilgisayar programına ait ara yüz verilmiştir. Ara yüz üzerindeki 1 numaralı bölge numuneye ait ölçüm alınan yüzey bölgesinden yansıyan ses sinyallerinin şiddetindeki değişimi, 2 numaralı bölge yüzeyin akustik empedans ile elde edilen görüntüsünü, 3 numaralı bölge numuneden yansımakta olan akustik sinyalleri, 4 numaralı bölge ölçüm için tercih edilen akustik sinyali, 5 numaralı bölge X-Y eksenlerinin pozisyonunun ve ölçüm modunun belirlendiği kısmı, 6 numaralı bölge kayıt ve analiz için gereken ayarlamaların yapıldığı kısmı ve 7 numaralı bölge referans ile alttaş malzemelerinin sahip olduğu akustik empedans değerlerinin seçildiği kısmı temsil eder.

Kuvars cam alttaş üzerine kaplanmış BaF_2 ve MgF_2 bileşikleriyle $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımlarına ait yüzey görüntüleri, TAM tekniği kullanılarak her bir numune için yaklaşık 2 dakika süren ölçümler sonucunda saptandı. Numunenin ölçüm esnasında cihaz üzerindeki yerleşimi Şekil 3.14’te gösterildiği gibidir.

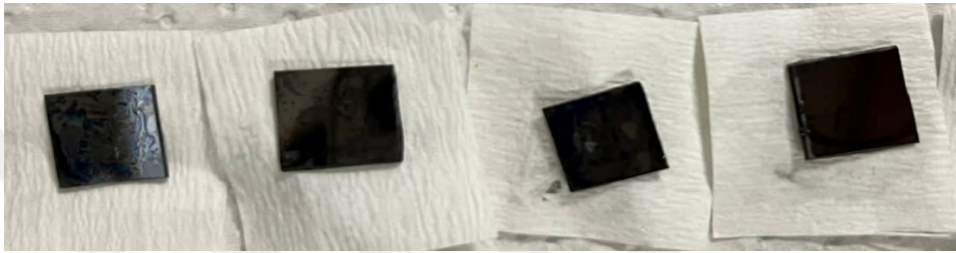


Şekil 3.14: Ölçümü alınan numunenin cihaz üzerindeki yerleşimi.

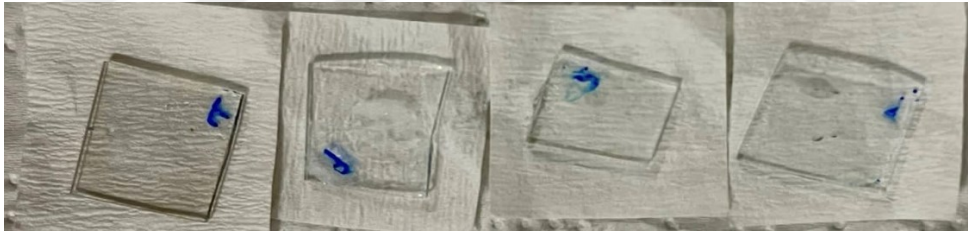
4. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında, Nanovak NVTS – 500 rf magnetron sıçratma tekniği ile üretilen ~100 nm kalınlıklı BaF_2 ve MgF_2 bileşikleriyle baryumca ve magnezyumca zengin $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ alaşımlarının yüzey ve yapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Si alltaşı üzerine kaplanmış numuneler Şekil 4.1’de, kuvars cam üzerine kaplanmış numuneler Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir.

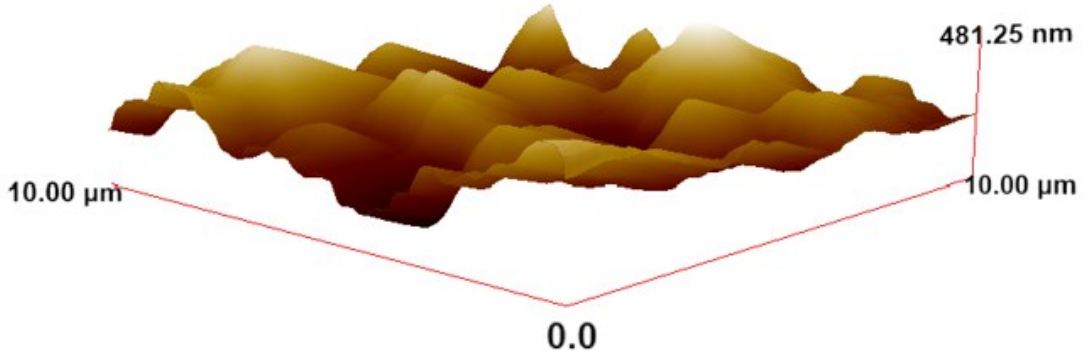


Şekil 4.1: n tipi Silisyum üzerine kaplanmış numuneler.

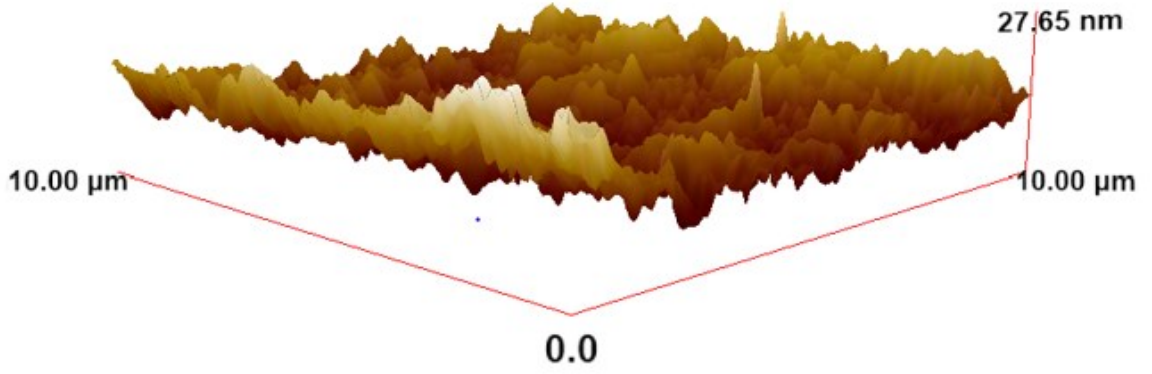


Şekil 4.2: Kuvars cam üzerine kaplanmış numuneler.

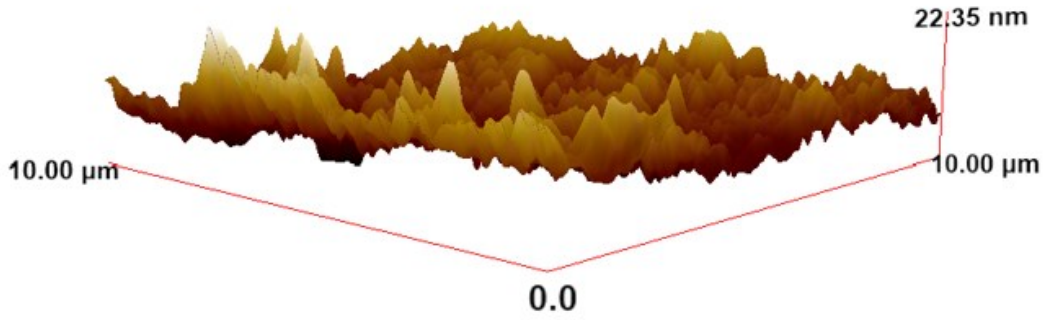
Morfolojik analiz için AKM cihazı ile her bir malzeme yüzeyinin $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ ’lik tarama alanında elde edilen 3 boyutlu mikroskobik görüntüler Şekil 4.3 – 4.6’da gösterilmiştir.



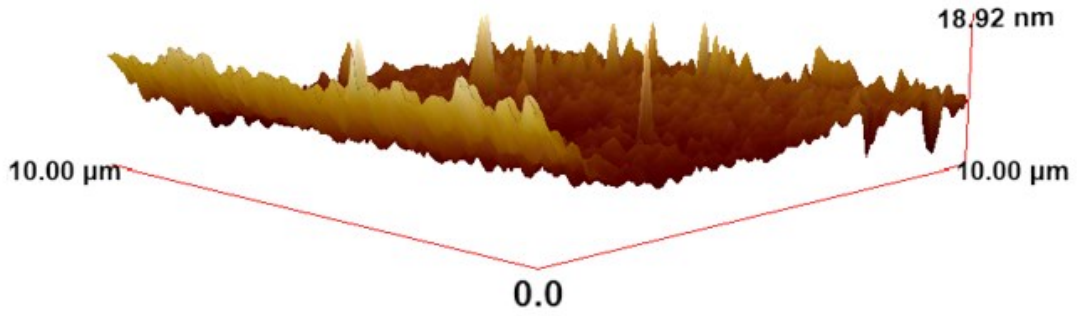
Şekil 4.3: Kuvars cam üzerine kaplanmış BaF₂ bileşiğinin 10 x 10 μm²'lik tarama alanında AKM görüntüsü.



Şekil 4.4: Kuvars cam üzerine kaplanmış MgF₂ bileşiğinin 10 x 10 μm²'lik tarama alanında AKM görüntüsü.



Şekil 4.5: Kuvarts cam üzerine kaplanmış $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) alaşımının $10 \times 10 \mu m^2$ 'lik tarama alanında AKM görüntüsü.



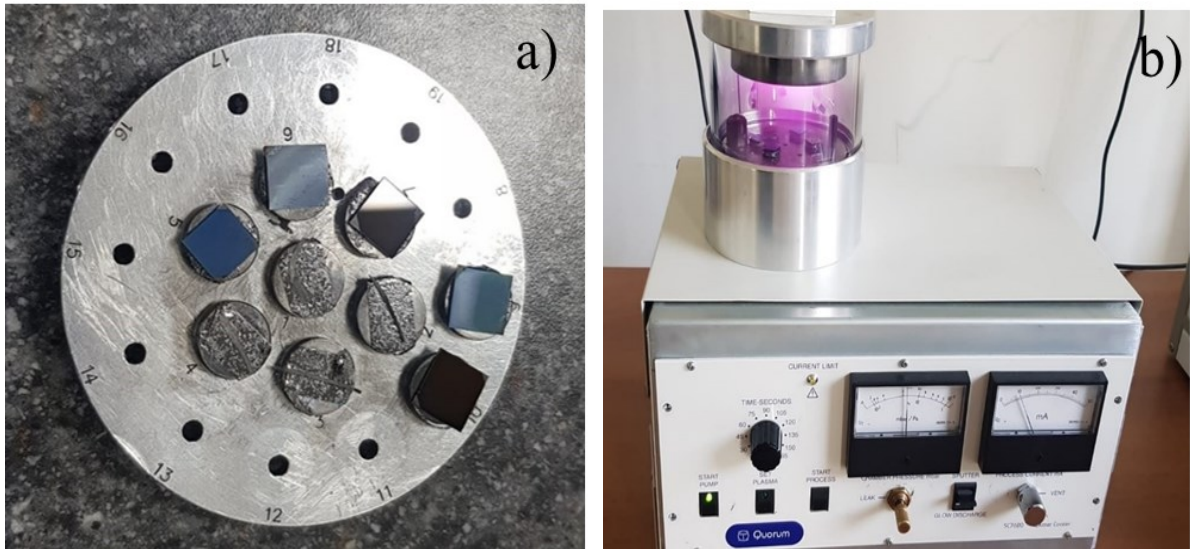
Şekil 4.6: Kuvarts cam üzerine kaplanmış $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$) alaşımının $10 \times 10 \mu m^2$ 'lik tarama alanında AKM görüntüsü.

AKM cihazı ile kaydedilen yüzey görüntülerinden hesaplanan karekök ortalama (rms) yüzey pürüzlülük değerleri, numunelerin morfolojik yapısının homojen bir dağılım göstermesi ile bağlantılıdır ve bu değerler Tablo 4.1'de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.1: Farklı atomik konsantrasyonlara sahip BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımları için karekök ortalama yüzey pürüzlülük (rms) değerleri.

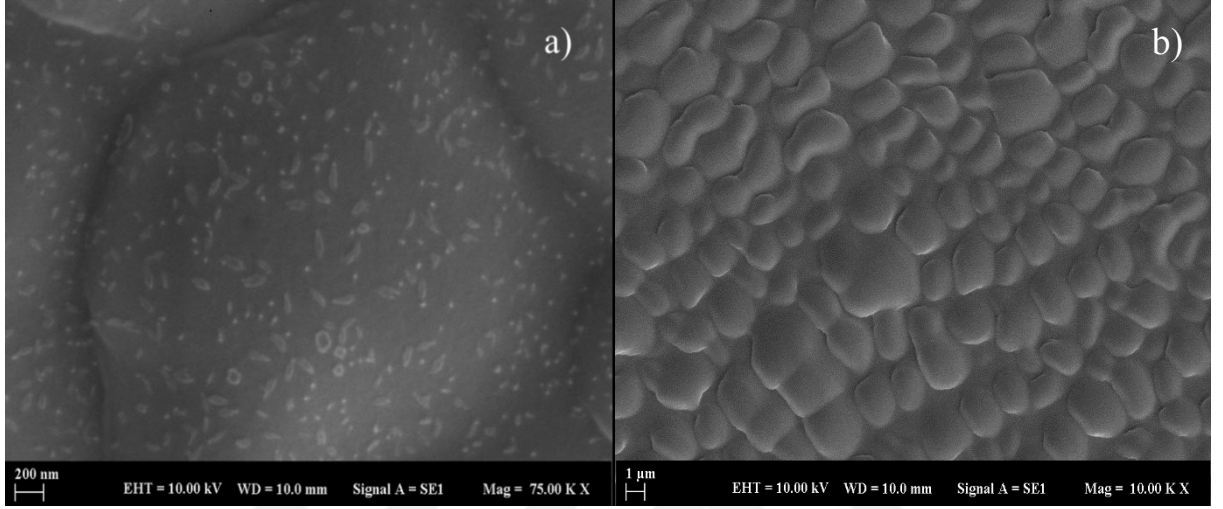
Atomik Konsantrasyon	rms (nm)
BaF_2	48.3
MgF_2	4.5
$Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$)	9.7
$Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$)	2.2

Morfolojik analiz için SEM cihazı ile yüzey görüntüsü alınacak olan tüm numuneler önce ~ 1 Pa değerindeki vakum ortamında 90 saniyelik bir süre içerisinde ince bir altın-paladyum tabakası ile kaplanmıştır. Ölçüm öncesinde yapılan bu işlem, numune yüzeylerinde meydana gelebilecek yansımaları önlemek ve yüzeyden daha belirgin görüntüler elde edilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Quorum-SC7620 cihazı ile vakum ortamında kaplama işleminin gerçekleştirilmesi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

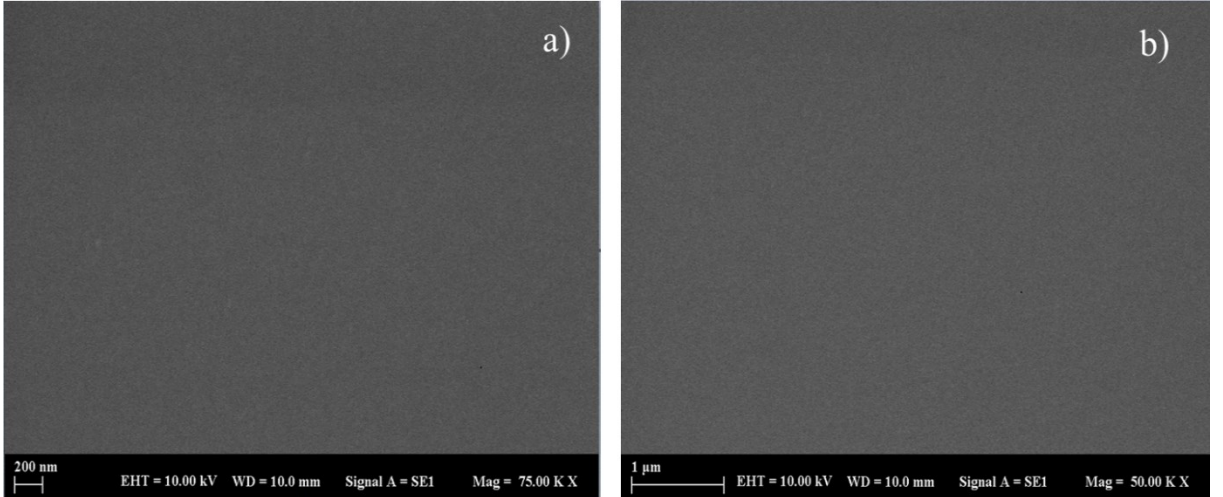


Şekil 4.7: a) Vakum ortamına yerleştirilecek numuneler, b) Quorum-SC7620 cihazı ile vakum altında kaplama işlemi.

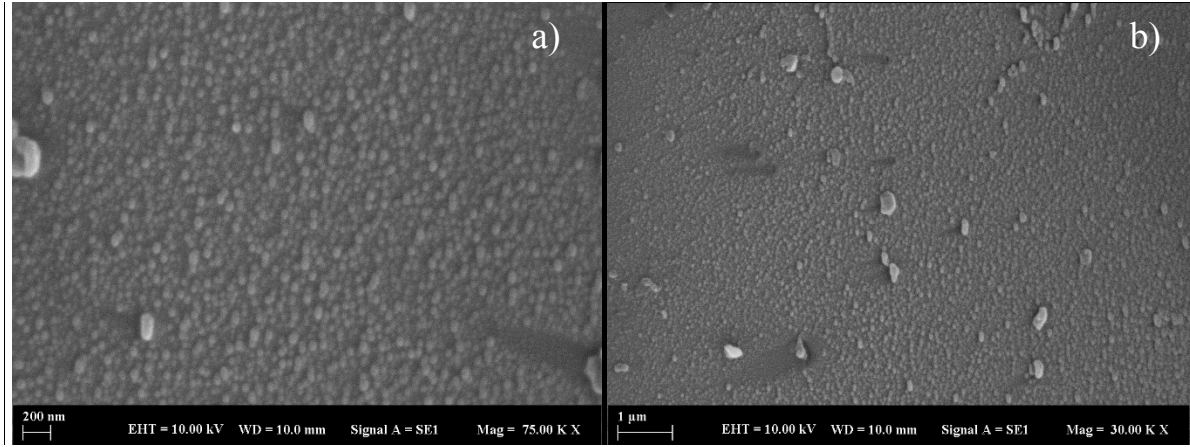
Vakum ortamında altın-paladyum kaplama işlemini takiben, numunelere ait yüzey morfolojisi görüntüleri Zeiss EVO LS 10 cihazı ile elde edilmiştir. Her bir malzeme örneği için, 200 nm ve 1 μm 'lik tarama alanlarında elde edilen yüzey görüntüleri Şekil 4.8 – 4.11'de gösterilmiştir.



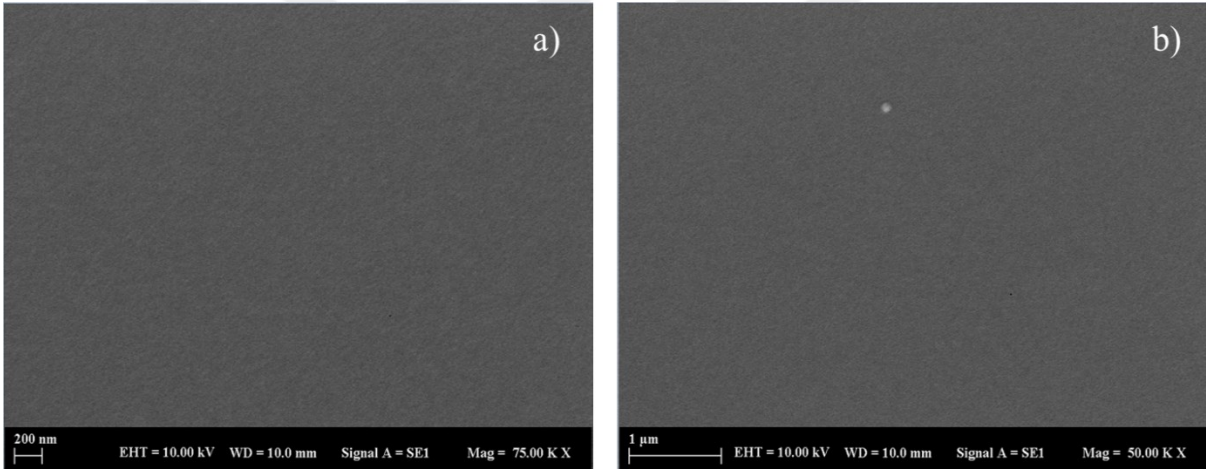
Şekil 4.8: BaF₂ bileşiğine ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm'lik tarama alanı için, b) 1 μm 'lik tarama alanı için.



Şekil 4.9: MgF₂ bileşiğine ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm'lik tarama alanı için, b) 1 μm 'lik tarama alanı için.



Şekil 4.10: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) alaşımına ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm'lik tarama alanı için, b) 1 μm 'lik tarama alanı için.

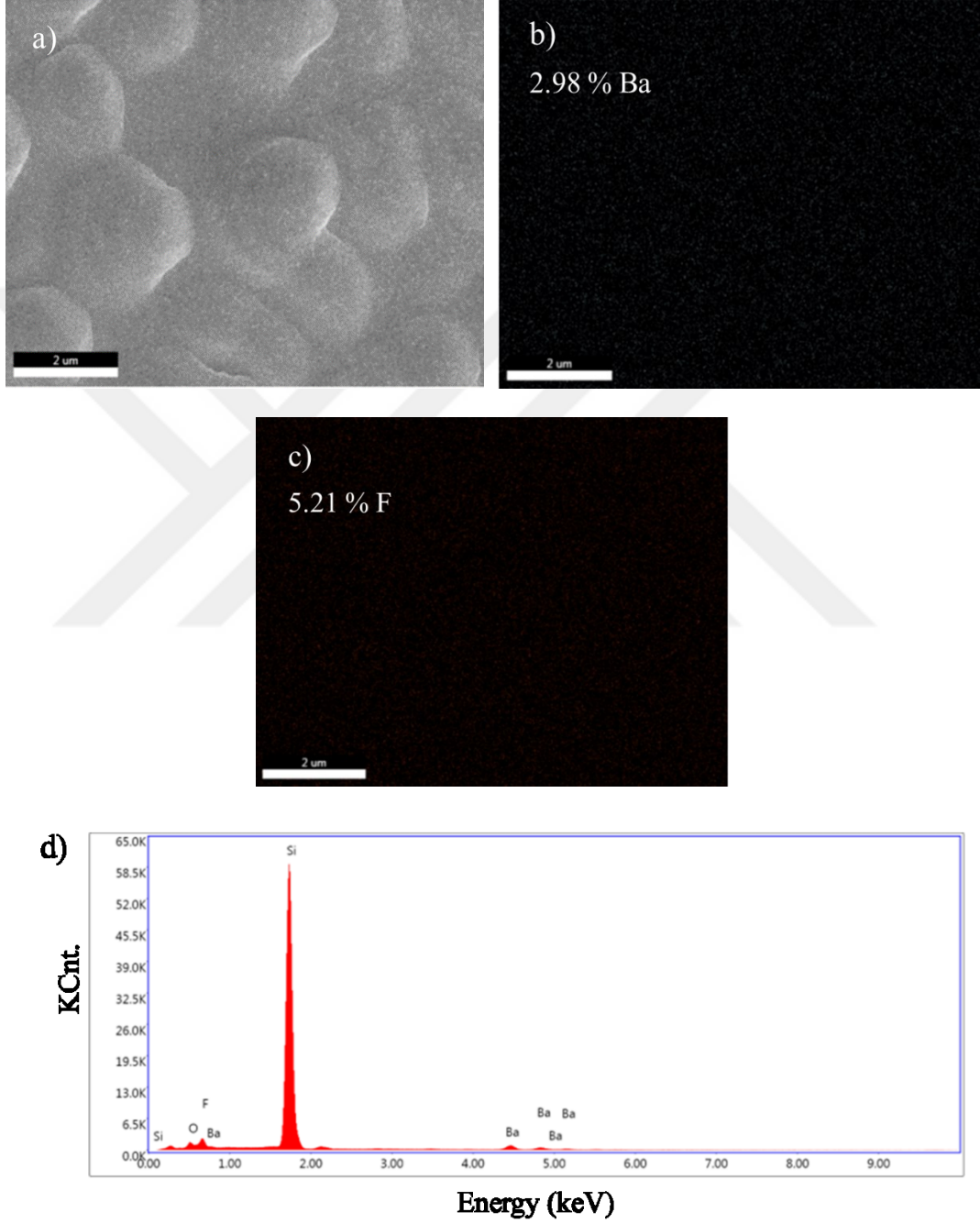


Şekil 4.11: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$) alaşımına ait SEM ile elde edilmiş yüzey görüntüleri. a) 200 nm'lik tarama alanı için, b) 1 μm 'lik tarama alanı için.

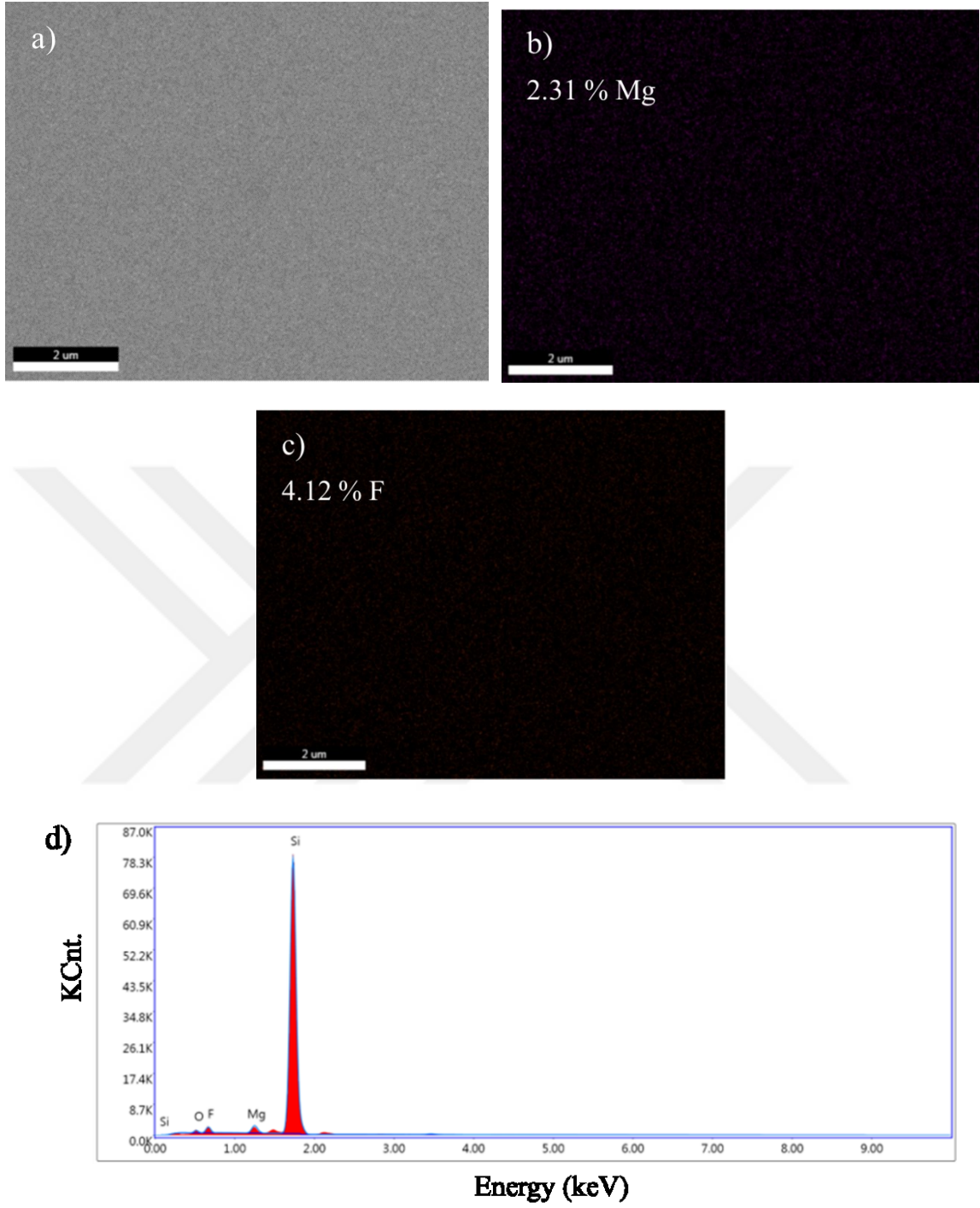
SEM ile elde edilen yüzey görüntülerinin analizinde, yüzey homojenliği ve yüzeyde bulunan her bir element için ortalama parçacık boyutu hakkında bilgi elde edilebilmiştir.

Ayrıca, tüm malzeme örneklerinin yüzeyinde yüksek homojenlik olduğu açıkça görülmektedir. Yüzeylerde nano boyutta bazı kusurlar olması aşıkardır. Ba elementinin parçacık boyutu, Mg ve F'a göre çok büyük olduğu görülmektedir. SEM yüzey görüntülerinden hesaplanan ortalama parçacık boyutlarının, Ba için 90-140 nm, Mg için 20-50 nm ve F için 40-80 nm aralığında olduğu saptanmıştır.

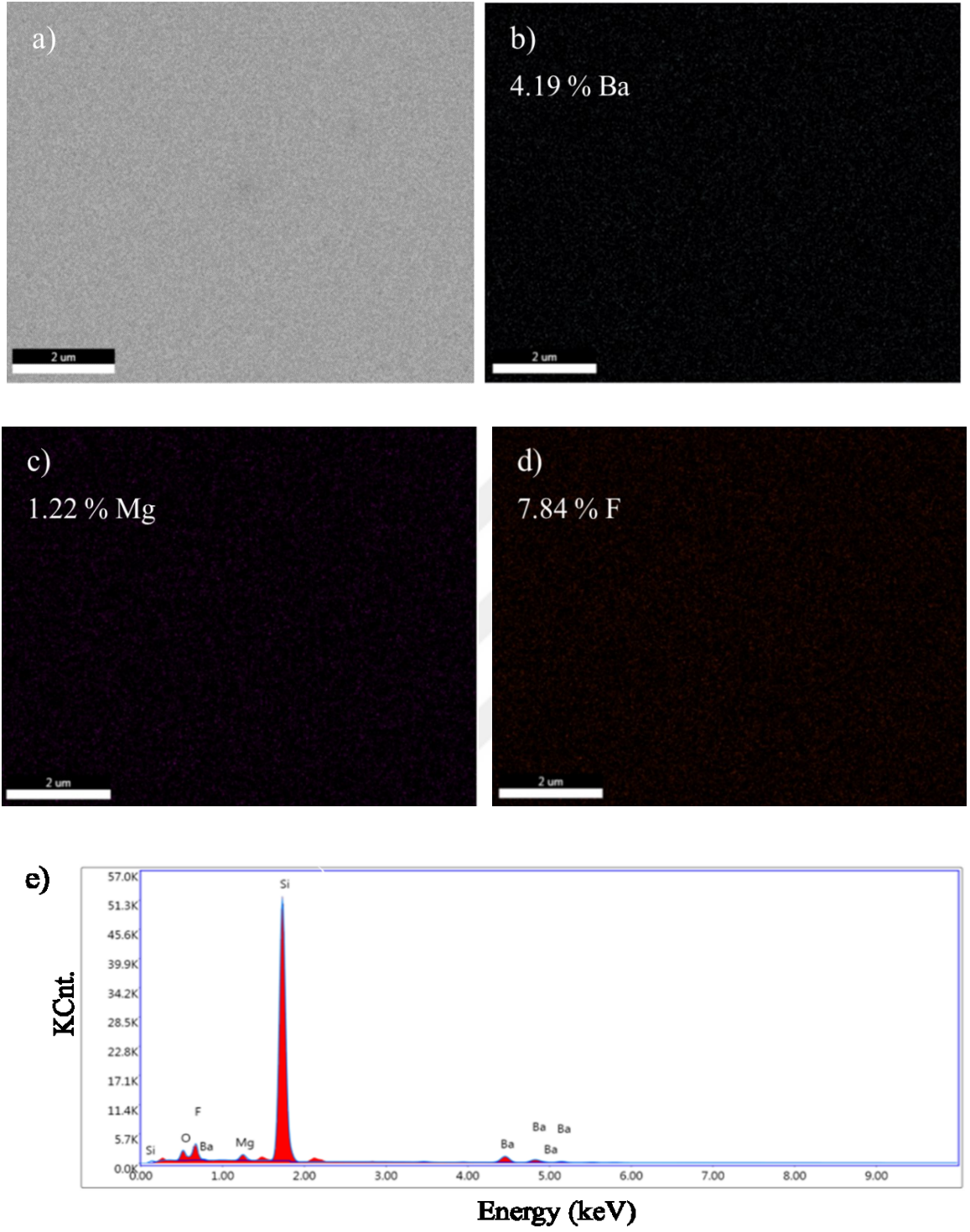
Malzemelerin mikro yapısal analizi için SEM-EDS tekniği kullanılarak elde edilen karakterizasyon ölçümlerine ait analiz sonuçları Şekil 4.12 – 4.15’de verilmiştir.



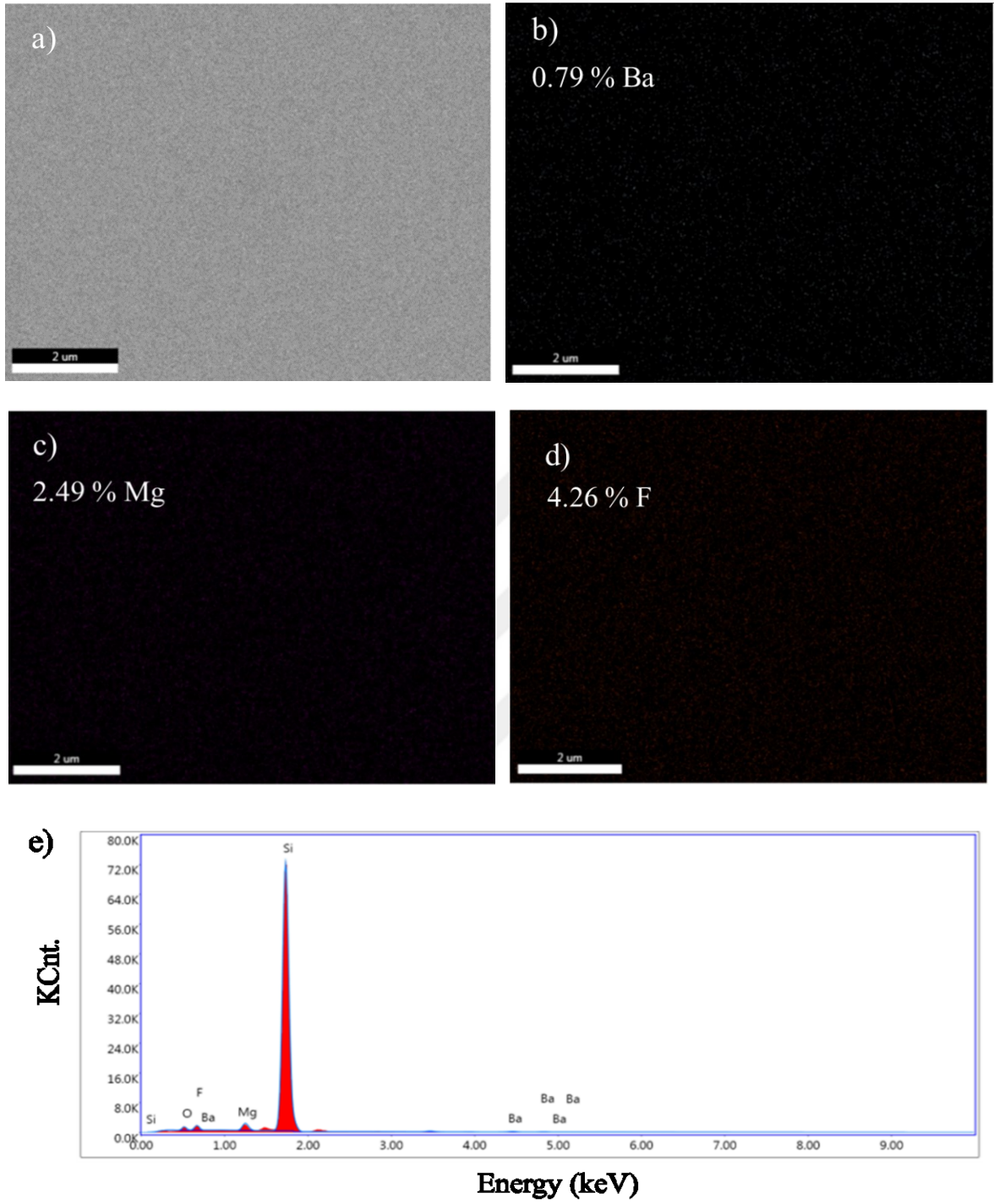
Şekil 4.12: 100 nm kalınlığındaki BaF_2 bileşiğinin SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Ba, c) F elementlerinin Silisyum alttaş üzerinde biriken BaF_2 kaplamasındaki EDS haritalamaları, d) Şekil 4.12a’da gösterilen alanın EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu 2 μm ’dir).



Şekil 4.13: 100 nm kalınlığındaki MgF_2 bileşiğinin SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Mg, c) F elementlerinin Silisyum alttaş üzerinde biriken MgF_2 kaplamasındaki EDS haritalamaları, d) Şekil 4.13a'da gösterilen alanın EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu 2 μm 'dir).



Şekil 4.14: 100 nm kalınlığındaki $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) alaşımının SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Ba, c) Mg, d) F elementlerinin Silisyum alttaş üzerine biriken $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) kaplamasındaki EDS haritalamaları, e) Şekil 4.14a’da gösterilen EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu 2 μm ’dir).



Şekil 4.15: 100 nm kalınlığındaki $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) alaşımının SEM-EDS analiz sonuçlarının özeti. a) Yüzey görünümünde yüzey topografyasının SEM görüntüsü, b) Ba, c) Mg, d) F elementlerinin Silisyum alttaş üzerinde biriken $\text{Ba}_x\text{Mg}_{1-x}\text{F}_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) kaplamasındaki EDS haritalamaları, e) Şekil 4.15a’da gösterilen alanın EDS spektrumu. (Ölçek çubuğu 2 μm ’dir).

SEM-EDS tekniği ile elde edilen analiz sonuçları, farklı atomik konsantrasyonlar kullanılarak kaplaması gerçekleştirilen malzemelerin yapısında B, Mg ve F varlığını kanıtlayan sonuçlar vermiş ve bu elementlerin, malzemelerin yapısındaki atomik ve ağırlık dağılımını ortaya koymuştur.

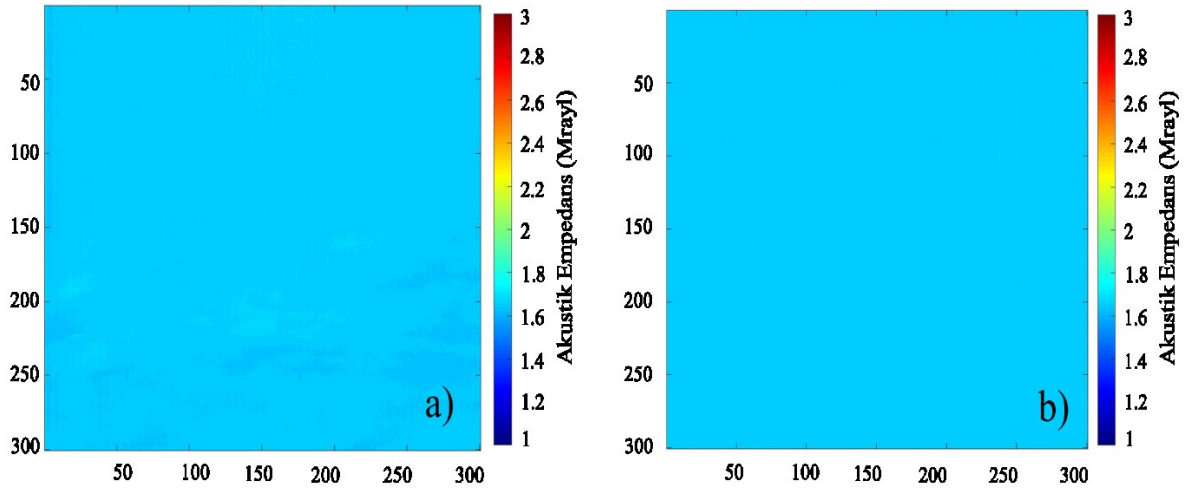
Şekil 4.12e’de verilmiş olan BaF_2 bileşiğine ait EDS spektrumunda, 0.8 eV ve 4.5 eV’da sırasıyla F ve Ba varlığını doğrulayan tepe noktaları gözlenmiştir. EDS haritalarından, BaF_2 ’ün Ba (%2.98) ve F (%5.21) stokiyometrik oranına sahip olduğu görölmüştür.

Şekil 4.13e’de gösterilen MgF_2 bileşiğine ait EDS spektrumunda, 0.8 eV ve 1.2 eV’da sırasıyla F ve Mg’un varlığını doğrulayan tepe noktaları görölmüştür. EDS haritaları, MgF_2 ’ün Mg (%2.31) ve F (%4.12) stokiyometrik oranına sahip olduğunu göstermiştir.

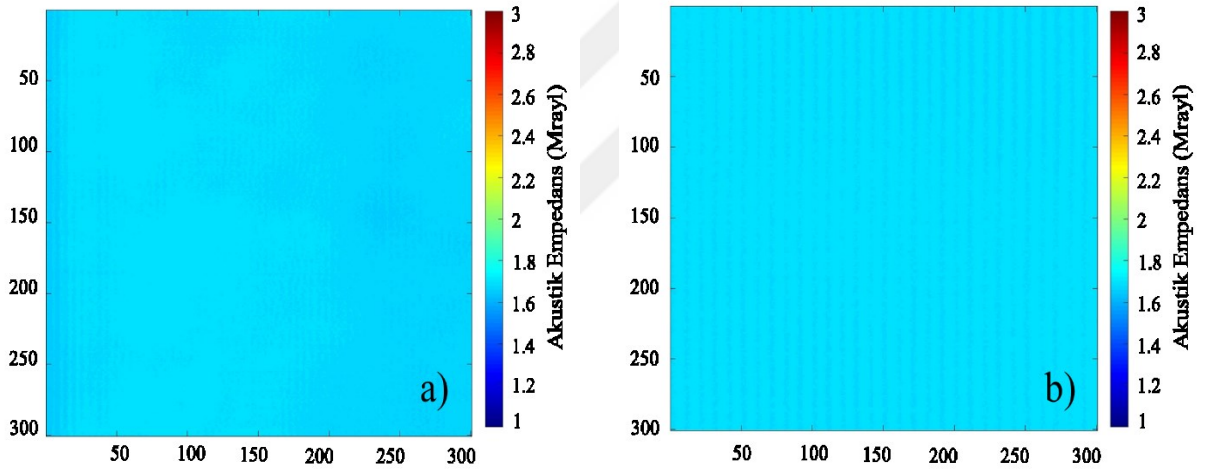
Şekil 4.14e’de gösterilen $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) alaşımına ait EDS spektrumu, sırasıyla 0.8 eV, 1.2 eV 4.5 eV’da F, Mg ve Ba’un varlığını doğrulayan tepe noktaları göstermiş ve EDS haritalarından, $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$)’ün Ba (%4.19), Mg (%1.22) ve F (%7.84) stokiyometrik oranına sahip olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.15e’de verilen $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$) alaşımına ait EDS spektrumu, sırasıyla 0.8 eV, 1.2 eV 4.5 eV’da F, Mg ve Ba’un varlığını doğrulayan tepe noktaları göstermiştir. EDS haritalarından, $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$)’ün Ba (%0.79), Mg (%2.49) ve F (%4.26) stokiyometrik oranına sahip olduğu görölmüştür.

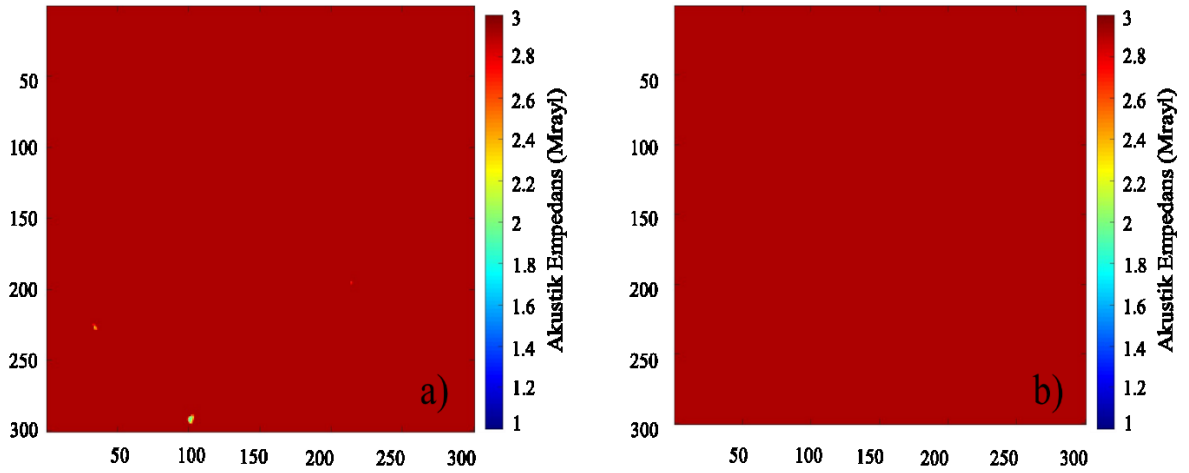
Yüzey karakterizasyonu kısmında, kuvars cam üzerine kaplanmış BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ile $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım numunelerinin TAM tekniği ile alınan yüzey akustik görüntüleri Şekil 4.16 – 4.19’da verilmiştir.



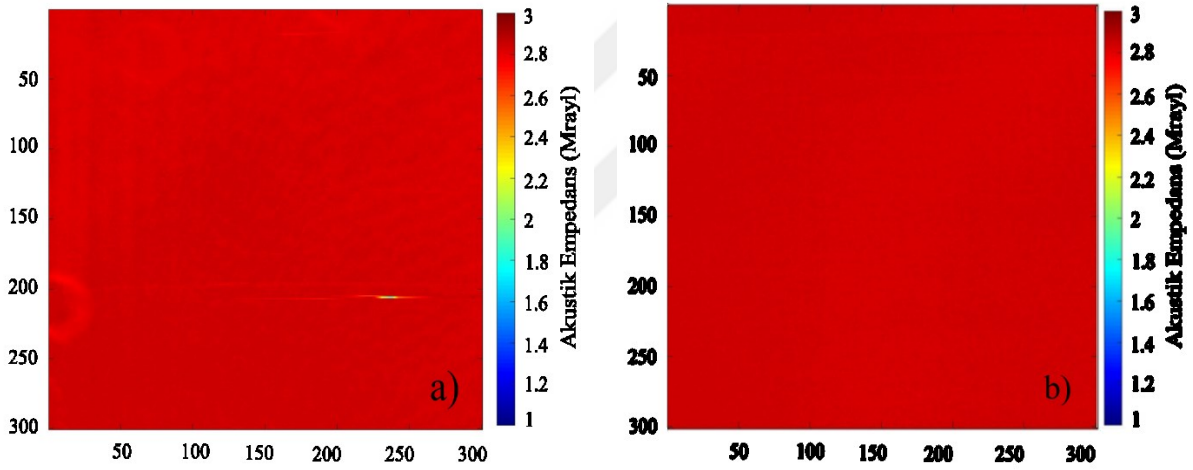
Şekil 4.16: BaF₂ bileşiğinin TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) 4.8 mm x 4.8 mm tarama alanında, b) 0.3 mm x 0.3 mm tarama alanında.



Şekil 4.17: MgF₂ bileşiğinin TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) 4.8 mm x 4.8 mm tarama alanında, b) 0.3 mm x 0.3 mm tarama alanında.



Şekil 4.18: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x>0.5$) alaşımlarının TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) 4.8 mm x 4.8 mm tarama alanında, b) 0.3 mm x 0.3 mm tarama alanında.



Şekil 4.19: $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x<0.5$) alaşımlarının TAM tekniği kullanılarak saptanmış yüzey akustik görüntüleri. a) 4.8 mm x 4.8 mm tarama alanında, b) 0.3 mm x 0.3 mm tarama alanında.

Yüzey akustik görüntüleri, TAM cihazının akustik empedans modunda çalıştırılması ile referanstan (distile su) ve numunelerden gelen akustik sinyal yansımaları kaydedilerek elde edilmiştir. Ağırlıklı ortalama akustik empedans değerlerini belirlemek amacıyla, BaF_2 ve MgF_2 bileşikleriyle $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımları 0.3 mm x 0.3 mm ve 4.8 mm x 4.8 mm'lik yüzey alanlarında analiz edilmiştir.

Akustik empedans haritalarında, nano malzemelerin farklı elastikiyet değerleri nedeniyle birbirinden farklı akustik empedans değerleri belirten birkaç kusur gözlemlenmektedir. Akustik

dalgalardan gelen yansımalar fazla gözenek sayısına sahip olan bölgelerden güçlü sinyaller tespit edilmesine sebep olurken, TAM görüntüleri üzerinde gözle görülür biçimde belirgin bölgeler olarak ortaya çıkar. Homojen olmayan şekilde dağılmış olan bu bölgeler, ince film kaplamaları üzerinde çeşitli şekil ve boyuta sahip yüzey kusurları olarak tanımlanabilir.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen ince film kaplamalarının akustik empedans sonuçları Tablo 4.2’de gösterilmektedir. Ağırlıklı ortalama akustik empedans değerleri, her bir numune üzerinde 0.3 mm x 0.3 mm’lik beş farklı yüzey alanındaki nokta değerlerden hesaplanan ağırlıklı ortalamalardır.

Tablo 4.2: Üretilen ince film nano malzemelerin TAM tekniği ile belirlenen yüzey akustik empedans (MRayl cinsinden) ve standart sapma değerleri.

Malzeme	Ağırlıklı Ortalama Akustik Empedans Değeri (MRayl)	Standart Sapma Değeri
BaF ₂	1.655	0.016
MgF ₂	1.679	0.010
Ba _x Mg _{1-x} F ₂ (Baryumca zengin, x>0.5)	2.910	0.028
Ba _x Mg _{1-x} F ₂ (Magnezyumca zengin, x<0.5)	2.835	0.021

Bu tez çalışmasında üretilen ince film nano malzemelerin ağırlıklı ortalama akustik empedans değerlerinde dikkate değer farklılıklar gözlenmektedir. Bu değişimler, malzemelerin mikro sertlik ve elastikiyet özelliklerinin değişimine de karşılık gelir. Standart sapmalar da %1’in altında hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, hazırlanan kaplamalarda yüzey kusur oranının oldukça düşük seviyede olduğunu göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında BaF_2 ve MgF_2 bileşikleri ve $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşımlarının (Baryumca zengin ve Magnezyumca zengin) mikro yapı analizi SEM-EDS tekniği, yüzey morfolojisi de AKM, SEM ve TAM teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

Örneklerin SEM-EDS analiz sonuçları, üretilmesi hedeflenen malzemelerin yüksek vakum ortamında gerçekleştirildiğini kanıtlamaktadır ve malzeme yüzeylerinde başka herhangi bir yapıya rastlanmamıştır. Üretilen malzemelerin elementel analizine göre, atomik konsantrasyonlarının literatür ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. EDS spektrumları, üretilen malzeme yüzeyleri için stokiyometrik oranları göstermektedir. Yüzey alanları üzerinde EDS analizlerinin sonuçları, BaF_2 bileşiği için Ba/F'nin atomik % oranının 1/2'ye yakın olduğunu ve Ba ile F elementlerinin malzeme yüzeyinde homojen dağıldığını bildirmektedir. MgF_2 bileşiği için Mg/F'nin atomik % oranının 1/2'ye yakın olduğunu ve Mg ile F elementlerinin malzeme yüzeyinde homojen dağıldığı gözlemlenmektedir. $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x > 0.5$) alaşımında Ba ve Mg elementlerinin toplam atomik % değerinin, F'nin atomik % değerine oranının 1/2'ye çok yakın olmayan bir stokiyometri ortaya çıkmıştır. $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) alaşımında Ba ve Mg elementlerinin toplam atomik % değerinin, F'nin atomik % değerine oranının 1/2'ye çok yakın olmayan bir stokiyometri ortaya çıkmıştır. Vakum ortamında üretilen alaşım yüzeylerindeki yapı oluşumlarında elementlerin katkıları büyük önem kazanmaktadır.

Malzemelerin yüzey morfolojisi analizinde, $10 \times 10 \mu m^2$ 'lik tarama alanına sahip üç boyutlu AKM görüntülerinden elde edilen pürüzlülük rms değerlerine göre yüzeyi en pürüzlü yapı BaF_2 ve en pürüzsüz yapı $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin, $x < 0.5$) olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında, yansıma önleyici kaplama tabakası olarak BaF_2 yapısı veya alaşım olarak $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Baryumca zengin, $x > 0.5$) kullanılabilecekken, MgF_2 bileşiği ve $Ba_xMg_{1-x}F_2$ (Magnezyumca zengin) alaşım yapısının farklı opto-elektronik uygulamalarda çok katmanlı yapılarda tampon ara yüzey tabakası olarak kullanılabileceği söylenebilir.

SEM analiz sonuçları incelendiğinde, tüm malzeme yüzeylerinde homojenliği yüksek bir morfoloji sergilendiği gözlemlenmiştir. Tanecikler arası boşlukların çok olmadığı ve kümelenmelerin ve topakların çok olmadığı sıkı yapılar karşımıza çıkmıştır.

TAM kullanılarak yüzey akustik görüntüleri ve akustik empedans değişimlerinin ölçülmesi sağlanmıştır. TAM ile malzeme yüzeyleri hızlı bir şekilde taranmıştır ve atomik konsantrasyona bağlı olarak malzemelerin yüzeyinde meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Denklem 3.4'ten de anlaşılacağı gibi, akustik empedans değerinin malzemenin elastikiyeti ile doğru orantılı olarak değiştiği bilinmektedir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında TAM yöntemi uygulanarak elde edilen ölçüm sonuçları, doğrudan malzeme örneklerinin mikro sertlik değişimine de işaret etmektedir ve bilhassa yüksek akustik empedans değerine sahip $Ba_xMg_{1-x}F_2$ ince film alaşım malzemelerinin yüzey sertliğinin ve elastikiyetinin önem kazandığı akustik cihazlarda ve farklı opto elektronik uygulamalarda kullanılabilir olduğu sonucuna varılabilir.

Bu tez çalışması, üretilen $Ba_xMg_{1-x}F_2$ ince film alaşım malzemeleri ile ilgili literatürdeki boşluğun doldurulması için bir ön çalışma niteliğindedir. Alaşım malzemelerin seramik endüstrisinde, farklı optoelektronik vb. uygulamalarda kullanılabilirliğinin arttığı günümüzde, bu tez çalışmasında üretilen $Ba_xMg_{1-x}F_2$ alaşım malzemelerinin optik, elektriksel ve mekanik karakterizasyonlarının da analiz edilmesi ile önem kazanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aleksandrova, N.Y., 2015, *Investigation Of Optical Constants Of Fluoride Films In The Middle IR Region Of The Spectrum and Their-Based Synthesis Achromatic Antireflecting Coatings*, Master's Thesis, Saint Petersburg State University.
- Aydoğmuş, T., 2013, *Termiyonik vakum ark (TVA) tekniği ile optik filtre tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Aykut, E., 2019, *Rf saçtırma yöntemiyle üretilmiş MgF_2 ince filmlerin optik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Bilen, B., Gökbulut, B., Kafa, U., Heves, E., İnci, M.N. and Ünlü, M.B., 2018a, Scanning acoustic microscopy and time-resolved fluorescence spectroscopy for characterization of atherosclerotic plaques, *Scientific Reports*, 8, 14378.
- Bilen, B., Gökbulut B., Kafa, U., Heves, E., İnci, M.N. and Ünlü, M.B., 2018b, Time-Resolved fluorescence spectroscopy for characterization of atherosclerotic plaques, *Scientific Reports*, 8, 1-10.
- Bilen, B., Türker Şener L., Albeniz, I., Albeniz, I., Sezen, M., Ünlü, M.B. and Uğurlucan, M., 2019, Determination of ultrastructural properties of human carotid atherosclerotic plaques by Scanning Acoustic Microscopy, Micro-Computer Tomography, Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, *Scientific Reports*, 9, 1-10.
- Cheng, C.C., Chen, Y.C., Wang, H.J. and Chen, W.R., 1996, Low- temperature growth of aluminum nitride thin films on silicon by reactive radio frequency magnetron sputtering, *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 14 (4), 2238-2242.
- Chu, S.Y., Water, W. and Liaw, J.T., 2003, Influence of postdeposition annealing on the properties of ZnO films prepared by RF magnetron sputtering, *Journal of the European Ceramic Society*, 23 (10), 1593-1598.
- Cotter, T.M., Thomas, M.E. and Tropf, W.J., 1997, *Magnesium Fluoride (MgF_2)*, Handbook of Optical Constants of Solids, In: Palik, E.D. (ed.), Chapter 53, Academic Press, USA, 899-918.

- De, R., Maidul Haque, S., Tripathi, S., Prathap, C., Divakar Rao, K. and Sahoo, N.K., 2016a, Effect of sputtering power on MgF_2 thin films deposited by sputtering technique under fluorine trapping, *AIP Conference Proceedings*, 1731 (1), 080078.
- De, R., Maidul Haque, S., Tripathi, S., Divakar Rao, K., Prathap, C., Kumar, M., Som, T. and Sahoo, N.K., 2016b, Surface characterization of magnesium fluoride thin films prepared by a fluorine trapping based non-reactive sputtering technique, *Vacuum*, 134, 110-119.
- Demirkan, İ., Yaprak, G., Ceylan, C., Algül, E., Parlak, M., Ünlü, M.B. and Bilen, B., 2019, Acoustic impedance measurement of radiotherapy-induced effect on the human tooth by 320 MHz scanning acoustic microscopy, *Imaging, Manipulation, and Analysis of Biomolecules, Cells, and Tissues XVII*, 108811S.
- Demirpolat, A.B., 2018, *Etilen glikol bazlı nanoakışkanların üretilmesi, viskozite ve termal özelliklerinin deneysel incelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi.
- Dreghici, D.B., Butoi, B., Predoi, D., Iconaru, S.L., Stoican, O. and Groza, A., 2020, Chitosan–Hydroxyapatite Composite Layers Generated in Radio Frequency Magnetron Sputtering Discharge: From Plasma to Structural and Morphological Analysis of Layers, *Polymers*, 12 (12), 3065.
- Efkere, H.İ., Gümrükçü, A.E., Özen, Y., Kınacı, B., Aydın, S.Ş., Ateş, H. and Özçelik, S., 2021, Investigation of the effect of annealing on the structural, morphological and optical properties of RF sputtered WO_3 nanostructure, *Physica B: Condensed Matter*, 622, 413350.
- Ertuğrul, S., 2019, *Reaktif manyetik alan sıçratma sistemi ile üretilen $W_{(1-x)}\text{Mo}_x\text{O}_3$ ince filmlerin karakterizasyonu ve gaz sensörü özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- EuroLab Laboratory Services, 2020, *SEM Analizi SEM-EDS Analizi*, <https://www.laboratuvar.com/testler/malzeme/sem-analizi-sem-eds-analizi/> [Ziyaret Tarihi: 18.08.2022].

- Geçici, B., 2018, *Rf manyetik sıçratma yöntemiyle üretilen bakır oksit, bakır nitrit ve bakır oksinitrit ince filmlerin bazı kristal yapı ve optiksel özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Ghorenevis, Z., Akbarnejad, E., Salar Elahi, A. and Ghorenevis, M., 2016, Application of RF magnetron sputtering for growth of AZO on glass substrate, *Journal of Crystal Growth*, 100 (447), 62-66.
- Grass, R.N. and Stark, W.J., 2005, Flame synthesis of calcium-, strontium-, barium fluoride nanoparticles and sodium chloride, *Chemical Communications*, (13), 1767-1769.
- Guo, S., Arwin, H., Jacobsen, S.N., Järrendahl, K. and Helmersson, U., 1995, A spectroscopic ellipsometry study of cerium dioxide thin films grown on sapphire by rf magnetron sputtering, *Journal of Applied Physics*, 77 (10), 5369-5376.
- Güzelçimen, F., Tanören, B., Çetinkaya, Ç., Dönmez, K.M., Efker, H.İ., Özen, Y., Bingöl, D., Sirkeci, M., Kınacı, B., Ünlü, M.B. and Özçelik, S., 2020, The effect of thickness on surface structure of rf sputtered TiO₂ thin films by XPS, SEM/EDS, AFM and SAM, *Vacuum*, 182, 109766.
- Güzelçimen, F., Karapınar, Y., Parlak, M., Tanören, B. and Ünlü, M. B., 2021, *Determination of Ar/O₂ Gas Flow Rate Dependent Acoustic Impedance Values of Unannealed CZO Thin Films via Scanning Acoustic Microscopy*, INSAC Akademik Developments on Natural and Engineering Science, In: Yıldız, S.A. (ed.) and Ruşen, A. (ed.), Chapter 10, Duvar Kitabevi, Ankara, ISBN: 978-625-7502-17-7, 167-176.
- Han, H., Zhang, Z., Weng, X., Liu, J., Guan, X., Zhang, K. and Li, G., 2013, Development of a fast radiation detector based on barium fluoride scintillation crystal, *Review of Scientific Instruments*, 84 (7), 073503.
- Hendrych, A., Kubinek, R., Zhukov, A.V., 2007, The magnetic force microscopy and its capability for nano-magnetic studies – the short compendium, *Modern research and educational topics in microscopy*, 2, 805-811.
- Jia, Q.X. and Anderson, W.A., 1992a, A new buffer layer for high temperature superconducting thin films, *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics, 273 (1), 95-101.

- Jia, Q.X. and Anderson, W.A., 1992b, Growth and Characterization of Epitaxial BaF₂ on InP, *MRS Online Proceedings Library*, 281.
- Jia, Q.X. and Anderson, W.A., 1994, Epitaxial BaF₂ films on InP (100) deposited by rf magnetron sputtering, *Thin solid films*, 245 (1-2), 60-63.
- Junquera, L.C. and Carneiro, J., 2009, *Temel Histoloji (Text & Atlas)*, Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, ISBN: 9789754206999.
- Kapaklis, V., Pouloupoulos, P., Karoutsos, V., Manouras, T. and Politis, C., 2006, Growth of thin Ag films produced by radio frequency magnetron sputtering, *Thin Solid Films*, 510 (1-2), 138-142.
- Kawamata, K., Shouzu, T. and Mitamura, N., 1998, KMS (keep-molecules sputtering) deposition of optical MgF₂ thin films, *Vacuum*, 51 (4), 559-564.
- Khan. M.K., Wang. Q.Y., Fitzpatrick, M.E., 2016, *Atomic force microscopy (AFM) for materials characterization*, Materials characterization using nondestructive evaluation (NDE) methods, In: Hübschen, G. (ed.), Altpeter, I. (ed.), Tschunucky, R. (ed.), Herrmann, H.-G. (ed.), Chapter 1, Woodhead Publishing, Duxford, UK, ISBN: 978-0-08-100040, 1-13.
- Kırak, A., 2020, *Görünür ve kızılötesi bölge için yansıma önleyici yarıiletken ince film geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Kim, M., Choi, N., Kim, Y.I. and Lee, Y.H., 2018, Characterization of RF sputtered zinc oxide thin films on silicon using scanning acoustic microscopy, *Journal of Electroceramics*, 40 (2), 79-87.
- Kokkokoğlu, M., 2010, *Rf saçırma yöntemiyle üretilen alüminyum nitrit (AlN) ince filmlerin bazı fiziksel özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Kotlikov, E.N., Khonineva, E.V. and Prokashev, V.N., 2004, The problem of reducing optical losses in fluoride films, *Journal of Optical Technology*, 71 (6), 407-410.

- Lemire, C., Lollman, D.B., Mohammad, A.A., Gillet, E. and Aguir, K., 2002, Reactive R.F. magnetron sputtering deposition of WO₃ thin films, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 84 (1), 43-48.
- Liao, C.H., Huang, C.W. and Wu, J.C.S., 2012, Novel dual-layer photoelectrode prepared by RF magnetron sputtering for photocatalytic water splitting, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (16), 11632-11639.
- McGrath, P., 2021, The Effect of RF Sputter Deposition on MgF₂ Thin Films, *Bulletin of the American Physical Society*, 11-13 November 2021 Illinois, 66 (14).
- Mwema, F.M., Oladijo, O.P., Sathiaraj, T. S. and Akinlabi, E. T., 2018, Atomic force microscopy analysis of surface topography of pure thin aluminum films, *Materials Research Express*, 5 (4), 046416.
- Nebi, M., 2013, *Reaktif rf saçtırma yöntemi ile TiN ince filmlerin üretilmesi ve bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Ohring, M., 1992, *The materials science*, Academic Press, A division of Harcourt Brace & Company, San Diego, USA, ISBN: 0-12-524-990-X.
- Optical Solutions, 2020a, *Barium Fluoride (BaF₂)*, <https://www.opticalsolutions.it/en/defence-ir-components-en/baf2-en/barium-fluoride-baf2/>, [Ziyaret Tarihi: 27.05.2022].
- Optical Solutions, 2020b, *Magnesium Fluoride (MgF₂)*, <https://www.opticalsolutions.it/en/defence-ir-components-en/mgf-en/magnesium-fluoride-mgf2/> [Ziyaret Tarihi: 27.05.2022].
- Özmumcu, M., 2011, *Özel bir termiyonik vakum ark (TVA) tekniği kullanılarak organik gözlük camlarının çeşitli kaplamalarının yapılması ve bazı fiziksel özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
- Öztürk, F. and Kaçar, İ., 2012, Magnezyum alaşımları ve kullanım alanlarının incelenmesi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 12-20.
- Parlak, M., 2020, *Tissue imaging with scanning acoustic microscopy and raman spectroscopy*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi.

- Prioli, R., Zanette, S.I., Caride, A.O., Lacerda, M.M. and Freire Jr, F.L., 1999, Atomic force microscopy investigation of the effects of annealing on amorphous carbon nitride films deposited by r.f. magnetron sputtering, *Diamond and related materials*, 8 (6), 993-995.
- Radhika, V. and Annamalai, V., 2013, Methods of Preparation of Anti Reflective MgF₂ Nano Coating on Glass Substrate – A Comparative Survey, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 1 (2), 45-49.
- Rodnyi, P.A., Garibin, E.A., Venevtsev, I.D. and Davydov, Y.I., 2019, The application of barium fluoride luminescence: challenges and prospects, St. Petersburg Polytechnical State University Journal, *Physics and Mathematics*, 12 (1), 9-24.
- Rydz, J., Siskova, A. and Eckstein, A.A., 2019, Microscopic techniques in materials science: Current trends in the area of blends, composites, and hybrid materials, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 9072958.
- Sata, N., Eberman, K., Eberl, K. and Maier, J., 2000, Mesoscopic fast ion conduction in nanometre-scale planar heterostructures, *Nature*, 408 (6815), 946-949.
- Sirghi, L., Nakamura, M., Hatanaka, Y. and Takai, O., 2001, Atomic force microscopy study of the hydrophilicity of TiO₂ thin films obtained by radio frequency magnetron sputtering and plasma enhanced chemical vapor depositions, *Langmuir*, 17 (26), 8199-8203.
- Sirghi, L., Aoki, T. and Hatanaka, Y., 2003, Friction force microscopy study of the hydrophilicity of TiO₂ thin films deposited by radio frequency magnetron sputtering, *Surface Review and Letters*, 10 (02n03), 345-349.
- Sirkeci, M., 2021, *In vitro ortamda yetiştirilen buğdayın mikroyapısal analizlerinin spektroskopik ve mikroskopik yöntemlerle incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Sönmezoğlu, M., Koç, M. and Akın, S., 2012, ince film üretim teknikleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28 (5), 389-401.

- Springholz, G. and Bauer, G., 2013, *IV-VI Semiconductors*, Semiconductor Quantum Structures, In: Klingshirn, C. (ed.), Chapter 9, Springer Berlin Heidelberg, New York, ISBN: 978-3-540-63347-1, 415-561.
- Stan, G.E., Marcov, D.A., Pasuk, I., Miculescu, F., Pina, S., Tulyaganov, D.U. and Ferreira, J.M.F., 2010a, Bioactive glass thin films deposited by magnetron sputtering technique: The role of working pressure, *Applied Surface Science*, 256 (23), 7102-7110.
- Stan, G.E., Pina, S., Tulyaganov, D.U., Ferreira, J.M.F., Pasuk, I. and Morosanu, C.O., 2010b, Biom mineralization capability of adherent bio-glass films prepared by magnetron sputtering, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 21 (4), 1047-1055.
- Sun, J., Shao, J., Yi, K. and Zhang, W., 2014, Effects of substrate temperatures on the characterization of magnesium fluoride thin films in deep-ultraviolet region, *Applied Optics*, 53 (7), 1298-1305.
- Timus, C.A., Medianu, V.R., Medianu, R.V., Georgescu, G. and Vasile, E., 1998, Structure investigations of optical coatings on GaAs substrate, *ROMOPTO'97: Fifth Conference on Optics*, SPIE, 3405, 1132-1136.
- Ulmeanu, M., Serghei, A., Mihailescu, I.N., Budau, P. and Enachescu, M., 2000, C–Ni amorphous multilayers studied by atomic force microscopy, *Applied Surface Science*, 165 (2-3), 109-115.
- Uppala, N., Griffin, J., Vemulapalli, J. and Hambourger, P.D., 2004, Slightly conductive transparent films for space applications— manufacturability and durability, *SVC-47th Annual Technical Conference Proceedings*, 24-29 April 2004 Texas, ISBN: 1591247799, 199-203.
- Vyas, S., 2020, A short review on properties and applications of zinc oxide based thin films and devices, *Johnson Matthey Technol. Rev.*, 64 (20), 202-218.
- Wan, Y., Samundsett, C., Bullock, J., Allen, T., Hettick, M., Yan, D., Zheng, P., Zhang, X., Cui, J., McKeon, J., Javey, A. and Cuevas, A., 2016, Magnesium fluoride electron-selective contacts for crystalline silicon solar cells, *ACS applied materials & interfaces*, 8 (23), 14671-14677.

- Yang, Y.Y., Jin, Y.S. and Luo, S.Y., 1997, SAM study on plasma sprayed ceramic coatings *Surface and Coatings Technology*, 91 (1-2), 95-100.
- Zang, C.H., Liu, Y.C., Mu, R., Zhao, D.X., Ma, J.G., Zhang, J.Y., Shen, D.Z. and Fan, X.W., 2007, Optical properties of ZnO nanocrystals embedded in BaF₂ film fabricated by magnetron sputtering, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 40 (18), 5598.
- Zang, C.H., Su, J.F., Liu, Y.C., Tang, C.J., Fang, S.J., Zhang, D.M. and Zhang, Y.S., 2011, Excitons Emissions and Raman Scattering of ZnO Nanoparticles Embedded in BaF₂ Matrices by Reactive Magnetron Sputtering, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11 (11), 9823-9828.
- Zhang, Y., Tan, T., Liu, Z., Liu, S. and Su, J., 2015, Electronic and optical properties of O-doped MgF₂: First-principles calculations and experiments, *Vacuum*, 120, 50-53.
- Zhao, C., Ma, C., Liu, J., Liu, Z. and Chen, Y., 2020a, Preparation of wide optical spectrum and high antireflection MgF₂ thin film with SF₆ as reactive gas, *Materials Research Express*, 7 (2), 026415.
- Zhao, C., Ma, C., Liu, J., Liu, Z. and Chen, Y., 2020b, Sputtering power on the microstructure and properties of MgF₂ thin films prepared with magnetron sputtering, *Journal of Inorganic Materials*, 35 (9), 1064.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ezgi BARIŞ
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	14.06.2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Atom ve Molekül Fiziği Programı

Makale ve Bildiriler	