

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

Bİ₂O₃ İNCE FİLM BÜYÜTME VE KARAKTERİZASYONU

Nagehan ŞAHİN

Danışman: Doç. Dr. Yunus AKALTUN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2021

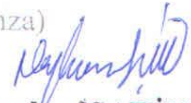
Her Hakkı Saklıdır.

Bilimsel Etięe Uygunluk Sayfası

“Bi₂O₃ İnce Film Büyütme ve Karakterizasyonu” isimli “Yüksek Lisans” tezini tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiğı gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 04/01/2021

(İmza)


Nagehan ŞAHİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Bi₂O₃ İNCE FİLM BÜYÜTME VE KARAKTERİZASYONU

Nagehan ŞAHİN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yunus AKALTUN

Bu tez çalışmasında, reaktif radyo-frekans magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak Bi₂O₃ ince filmler cam, silisyum ve indiyum kalay oksit (ITO) alt taşlar üzerine büyütüldü. Büyütme işlemi için bizmut oksit kaynağı olarak Bi₂O₃ target kullanıldı. Büyütmelerde ilk olarak gücün büyümeye etkisini incelemek için 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde büyütmeler yapıldı. Daha sonra çalışma basıncının büyümeye etkisini incelemek için 8 mTorr - 24 mTorr çalışma basıncı aralığında 4mTorr'luk artışlarla büyütmeler yapıldı. Son olarak O₂ kısmi basıncının büyümeye etkisini incelemek için 8mTorr ve 24mTorr çalışma basınçlarında 15sccm ve 45sccm O₂ kısmi basıncında büyütmeler yapıldı. Büyütülen filmlerin yapısal ve optik özelliklerinin incelenmesi için X-Işını kırınımı (XRD), Enerji Dispersive Spektroskopisi (EDAX), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve soğurma ölçüm tekniği kullanılmıştır. XRD analizlerinde tüm filmlerde (111) yönelimli fcc-Bi₂O₃ ve (222) yönelimli fcc-Bi₂O₃ yapılar saptanmıştır. Büyütme parametrelerinin değişmesiyle yeni tetragonal ve monoklinik yapılar oluşmuştur ve filmlerin XRD piklerinin yönelimi ve şiddeti değişmiştir. SEM analizinde çalışma parametrelerinin değiştirilmesi ile yüzey morfolojisinin değiştiği, yüzeyde farklı yapılar oluştuğu, yüzey homojenliği ve yoğunluğunun değiştiği görülmüştür. Optik analizler sonucunda büyütülen filmlerin 2,02 eV - 2,94 eV aralığında bant genişliğine sahip olduğu ve bant aralığının çalışma basıncının artmasıyla azaldığı saptanmıştır.

Büyütülen filmlerde tavlama etkisinin incelenmesi için filmler 400°C' de atmosfer ortamında tavlannmıştır. Tavlannmış filmlerin XRD analizinde yeni polimorfların oluştuğu ve pik şiddetlerinde artış olduğu saptanmıştır. Optik analizlerde ise filmlerin bant genişliğinin arttığı ve soğurma sonuçlarının iyileştiği görülmüştür.

Deneyisel sonuçlar büyüme gücünün, çalışma basıncının ve alt taşın Bi₂O₃ ince filmlerin yapısal, yüzey ve optik özellikleri üzerinde çok etkili olduğunu göstermiştir.

2021, 80 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Bi₂O₃, İnce film, Reaktif saçtırma

ABSTRACT

Master Thesis

GROWTH AND CHARACTERIZATION OF Bi_2O_3 THIN FILM

Nagehan ŞAHİN

Erzincan Binali Yildirim University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yunus AKALTUN

In this thesis study, Bi_2O_3 thin films were grown under different deposition parameters onto the glass, silicon and indium tin oxide (ITO) by using radio frequency magnetron sputtering technique. Bi_2O_3 target was used as the source of bismuth oxide. Initially growths were done under 40 W, 80 W and 120 W power levels in order to investigate the power difference effect on deposition. Then growths were done between 8-24mTorr (every 4mTorr) working pressure levels in order to investigate the pressure difference effect on deposition. Finally growths were done under 8mTorr and 24mTorr working pressure, 15sccm and 45 sccm partial O_2 pressure levels in order to investigate the partial O_2 pressure difference effect on deposition. X-Ray Diffractometer (XRD), Energy Dispersive Spectroscopy (EDAX), Scanning Electron Microscope (SEM) and absorption measurement technique were used for investigation of structural, morphological and optic properties. XRD analyzes have shown that all films have had growth direction along the (111) fcc- Bi_2O_3 and (222) fcc- Bi_2O_3 structures. Monoclinic and tetragonal polymorphs were formed and the directions and intensity of XRD peaks were changed with growth parameters difference. SEM analyzes have shown that the surface morphology, homogeneity and intensity were changed and different structures were formed on surfaces with growth parameters difference. Optical analyzes have shown that the films have had 2,02 eV - 2,94 eV band gap and the band gap have decreased with the increase of working pressure.

Films were annealed at 400°C atmosphere environment in order to investigate the annealing effect. XRD analysis of annealed films have shown that new polymorphs were formed and peak intensity were increased. Optical analyzes have shown that the band gaps of films were increased and the absorption results were improved.

The experimental studies have shown that growth power, working pressure and substrate are very effective on the structural, optical and morphological properties of Bi_2O_3 thin films.

2021, 80 Pages

Keywords: Bi_2O_3 , Reactive sputter, Thin film

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nanoaygıt Üretim ve Karakterizasyonu Laboratuvarında yapılmıştır.

Çalışmalarımın her safhasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım çok değerli hocalarım Sayın Doç. Dr Yunus AKALTUN ve Sayın Prof. Dr. Emre GÜR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmalarının ve ölçümlerin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve birikimlerinden faydalandığım çok değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sevda SARITAŞ'a teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim ve laboratuar çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli babam Murat ŞAHİN'e ve kıymetli annem Nilgün ŞAHİN'e teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Nagehan ŞAHİN

Ocak, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	6
2.1. Bizmut ve Bizmut Oksit.....	6
2.2. Alt Taşlar.....	6
2.3. Saçtırma Yöntemi.....	7
2.3.1. DC magnetron saçtırma.....	8
2.3.2. RF magnetron saçtırma	8
2.4. Deneysel Ölçüm Teknikleri.....	11
2.4.1. X-ray difraktometresi (XRD).....	11
2.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	12
2.4.3. Soğurma ölçüm tekniği	14
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	16
3.1. Farklı Güç Seviyelerinde Büyütülen Bi ₂ O ₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi.....	16
3.1.1. Farklı güç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin XRD sonuçları	16
3.1.2. Farklı güç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin SEM sonuçları	21
3.1.3. Farklı güç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları .	26
3.2. Farklı Basınç Seviyelerinde Büyütülen Bi ₂ O ₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi...	31
3.2.1. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin XRD sonuçları	31
3.2.2. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin SEM sonuçları	36
3.2.3. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları.....	44
3.2.4. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin soğurma sonuçları.....	49
3.3. Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi	51

3.3.1.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin XRD sonuçları.....	52
3.3.2.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin SEM sonuçları.....	57
3.3.3.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları.....	61
3.3.4.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin soğurma sonuçları.....	64
3.4. Farklı O ₂ Kısmi Basıncı Seviyelerinde Büyütülen Tavlanmış Bi ₂ O ₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi	65
3.4.1.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavlanmış Bi ₂ O ₃ ince filmlerin XRD sonuçları	66
3.4.2.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavlanmış Bi ₂ O ₃ ince filmlerin SEM sonuçları	69
3.4.3.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavlanmış Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları.....	72
3.4.4.Farklı O ₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavlanmış Bi ₂ O ₃ ince filmlerin soğurma sonuçları.....	73
4. SONUÇ	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bizmut oksit target görüntüsü.....	7
Şekil 2.2. DC saçtırma yönteminin şematik gösterimi	9
Şekil 2.3. RF magnetron saçtırma yönteminin şematik gösterimi	9
Şekil 2.4. RF magnetron reaktif saçtırma cihazı.....	10
Şekil 2.5. Bragg yasası: $2d \sin \theta = n\lambda$	11
Şekil 2.6. XRD cihaz	12
Şekil 2.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) şematik gösterimi	13
Şekil 2.8. SEM cihazı	14
Şekil 2.9. Soğurma ölçüm sisteminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 3.1. 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni	17
Şekil 3.2. 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni.....	19
Şekil 3.3. 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni	20
Şekil 3.4. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü.....	21
Şekil 3.5. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü.....	23
Şekil 3.6. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü.....	24
Şekil 3.7. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları	26
Şekil 3.8. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları	28
Şekil 3.9. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları	29
Şekil 3.10. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni.....	32

Şekil 3.11. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni.....	34
Şekil 3.12. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni.....	35
Şekil 3.13. (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 200.000 büyütmede SEM görüntüleri	36
Şekil 3.14. 8 (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmede SEM görüntüleri	39
Şekil 3.15. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 150.000 büyütmede SEM görüntüleri	41
Şekil 3.16. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları	44
Şekil 3.17. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları	46
Şekil 3.18. 8 (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları	47
Şekil 3.19. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr, 24 mTorr basınçta cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin dalga boyuna karşı soğurma grafiği	50
Şekil 3.20. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr, 24 mTorr basınçta cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin enerji grafiği	50
Şekil 3.21. Çalışma basıncına bağlı bant aralığı değişimi grafiği.....	51
Şekil 3.22. Cam alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseni.....	54

Şekil 3.23. Silisyum alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1mTorr ve 24mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin XRD kırınım deseni.....	55
Şekil 3.24. İTO alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin XRD kırınım deseni.....	56
Şekil 3.25. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 250.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	57
Şekil 3.26. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a)15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 250.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	58
Şekil 3.27. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 200.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	59
Şekil 3.28. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla 15 sccm ve 45 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 200.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	60
Şekil 3.29. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları	61
Şekil 3.30. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları	62
Şekil 3.31. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları	62
Şekil 3.32 Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçlar	63
Şekil 3.33. 15 sccm ve 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında cam alt taş üzerine büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin dalga boyuna karşı soğurma grafikleri	64

Şekil 3.34. 15 sccm ve 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1mTorr ve 24m Torr çalışma basıncında cam alt taş üzerine büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin enerji grafikleri	65
Şekil 3.35. Cam alt taş üzerine 15 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin tavlانmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni	67
Şekil 3.36. Cam alt taş üzerine 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin tavlانmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni	68
Şekil 3.37. Cam alt taş üzerine 15 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin tavlانmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni	68
Şekil 3.38. Cam alt taş üzerine 45 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin tavlانmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni	69
Şekil 3.39. Cam alt taş üzerine 15 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	70
Şekil 3.40. Cam alt taş üzerine 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	70
Şekil 3.41. Cam alt taş üzerine 15 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	71
Şekil 3.42. Cam alt taş üzerine 45 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü.....	71
Şekil 3.43. Cam alt taş üzerine 15 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları	72
Şekil 3.44. Cam alt taş üzerine 45 sccm O ₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları	72
Şekil 3.45. Cam alt taş üzerine 15 sccm O ₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlانanan Bi ₂ O ₃ ince filmlerin EDAX sonuçları	73

- Şekil 3.46.** Cam alt taş üzerine 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°’de tavlanan Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları73
- Şekil 3.47.** Cam alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O₂ akış değerinde 8 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen tavllanmış Bi₂O₃ ince filmlerin soğurma grafiği74
- Şekil 3.48.** Cam alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O₂ akış değerinde 8 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen tavllanmış Bi₂O₃ ince filmlerin enerji grafiği75
- Şekil 3.49.** O₂ kısmi basıncına bağlı bant aralığı değişimi grafiği.....75



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Farklı güç seviyelerinde büyütülen filmlerin büyütme parametreleri	16
Tablo 3.2. Farklı basınç değerlerinde büyütülen filmlerin büyütme parametreleri.	31
Tablo 3.3. Farklı O ₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütülen Bi ₂ O ₃ ince filmlerin büyütme parametreleri.	51
Tablo 3.4. Farklı O ₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütülen filmlerin tavlama öncesi ve tavlama sonrası görüntüleri.....	66



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

α	Monoklinik faz
δ	Yüzey merkezli kübik faz
γ	İç merkezli kübik faz
β	Tetragonal faz
Σ	Ortorombik faz
ϖ	Triklinik faz
λ	Dalga boyu
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
nm	nanometre
W	Watt
Ar	Argon Gazı
O_2	Oksijen Gazı
Si	Silisyum
θ	X-Işını Demeti Düzleme Gelme Açısı

Kısaltmalar

ALD	Atomik Katman Biriktirme
BCC	İç Merkezli Kübik
Bi_2O_3	Bizmut Oksit
Bi_2S_3	Bizmut Sülfür
Bi_2WO_6	Bizmut Tungsten Oksit
CBD	Kimya Banyosu Biriktirme
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DC	Doğru Akım
EDAX	Enerji Dağılımlı X-Işınları
eV	Elektron Volt
FCC	Yüzey Merkezli Kübik
İTO	İndiyum Kalay Oksit
PLD	Darbeli Lazer Biriktirme
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
RF	Radyo Frekansı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
TiO_2	Titanyum Oksit

UV
XRD

Ultra Viyole
X-Ray Difraktometresi



1. GİRİŞ

Günümüzde teknoloji, insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli gelişmektedir. Bu gelişmelerden biri de boyutların küçültülmesiyle başlayan ve malzemelerin özelliklerini iyileştirmeye yönelik olan nanoteknolojidir. Mikro Teknolojiden daha küçük teknoloji olarak da adlandırılan nanoteknoloji, atomik ölçekte gerçekleştirilen işleme teknolojisidir. Son yıllarda nanotel, nanoparçacık ve nanotüp şeklinde üretilen farklı kimyasal bileşimindeki nanoyapılara büyük önem verilmektedir. 20. yüzyıl nanobilim ve nanoteknoloji önemli ölçüde yol katetmesi, nanobilim ve nano malzemenin her alanda tanınması ile sonlanmıştır. Bu nedenle 21.Yüzyılda nanobilim ve nanoteknolojinin stratejik pozisyonu önemli bir hal almıştır.

Nano malzemeler; fabrikasyon, enerji, bilgi teknolojileri, çevre, sağlık, alanlarında önemli bir destekleyici rol oynamaktadır. Nanobilim ve nanoteknolojinin getirdiği gelişmeler; nanoelektronik, nano ve mikrofabrikasyon, nanobiyoteknoloji, nanotıp ve teşhis teknikleri, nano çevre gözlem ve davranış teknikleri, nanoyapılar vb olarak çeşitlendirilebilir. Yoğun nano malzeme ve nano yapı çalışmaları; yeni prensipler, yeni teknikler ve yeni metotlar üretmek için önemli bir kaynaktır (Zhank vd., 2007).

Eşsiz özelliklere sahip nanomalzemelere gereksinim duyan yüksek teknoloji alanı nanomalzeme gelişimini yeni alanlara çekmek için önemli bir motivasyon kaynağıdır. Bilgi teknolojilerinde, ultra mikroçip üretiminde, yüksek yoğunluklu depolamada, transistörlerde, sensörlerde nano boyutta üretime geçilmesi eşsiz özelliklere sahip nano malzeme ve nano yapı gelişimine olan ihtiyacı elektronik alanında da önemli ölçüde artırmıştır.

Nispeten düşük sıcaklıklarda nano yapılı metal oksitlerin geliştirilmesi ilgi çekmiştir ve özellikle ışık yayıcılar, spin fonksiyonel cihazları, gaz sensörleri, transparan elektronikler vb içeren elektronik cihazların üretimi ve bu tür cihazların fiziğini anlamak için nano yapılı metal oksitler geliştirilmiştir (Bahande vd., 2011).

İnce film teknolojisi mikro ve nano yapılı malzeme endüstrisinin temelini oluşturmaktadır. Bilimsel ve teknolojik araştırmalarda önemli bir yeri olan ince filmler, çeşitli üretim teknikleri ile malzemelerin atom ya da moleküllerinin, bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan yapılardır. İnce filmler için kalınlık sınırı on nanometre ile birkaç mikrometre arasındadır. İnce filmler, optoelektronik,

fotonik ve manyetik cihazların teknolojik gelişiminde temel unsurlardan biridir. Malzemeler ince film kaplandığında, çok küçük hacimlerde çok yoğun madde bulunması sağlamasıyla malzemeler önemli derecede farklılık gösterir.

İnce film biriktirme ve fabrikasyon teknikleri iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) (Guo vd., 2009). Metot seçiminde fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikler önemlidir. PVD yöntemi, CVD yöntemine göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilmektedir. Böylece PVD işlemlerindeki altyapı özelliklerini olumsuz yönde etkileyen yüksek sıcaklık etkisi ortadan kaldırılmış olur. Biriktirme işleminde optimum koşulların sağlanması için her adım ve her reaksiyon kolaylıkla takip edilebilmelidir. Yapı ve özellik ilişkileri, bu tür uygulamaların temel özelliklerindendir ve ince film teknolojilerinin temelidir (Chopra vd., 2004).

Bizmut oksit (Bi_2O_3) ince filmler kristal yapısına bağlı olarak geniş optik bant aralığına, yüksek kırılma indisine, dielektrik geçirgenliğe ve iyi fotoiletkenlik cevabına sahip eşsiz seramik malzemelerdir. Bu ilgi çekici özellikleri Bi_2O_3 ince filmleri, optik kaplama Fan vd. (2006), elektrokromik Shimanoe (1998), fotokatalitik Sirota vd. (2012) yakıt hücreleri Gui vd.(2016), gaz sensörleri Bahande vd. (2011), gibi geniş aralıklı uygulamalar için uygun hale getirmiştir.

Bi_2O_3 kristal yapılarının analizi için birçok araştırma yapılmış ve kristal fazlar bu çalışmalar sayesinde belirlenmiş ve bu çalışmalar sonucu Bi_2O_3 'in fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bu kristal yapılarına bağlı olarak çok fazla değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Bi_2O_3 polimorfları araştırmasının bir parçası olan Sillén (1939) 1939'da ilk kez monoklinik $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ kristal yapısını tanımladı. Patterson analizi ile metal atomlarının pozisyonunu belirledi ve yapı üzerinde daha doğru bilgi sahibi olmak için özellikle bizmut atomları çevresindeki oksijen atomlarının pozisyonlarını ve koordinatlarını inceledi (Sillén(1939); Malmros(1970)).

Daha sonraları Bi_2O_3 polimorfları üzerine birçok araştırma yapıldı ve Levin ve Roth (1994) ilk kez 1964'de yaptıkları çalışmada Bi_2O_3 'in ikisi sabit ve ikisi yarı sabit olmak üzere dört adet polimorfu olduğunu, monoklinik α fazının oda sıcaklığında sabit faz iken 729°C 'de 824°C 'ye kadar sabit olan fcc teta fazına dönüştüğünü, beta fazının 650°C 'de ve bcc gama fazının 639°C 'da oluştuğunu bildirdi (Ernerst vd.,1964). Daha

sonraki çalışmalarda ise bu fazlara ait elektriksel özellikleri incelendi ve β, γ ve δ iletkenliklerinin çoğunlukla iyonik olduğunu ve oksit iyonlarının mobil taşıyıcı olduğunu bildirildi. α fazında ise 400°C ile 729°C arasında elektronik iletken olduğu ve boşlukların mobil taşıyıcı olduğu bildirildi (Harwing ve Gerards, 1978).

Bi_2O_3 polimorfları üzerine yapılan farklı çalışmalar sonucu yeni kristal fazlar keşfedildi ve Bi_2O_3 'in günümüzde bilinen altı adet kristal fazı bulunmaktadır. Bunlar: monoklinik $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$, tetragonal $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, iç merkezli kübik (bcc) $\gamma\text{-Bi}_2\text{O}_3$, yüzey merkezli kübik (fcc) $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$, triklinik $\varpi\text{-Bi}_2\text{O}_3$ ve ortorombik $\varepsilon\text{-Bi}_2\text{O}_3$ 'dır. $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ oda sıcaklığı ile 730°C arasında sabit bir fazdır ve 730°C'den yüksek sıcaklıklarda $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazına dönüşür ve 825°C'ye kadar bu fazda kalır. $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ ve $\gamma\text{-Bi}_2\text{O}_3$ $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ soğurken oluşan yarı sabit fazlardır. 650°C'nin altında bu fazlar $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazına dönüşür. Bi_2O_3 ince filmlerin bazı fazları sabit olmaması ve sıcaklık değişiminden etkilenmesi bu malzemeye ait fiziksel özelliklerin değişmesine neden olmuştur. İstenilen özellikte Bi_2O_3 fazı üretmek için ise birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda Bi_2O_3 kristal fazlarını sabit tutmak ya da istenilen faza dönüştürmek için farklı yöntemlerle ve farklı materyallerle katkılama işlemleri yapılmıştır. Vila vd. (2012) yaptıkları çalışmada lazer ışınlama yöntemini kullanarak $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazını $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazına dönüştürmeyi başarmışlardır.

Bi_2O_3 'in her bir polimorfu farklı bir kristal yapı, çeşitli elektriksel, optik ve mekanik özellik gösterir. Bunlardan ikisi sabit faz olan; düşük sıcaklıklarda üretilen monoklinik $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazı ve yüksek sıcaklıklarda üretilen yüzey merkezli kübik (fcc) $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazı ve diğer yarı sabit olan üçü; tetragonal $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazı, iç merkezli kübik (bcc) $\gamma\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazı ve triklinik $\varpi\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazıdır. Bunlar arasında $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazının kristal yapısı içinde birçok oksijen boşluğu bulundurması sebebi ile yüksek iyon iletkenliğine sahip olması çok fazla ilgi çekmiştir. Ancak Bi_2O_3 'in sadece 730°C ile 825°C arasında bu fazda sabit kalabilmesi araştırmacıları malzemeyi bu fazda tutabilmek için yeni çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir.

Daha düşük sıcaklıklarda sabit bir $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ elde edebilmek için diğer metal oksitler ile katkılama işlemleri yapılmıştır. Gomez ve Rodil (2017) yaptıkları çalışmada termal yapısal sabitliği artırmak ve elektriksel özellikleri iyileştirmek için $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ 'e W, Ta ve Al katkılayarak $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ fazını oluşturdular. Empedans analizleri iletkenliğin çoğunlukla nano yapılı ince filmlerin tanecik sınırları boyunca yerleştirilmiş iyon iletkenliğinden

meydana geldiğini göstermiştir. Bu yerleştirilmiş tanecik sınırları ise katkılanan metallerle artırılmıştır. Bi_2O_3 'ün çok geniş optik özelliklere sahip olması bu malzemeyi fotokatalitik uygulamalarda ilgi çekici hale getirmiştir.

Bi_2O_3 'ün diğer özelliklerinde olduğu gibi optik özellikleri de fazlarına göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle birçok çalışmada Bi_2O_3 'e farklı metaller katkılanarak fotokatalitik etkinliği artırılmıştır. Shing ve Sharma (2018) $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ 'e Ni katkılایarak ışık emilimi kapasitesinde ve geliştirilmiş ışınla üretilmiş elektron alanında iyileştirme sağlamışlardır. W katkılı Bi_2O_3 malzemeler ilgi çekici fiziksel özellikler göstermektedirler. Shi vd. (2000) ve Fu vd. (2005) farklı yöntemlerle nano boyutlu Bi_2WO_6 sentezlemiş ve özelliklerini incelemişlerdir. Zhank vd. (2019) yaptığı çalışmada eğik açılı sıçratma yöntemi kullanılarak tungsten katkılı Bi_2O_3 üretilip 500 °C'de tavlınarak Bi_2WO_6 'a dönüştürüldü. Bi_2O_3 'e W katkılamak görünür aralıkta absorpsiyonu artırmıştır ve LED görünür ışık ışınlınması altında foto katalitik etkinliği önemli ölçüde artmıştır. Malathy vd. (2014) Bi_2O_3 nano parçacıklara geçiş metali katkıladi ve fotokatalitik özelliğın gelişimini inceledi. Nikel (Ni) ve çinko (Zn) katkılanan Bi_2O_3 ve saf Bi_2O_3 karşılaştırıldığında geçiş metali katkılanmasıyla kristal yapısının değişmediğı ancak XRD kırınım desenindeki pik yoğunluğunun geçiş metali katkılanmasıyla arttığı ve Ni ve Zn iyonlarının varlığıyla görünür bölgede absorpsiyonun önemli ölçüde değiştiğı görülmüştür. Ni katkılamak fotokatalitik aktiviteyi artıran ışınla üretilmiş elektron ve hole sayısını artırdığı için sonuçlar Ni katkılanmayla yüksek fotokatalitik aktivite göstermiştir. Yakout (2010) Bi_2O_3 ' e Gd, Nb, V ve Mn katkılایarak, Li ve Yan (2009) CeO_2 katkılایarak, Zhu vd. (2011) Ag katkılایarak, Anandan vd. (2010) Au katkılایarak Bi_2O_3 'ün foto katalitik özelliğini geliştirmeye çalışmışlardır.

Malzemelerin foto aktivitesini geliştirmek için yarı iletken katkılama en çok kullanılan metotlardan biridir. TiO_2 yüksek fotokatalitik aktivitesi, yüksek termal stabilitesi, toksik olmayışı ve mükemmel indirgeme kapasitesi sayesinde en çok kullanılan fotokatalisttir. Ancak geniş bir band aralığına sahip olması nedeniyle sadece UV ışın yayılımı sayesinde aktive edilir. İki yarı iletkenin farklı valans ve iletkenlik bandına sahip olmaları nedeniyle taşıyıcı rekombinasyonu önemli ölçüde engellenir ve böylece $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ birleşiminin fotokatalitik aktivitesi önemli ölçüde geliştirilmiştir (Li vd., 2020).

Bi_2O_3 ince filmlerin yapısal ve morfolojik özelliklerinin kaplama veya büyütme yapılan yöntem ve metoda bağlı olarak da çok fazla farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Üretilmek istenen bizmut oksit malzemenin kullanım alanına göre ve istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre metot ve target seçimi yapılmaktadır. Sol-jel Solis-Casados vd. (2016), atomik katman biriktirme (ALD) Li vd. (2020), darbeli lazer biriktirme (PLD) Leontie vd. (2005), kimyasal banyosu biriktirme (CBD) Gujar vd. (2005) gibi farklı biriktirme yöntemleri ile bizmut oksit sentezlenmiş ya da büyütülmüştür.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan sıçratma yöntemi ile diğer yöntemlerle elde edilemeyen saflıkta ve yoğunlukta ince film kaplama yapılabilmektedir. Parametre kontrolünün kolay olması ve yüksek kalitede kaplama yapılabilmesi sebebiyle sıçratma yöntemi ince film kaplamada fazlaca tercih edilen bir yöntemdir. Bazen bizmut target Sitora vd. (2012; Meng vd., 2016) bazen ise bizmut oksit target Medina vd. (2016) kullanılarak radyo frekansı Rf-magnetron sıçratma ve dc-magnetron sıçratma Rasheed ve Barille (2017) yöntemleri kullanılarak bizmut oksit büyütme yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında da RF magnetron sıçratma yöntemi kullanılarak Bi_2O_3 ince filmler cam, silisyum ve indiyum kalay oksit (İTO) olmak üzere üç farklı alt taş üzerine üç farklı seride bizmut oksit target kullanılarak büyütüldü. İlk seride sıcaklık 300°C 'de ve basınç 8 mTorr'da sabit tutularak argon gazı altında farklı güç seviyelerinde büyütme yapıldı. İkinci seride sıcaklık 300°C 'de ve güç 40 W seviyesinde sabit tutularak farklı basınç seviyelerinde argon gazı altında büyütme yapıldı. Üçüncü seride sıcaklık 300°C 'de, güç 40 W seviyesinde farklı basınç ve Ar:O gazı oranında büyütme gerçekleştirildi. Büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri ve parametre değişimine bağlı olarak meydana gelen değişimler incelendi.

Bu tez üç ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünden sonraki materyal ve yöntem bölümünde çalışmada kullanılan Rf-magnetron sıçratma yöntemi ve çalışmada kullanılan diğer ekipman ve malzemelere ait bilgiler verilmiştir. Araştırma bulguları bölümünde yapısal, morfolojik ve optik incelemeler sonucu elde edilen bulgular verilmiştir. Sonuç bölümünde bulgular değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

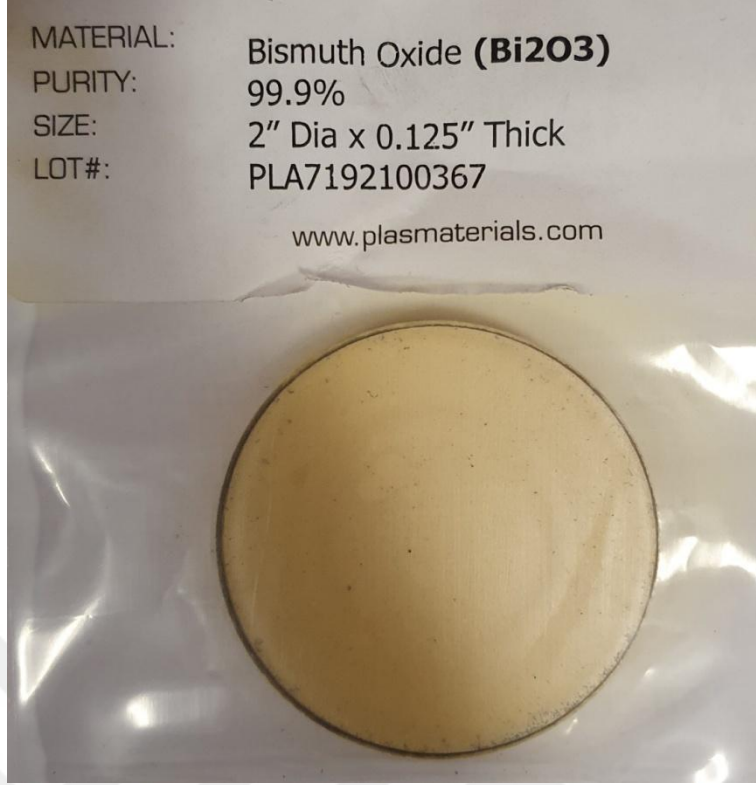
2.1. Bizmut ve Bizmut Oksit

Bizmut, sembolü Bi olan ve atom numarası 83 olan kimyasal bir elementtir. 5A grubunda yer alan bizmut, metaller içerisinde en güç mıknatıslanan elementtir ve ısı iletkenliği çok düşüktür. Kristal yapısı sarmal ve merdiven basamaklı şeklinde olması sebebiyle dış sınırlarda büyüme oranı içi sınırlarda büyüme oranından fazladır. Bizmut kristalinin yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kalınlığındaki farklılıklar, farklı ışık dalga boylarının yansımayı engellemesine ve yüzeyde gökkuşağı renkleri görünmesini sağlamaktadır. Bir alt taş üzerine biriktirilen bizmut yarı iletken özellik gösterir.

Doğada genelde bileşikleri olan Bi_2O_3 (bizmut oksit) ve Bi_2S_3 (bizmut sülfür) halinde ya da kurşun, kalay, bakır cevherleri ile bir arada bulunur. Bi_2O_3 bizmutun en önemli bileşenlerinden birisidir. Kristal yapısına bağlı olarak eşsiz özelliklere sahip olabilen Bi_2O_3 son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmektedir. $\alpha\text{-Bi}_2\text{O}_3$ oda sıcaklığında taşıyıcının pozitif boşluklar olduğu p-tipi elektriksel iletkenlik gösterir ve $550\text{-}650^\circ\text{C}$ 'de oksijenin kısmi basıncına bağlı olarak, taşıyıcının elektronlar olduğu n-tipi elektriksel iletkenliğe dönüşür. β , γ ve δ fazlarında oksijen iyonlarının ana taşıyıcı olması nedeniyle iletkenlik çoğunlukla iyoniktir. $\delta\text{-Bi}_2\text{O}_3$ birim hücredeki sekiz oksijenden iki tanesinin boş olması sebebiyle yapı kusurlu bir florit tipindedir. Bi-O bağları kovalent bağlıdır ve iyonik bağlardan daha zayıftır. Bu sayede oksijen iyonları boşluklara daha rahat atlaması yüksek iletkenliğe sebep olur.

2.2. Alt Taşlar

Alt taşlar üzerine kaplama ya da biriktirmenin yapıldığı temel malzemelerdir. Bu tez çalışmasında farklı alt taşların filmin büyümesine etkisini incelemek için cam, silisyum ve indiyum kalay oksit (İTO) olmak üzere üç farklı alt taş kullanıldı. Alt taşlar bazı temizleme işlemlerinden geçirildi. Temizleme işleminde öncelikle alt taşlar deterjanlı bol su ile yıkandı, ultrasonik cihazda bekletildi ve beşe bir hidrojen peroksit (H_2O_2)-sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisinde 2 saat bekletildi. Daha sonra deiyonize suyla yıkanarak ultrasonik cihazda 15 dk bekletildi. Son olarak alt taşlar azot gazı ile kurutularak büyütmeye hazır hale getirildi.



Şekil 2.1. Bizmut oksit target görüntüsü

Bu tez çalışmasında %99,9 saflıkta, 2 inch çapında ve 0,125 inch kalınlığında Şekil 2.1’ de gösterilen Bi_2O_3 metali hedef olarak kullanılmıştır.

2.3. Saçtırma Yöntemi

Saçtırma biriktirme; bir buhar biriktirme yöntemi (PVD) olan saçtırma ile ince film büyütme metodudur. Saçtırma yöntemi genel olarak çeşitli metal, yarıiletken, yalıtkan vb gibi malzemeleri hazırlamada kullanılır ve basit yapılı, kolay kontrol edilebilir, büyük kaplama alanına sahip, yüzeye güçlü tutunmayı sağlayan, çalışma hızı yüksek, düşük sıcaklıklarda yüksek verim elde edilebilen ve yüksek kalitede film üretilebilen bir yöntemdir. Anot ve katottan oluşan iki kutuplu püskürtmede hedef yüzeyde kapalı bir manyetik alan oluşturulur ve ikincil elektron, iyon yoğunluğu ve enerjisi artırılan hedefin yüzeyinde oluşan elektromanyetik alan sayesinde hedef yüzeydeki belirli bir alana bağlanır ve yüzeyden yüksek yoğunluklu saçtırma gerçekleşir. Saçtırılan atomlar ise alt taşlar üzerine tutunur ve yüzeyde birikirler. İyon yoğunluğu iyonlaşmış argon atomlarından oluşur ve hedef yüzeye atom ve iyonların etkisiyle gelen enerji yüklü parçacıklar enerjilerini hedef yüzeyine aktararak yüzeyden parçacık koparılmasını sağlar.

Asal gazlar aktif olmayıp, herhangi bir kimyasal tepkimeye girmemeleri sebebiyle magnetron saçtırma yönteminde koparma işlemi için kullanılır. Saf halde en kolay bulunabilen gaz olan argon gazı (Ar) kopartma işlemi için idealdir. Kopartma işlemi sırasında parçacıkların elektrik veya manyetik alan altında kolayca hareket edebilmesi açısından argon gazı iyonlaştırılarak Ar^+ iyonları ile hedef malzeme bombardıman edilir.

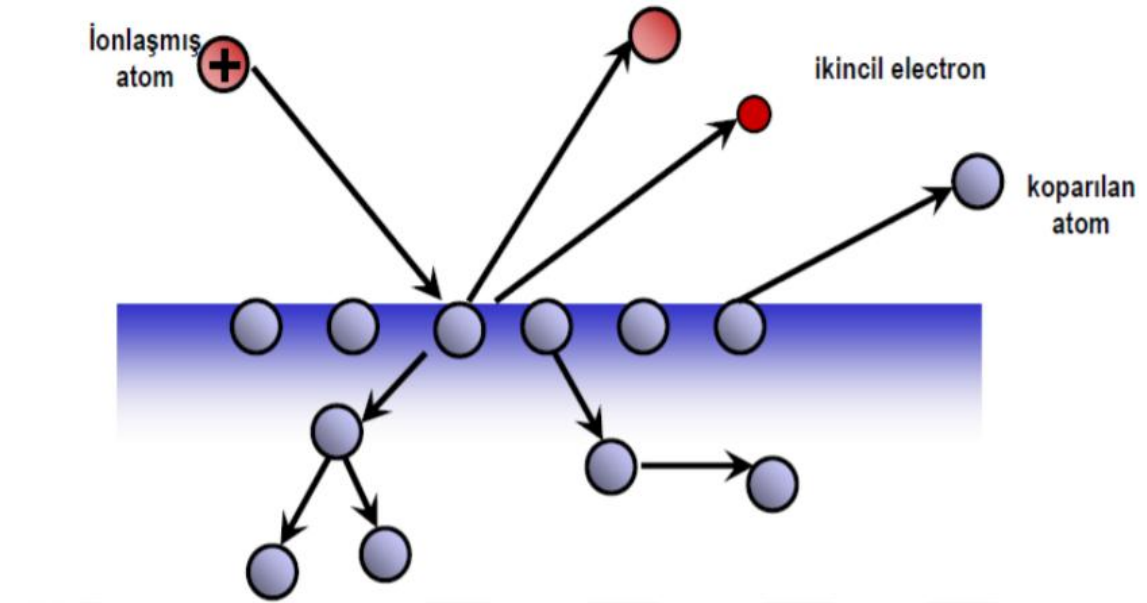
Saçtırma ile büyütmeye doğru akım (DC) magnetron saçtırma ve radyo frekansı (RF) magnetron saçtırma olmak üzere iki temel saçtırma metodu yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.1. DC magnetron saçtırma

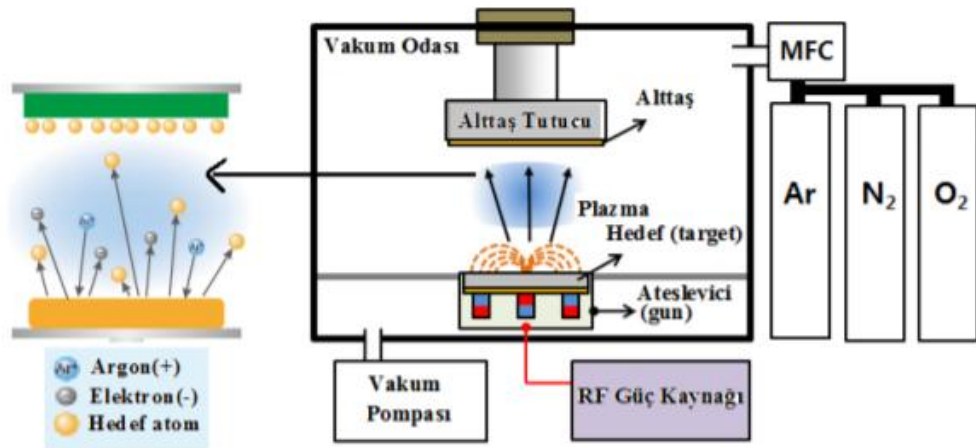
DC magnetron saçtırma yönteminde hedef ve alt taş malzemelerin bulunduğu yerler anot ve katot olarak ayarlanır. Çoğunlukla Ar gazı ile plazma oluşturularak doğru akım verilir ve bir elektrik alan oluşturulur. Elektrik alan içinde bulunan elektronlar Ar atomlarını Ar^+ iyonlarına dönüştürür ve ortamda ikincil elektronlar oluşur. Oluşan ikincil elektronlar elektrik alan sayesinde ivmelenerek katot olan hedef malzemeye çarpar ve enerjisini hedef malzemeye verirken yüzeyden parçacık koparır ve kopan parçacıklar alt taşlar üzerinde birikir. Eğer hedef malzeme yalıtkan ise ikincil elektronlar hedef yüzeyinde birikir ve yüzeyde bir yük yoğunluğu meydana gelir. Bunun sonucunda saçtırma işlemi gerçekleştirilemez. Bu durumu engellemek için hedef malzeme yalıtkan ise alternatif akım (AC) kullanılır ve böylece hedefin kutuplanması değiştirilerek elektron ve iyonlar sıralı olarak bombardıman edilir. Şekil 2.2’de DC püskürtmenin şematik gösterimi verilmiştir.

2.3.2. RF magnetron saçtırma

RF magnetron saçtırma yönteminde radyo frekansı (13.56 MHz) güç verilen elektrot, elektronlar ve iyonlar arasındaki mobilite farkından dolayı negatif yüklü olur ve böylece daha fazla pozitif yüklü iyonlar elektrodu bombardıman eder. Yüklü parçacıklar hedef kaynağına yerleştirilen mıknatısların oluşturduğu elektromanyetik alan ile yönlendirilirler. Mıknatıslar elektronların hızlanmasını sağlayarak daha fazla çarpışmaya ve iyon artışına ve bunun sonucunda daha güçlü plazma oluşumuna sebep olur.



Şekil 2.2. DC saçırma yönteminin şematik gösterimi



Şekil 2.3. RF magnetron saçırma yönteminin şematik gösterimi

RF magnetron saçırma metodu yüksek vakum altında hedef malzemenin inert gaz sayesinde bombardıman edilmesi sonucu hedef malzeme yüzeyden kopan atomların veya moleküllerin alt taş üzerine tutunması işlemidir. Şekil 2.3 'de görüldüğü gibi hedef malzeme Ar^+ iyonlarıyla bombardıman edilerek ince filmin alt taş üzerine tutunması sağlanmaktadır (Merhan, 2018). Bu yöntem ile hem iletken hem de yalıtkan malzeme hedef olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada kullanılan Reaktif Saçırma Metodu uygun kalitelere sahip olan ince filmlerin elde edilmesinde önemli bir metottur. Genellikle katı bir malzemenin pozitif asal gaz iyonlarıyla bombardıman edilmesi ince film üretmek için kullanılan en eski

vakum işlemidir. Büyütülen filmlere kirlilik bulaşmaması için vakum ortamına ihtiyaç vardır. Kullanılan cihazdaki vakum ortamı mekanik ve turbo pompa ile sağlanmaktadır.

Deneyisel çalışmalar Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nano Aygıt Üretim ve Karakterizasyon Laboratuvarı bünyesinde kurulmuş sınıf 1000 temiz oda şartlarında ve RF magnetron reaktif saçtırma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Büyütmelerde kullanılan RF magnetron reaktif saçtırma cihazı Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4. RF magnetron reaktif saçtırma cihazı

Kullanılan RF magnetron reaktif saçtırma cihazının genel görüntüsü Şekil 2.4’de görülmektedir. Bu malzeme %99,995 saflıkta, 2 inç çapında ve 0,125 inç kalınlığındadır.

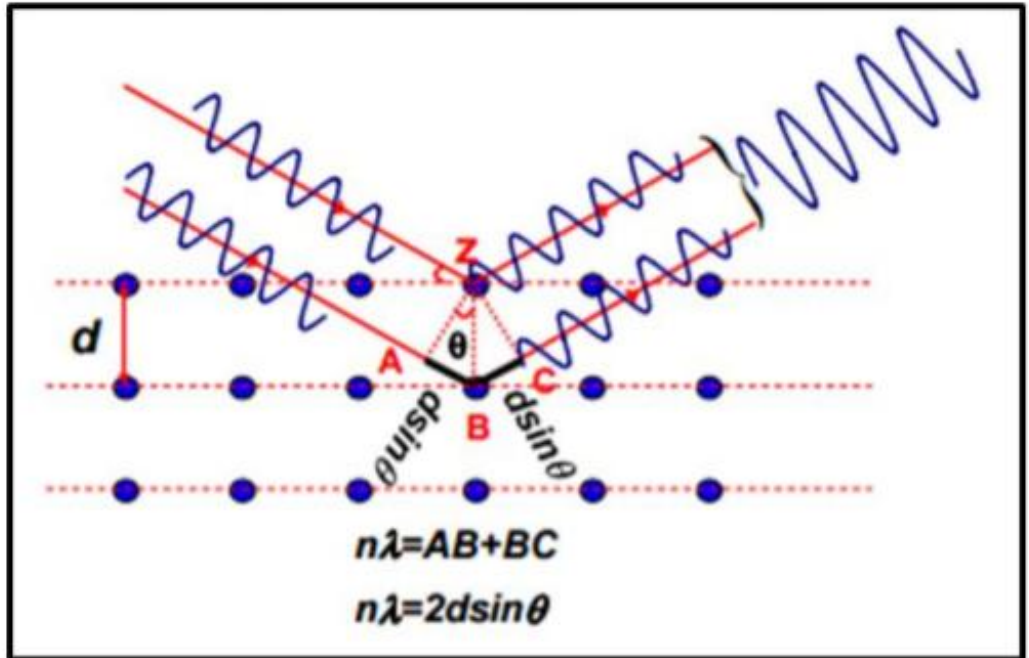
2.4. Deneyel Ölçüm Teknikleri

2.4.1. X-ray difraktometresi (XRD)

X-ışını kırınımı malzemelerin atomik ve moleküler yapısını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Malzemeler periyodik olarak tekrarlanan atomların bir düzen içinde meydana getirdiği kristal yapılardan meydana gelir. X-ışını kırınımı tekniği ile kristal yapısı, tanecik boyutu ve yönelimi, kusurlar ve fazlar ile ilgili bilgi elde edilir.

X-ışını kırınımı yöntemi genel bir tanımla gönderilen X-ışınıyla kırılma ve dağılma verilerinin toplanmasıdır. Malzemenin her bir kristal yapısına bağlı olarak x-ışınlarını karakteristik yüzey ve ara yüzeylerde kırılması esasına dayanır (Köç, 2016).

Difraksiyon ise bir madde üzerinde x-ışınının doğrudan gönderilmesi ve bunun sonucunda girişim oluşması olayıdır. Gönderilen x-ışını aralarında mesafe bulunan atom topluluğu ile karşılaştığında her bir atom ikinci bir atom kaynağı olarak hareket eder. Difraksiyon teorisine göre belirli yönde gönderilen dalgalar kuvvetlenerek daha yüksek mertebeden kırınıma uğramış ışınlar yayarlar (Atkins ve Jones, 1998).



Şekil 2.5. Bragg yasası: $2d \sin \theta = n\lambda$

Bragg yasasına göre X-ışını kırınım desenleri belirli bir θ açısıyla saçılan λ dalga boylu x-ışınlarının aralarında “d” kadar mesafe bulunan kristal düzlemlerinden yansıması sonucu oluşur (Bkz. Şekil 2.5).

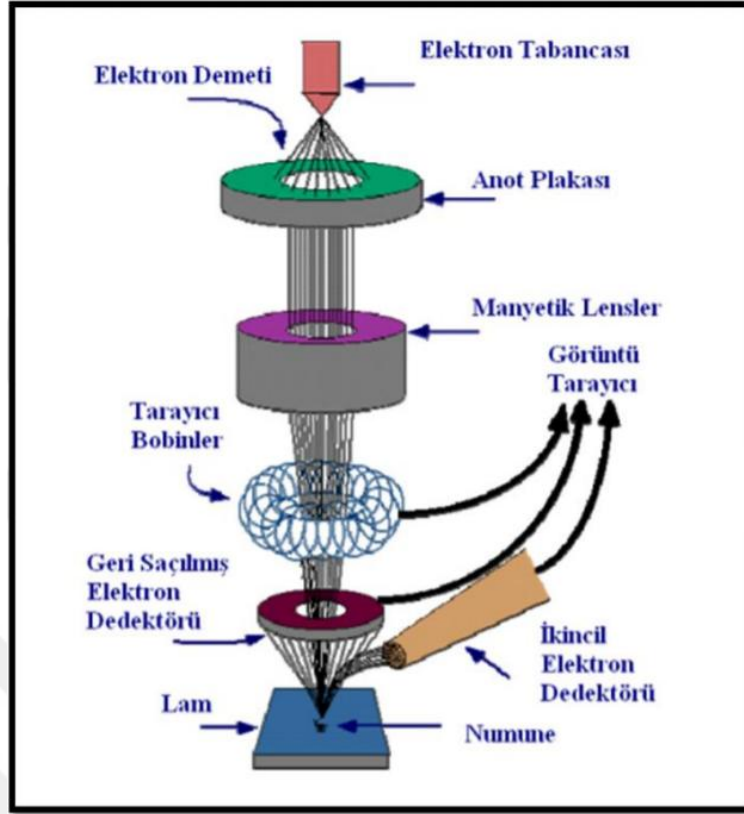


Şekil 2.6. XRD cihaz

Bu çalışmada yapılan XRD ölçümleri, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Temel Bilimler ve Araştırma Merkezi bünyesinde bulunan PANALYTICAL marka, EMPYREAN model XRD kullanılarak 20° 'den 70° 'ye kadar değişen difraktometre açısıyla kırınım desenleri elde edilmiştir (Bkz Şekil 2.6).

2.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

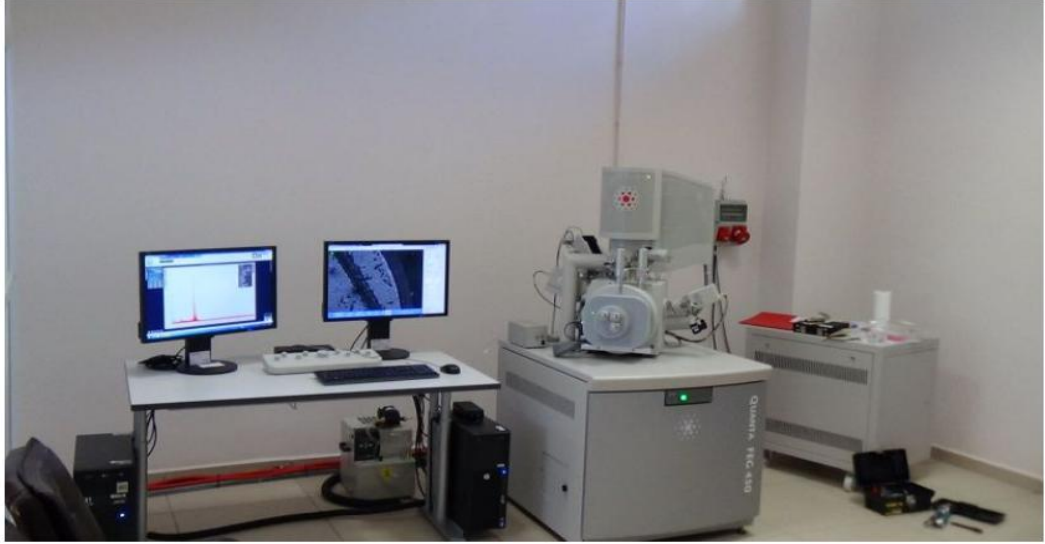
Taramalı elektron mikroskobu malzemelerin yüzeyini yüksek vakum ortamında elektron ışını ile tarayarak görüntü alınmasını sağlar. Gönderilen elektron ışınları numunenin atomları ile etkileşime girerek yüzey topografisi ve bileşenleri hakkında bilgi içeren sinyaller üretir. keV bandında elektron ışınlarına sahip bir taramalı elektron mikroskobu mikro ve nanometre boyutunda nesnelerin görüntüsünü üretir.



Şekil 2.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) şematik gösterimi

Şekil 2.7’de SEM şematik gösterimi verilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır. Optik kolon kısmında; elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklanmaktadır. Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune etkileşimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışımaları toplayan detektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında SEM ölçüleri Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Temel Bilimler ve Araştırma Merkezi’nde bulunan QUANTA FEG 450 Model, FEI marka SEM cihazı ile alınmıştır. Cihazın genel görüntüsü Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8. SEM cihazı

2.4.3. Soğurma ölçüm tekniği

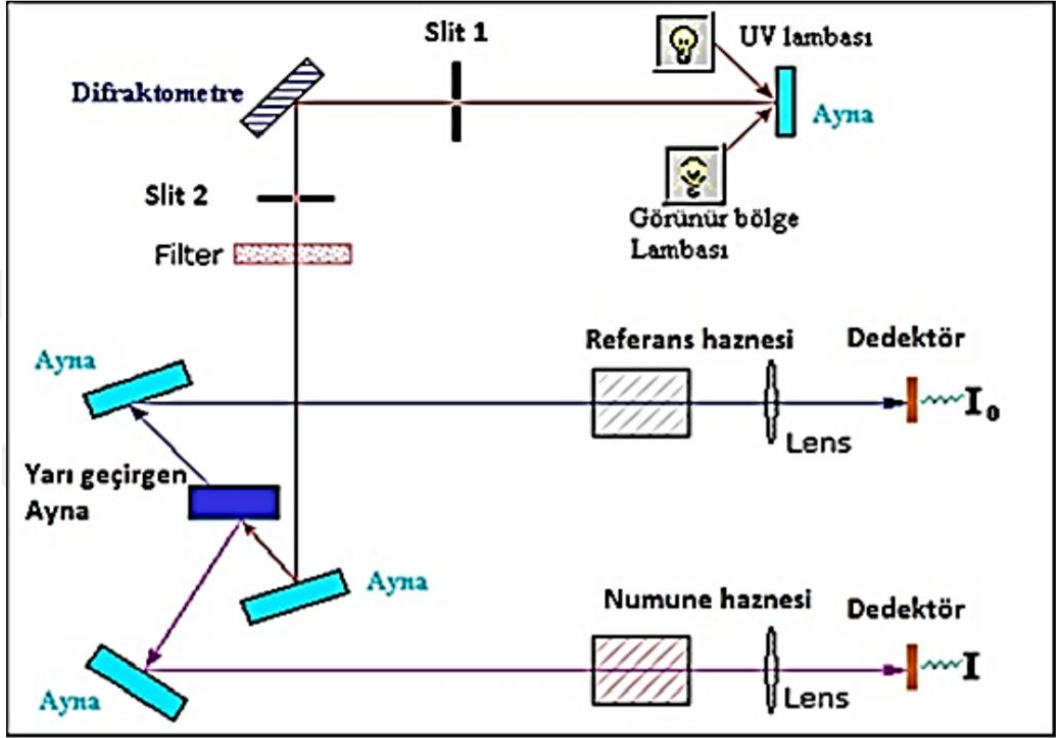
Malzemelerin optik soğurma aralığını ve yasak enerji aralığını belirlemede en sık kullanılan metot soğurma ölçüm metodudur. Soğurma kısaca ışığın bir malzemenin yüzeyinden emilmesi ya da malzemenin arka yüzeyine geçmesidir. Ölçüm sırasında malzemeye gönderilen ışınlar malzemeye zarar vermez, malzemedan belli şartlarda yansır, geçer veya soğurulur (Saritaş, 2017).

Işığın soğurulması işleminde malzemenin özelliğine göre farklı şekilde işlemler gerçekleşebilir. Belirli bir bant aralığı enerjisine sahip yalıtkan malzemelerde ışığın foton enerjisi, bant aralığı enerjisini aştığında güçlü bir soğurma gerçekleşir. Her bir foton soğurması bant aralığının karşısındaki bir elektron taşıyıcısının uyarılmasına sebep olur. Böylece iletim bandında bir ek taşıyıcı ve valans bandında bir boşluk oluşur. Elektronik uyarma enerjisi çoğunlukla ısıya, fonona ya da ışığa dönüşerek kaybolur. Benzer bir süreç bant aralığının daha küçük olduğu yarı iletkenlerde de görülür. İletim bandının tamamen dolmadığı metallerde durumun farklıdır. Güçlü bir yansıma nedeniyle ancak ince bir tabaka içerisinde soğurma olur. Soğurma özellikleri yüzeyin pürüzlülüğü ile ve malzemenin tek tip olmasına göre farklılıklar gösterebilir.

Beer-Lambert yasasına göre; d kalınlığındaki bir malzeme, elektromanyetik dalga ile etkileştiği durumda soğurma frekansın fonksiyonu olur. Işığın soğurulma miktarı, soğurma katsayısı;

$$I=I_0e^{-ad} \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada I_0 , malzeme yüzeyine gönderilen elektromanyetik dalganın şiddetini; I , d kalınlığındaki materyalden geçen elektromanyetik dalganın şiddetini ve a , soğurma katsayısını ifade eder (Fox 2001). Şekil 2.9’da soğurma ölçüm sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.9. Soğurma ölçüm sisteminin şematik gösterimi

Bir malzemenin sahip olduğu bant tipi ve yasak enerji aralığı soğurma ölçüm sistemi ile öğrenilebilir. Temel soğurma spektrumu kullanılarak çizilen $(ahv)^2 \sim hv$ değişim grafiğinde lineer kısmının doğrultusunun, hv eksenini $(ahv)^2=0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri malzemenin yasak enerji aralığını vermektedir (Bagde vd, 2003).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Farklı Güç Seviyelerinde Büyütülen Bi₂O₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi

Bi₂O₃ ince filmler RF-magnetron saçtırma yöntemi ile farklı güç seviyelerinde büyütüldü. Büyütme parametreleri Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Farklı güç seviyelerinde büyütülen filmlerin büyütme parametreleri

Seri numarası	Sıcaklık (°C)	Güç (W)	Ar basıncı (sccm)	Çalışma basıncı (mTorr)	Süre (dk)
1-1	300	40	80	8,1	30
1-2	300	80	80	8,1	20
1-3	300	120	80	8,1	10

3.1.1. Farklı güç seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD sonuçları

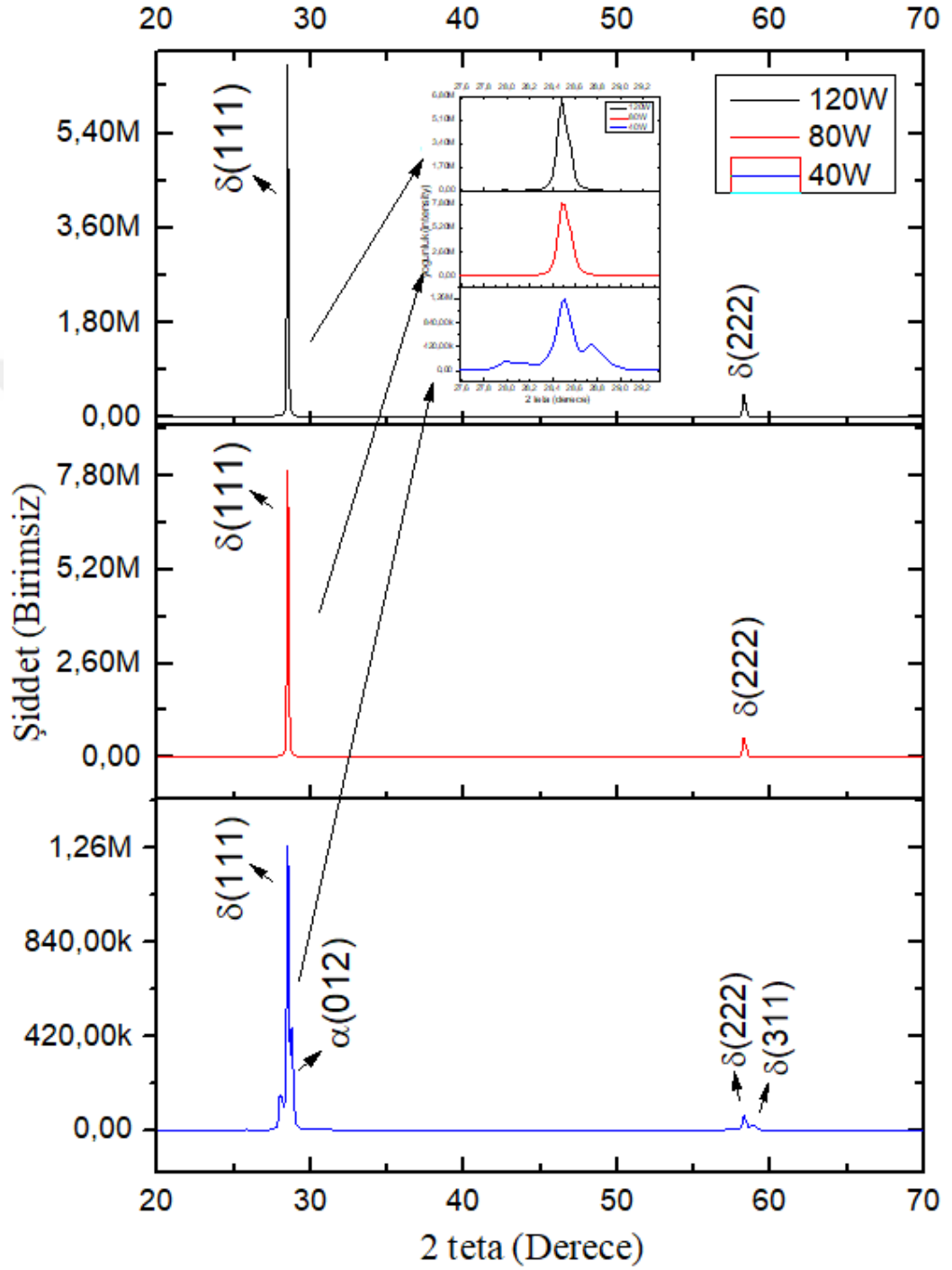
Reaktif magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin yapısal analizi için 2 θ formunda 20°’den 70°’ye kadar değişen difraktometre açısıyla X-Ray difraktometre kullanıldı. Cam, silisyum ve İTO alt taş üzerine, farklı güç seviyelerinde saçtırma ile biriktirilen ince filmlere ait XRD kırınım desenleri Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te verilmiştir. Büyütme parametreleri Tablo 3.1’ de verilmiştir. XRD kırınım desenindeki pikler incelendiğinde monoklinik ve hegzagonal yapıların oluştuğu ve bu yapılardan bazılarının yüksek güçlerde oluşmadığı sadece 40 W güçte oluştuğu belirlenmiştir.

Şekil3.1’de cam alt taş üzerine farklı güçlerde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 40 W güçte büyütülen filmlerde 111 (2 θ = 28,48°) ve 222(2 θ = 58,81°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

80 W güçte büyütülen filmlerde 111 (2 θ = 28,49°) ve 222(2 θ = 58,81°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

120 W güçte büyütülen filmlerde 111 (2 θ = 28,50°), 222(2 θ = 58,26°) ve 311(2 θ = 58,82°) fcc-Bi₂O₃ yapı ve 012(2 θ = 28,75°) monoklinik Bi₂O₃ yapı mevcuttur (Meng

ve ark.,2018), (Lunca ve ark.,2017). Güç seviyesinin değiştirilmesi ile faz kaymalarının olduğu ve yeni polimorfların oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 3.1. 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni

Şekil 3.2’de silisyum alt taş üzerine farklı güçlerde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 120 W güçte büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,64^\circ)$, $222(2\theta = 57,97^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $002(2\theta = 28,15^\circ)$, $012(2\theta = 28,69^\circ)$ monoklinik Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

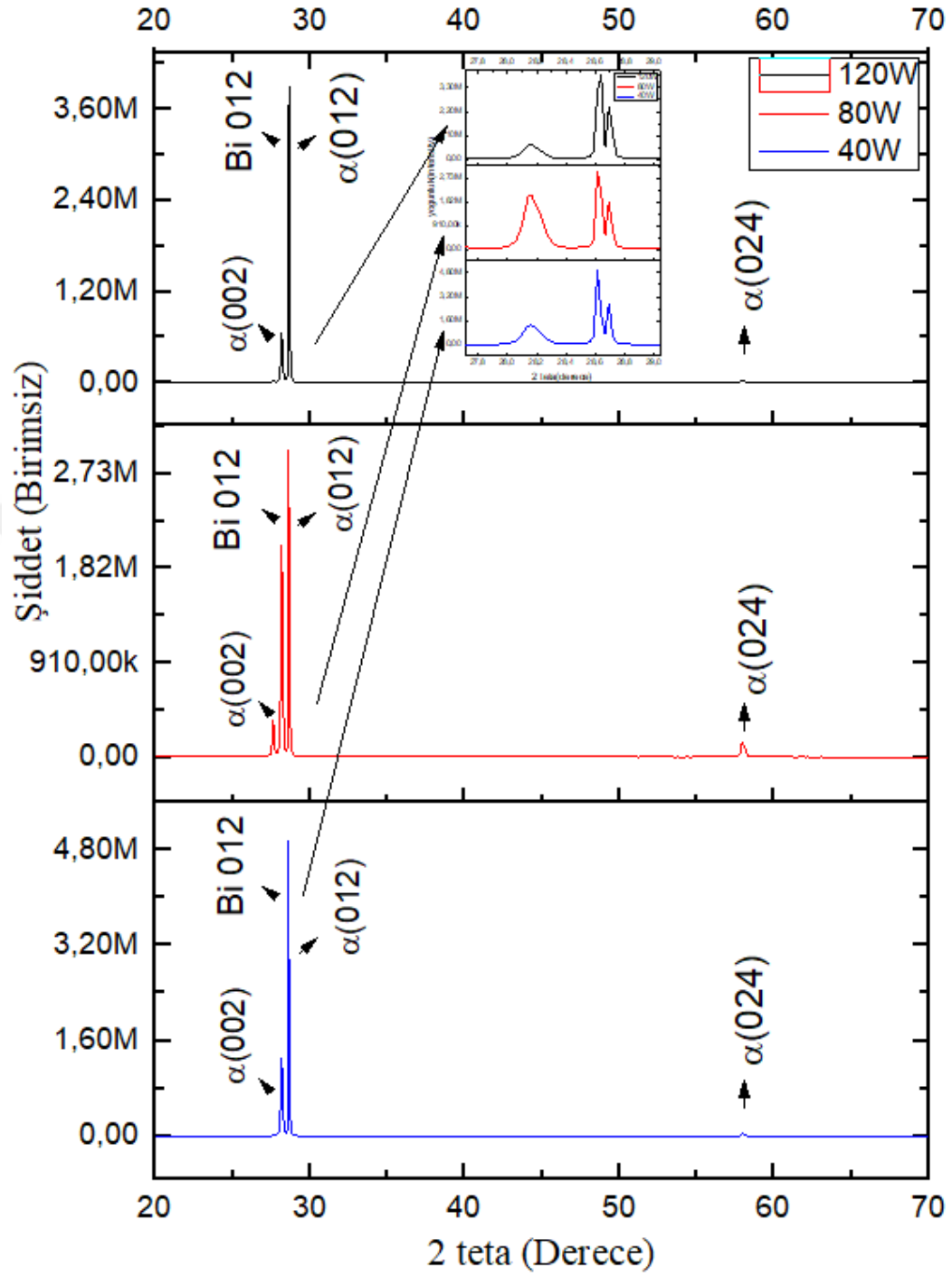
80 W güçte büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,60^\circ)$, $222(2\theta = 57,97^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı, $002(2\theta = 28,17^\circ)$, $012(2\theta = 28,69^\circ)$ monoklinik Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

40 W güçte büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,61^\circ)$, $222(2\theta = 57,96^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı, $002(2\theta = 28,15^\circ)$, $012(2\theta = 28,69^\circ)$ monoklinik Bi_2O_3 yapı mevcuttur Meng ve ark. (2018), Lunca ve ark. (2017). Güç seviyesinin değiştirilmesi ile faz kaymalarının olduğu ve yeni polimorfların oluştuğu belirlenmiştir.

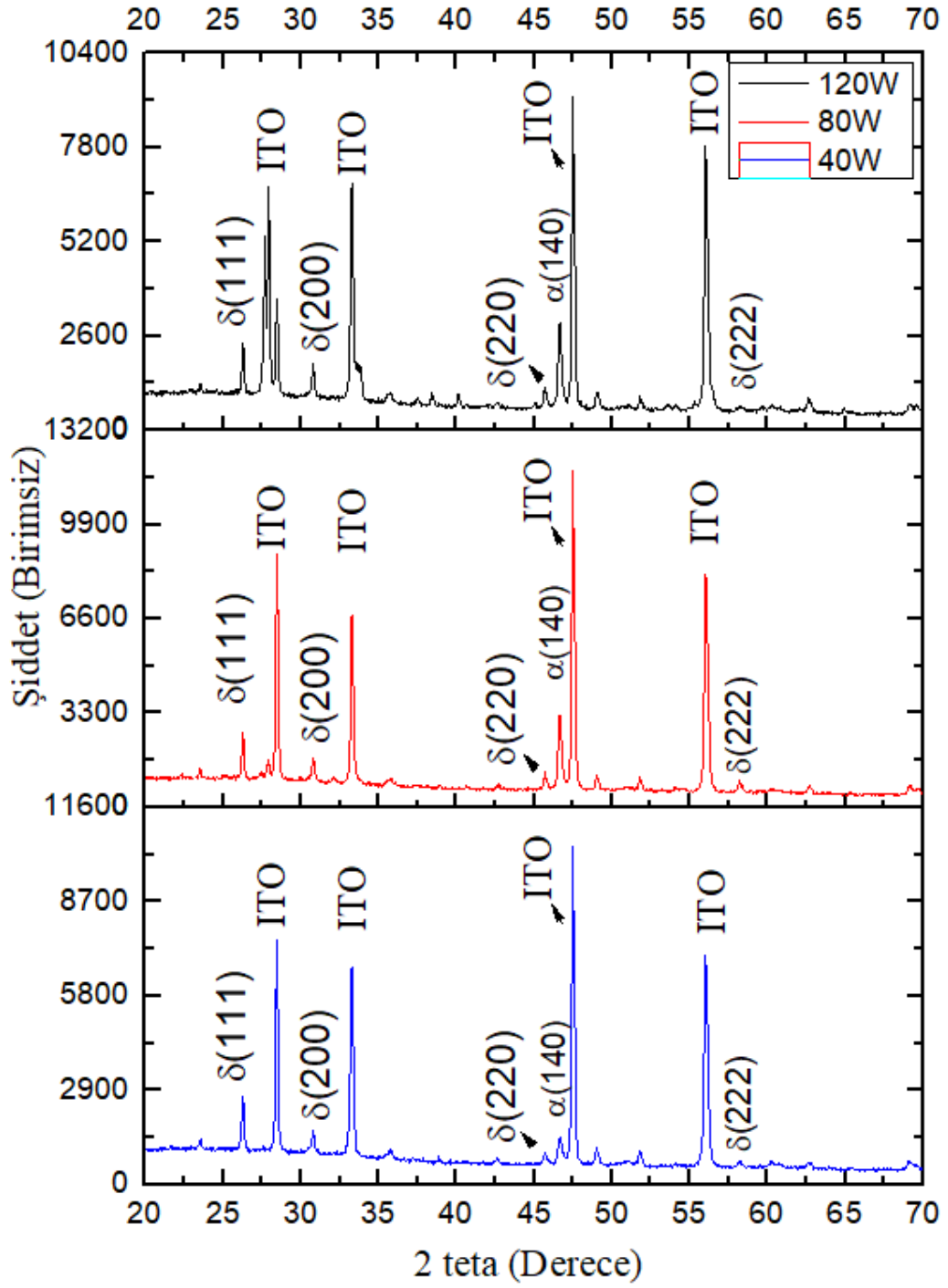
Şekil 3.3’de İTO alt taş üzerine farklı güçlerde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 120 W güçte büyütülen filmlerde $111(2\theta = 26,22^\circ)$, $200(2\theta = 30,79^\circ)$ ve $220(2\theta = 45,73^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $140(2\theta = 46,64^\circ)$ monoklinik Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

80 W güçte büyütülen filmlerde $111(2\theta = 26,26^\circ)$, $200(2\theta = 30,79^\circ)$, $220(2\theta = 45,72^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,20^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $140(2\theta = 46,66^\circ)$ monoklinik Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

40 W güçte büyütülen filmlerde $111(2\theta = 26,22^\circ)$, $200(2\theta = 30,79^\circ)$, $220(2\theta = 45,62^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,20^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $140(2\theta = 46,64^\circ)$ monoklinik Bi_2O_3 yapı mevcuttur Meng ve ark. (2018), Lunca ve ark. (2017). Güç seviyesinin değiştirilmesi ile faz kaymalarının olduğu, pik şiddetlerinin değiştiği ve yeni polimorfların oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 3.2. 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni

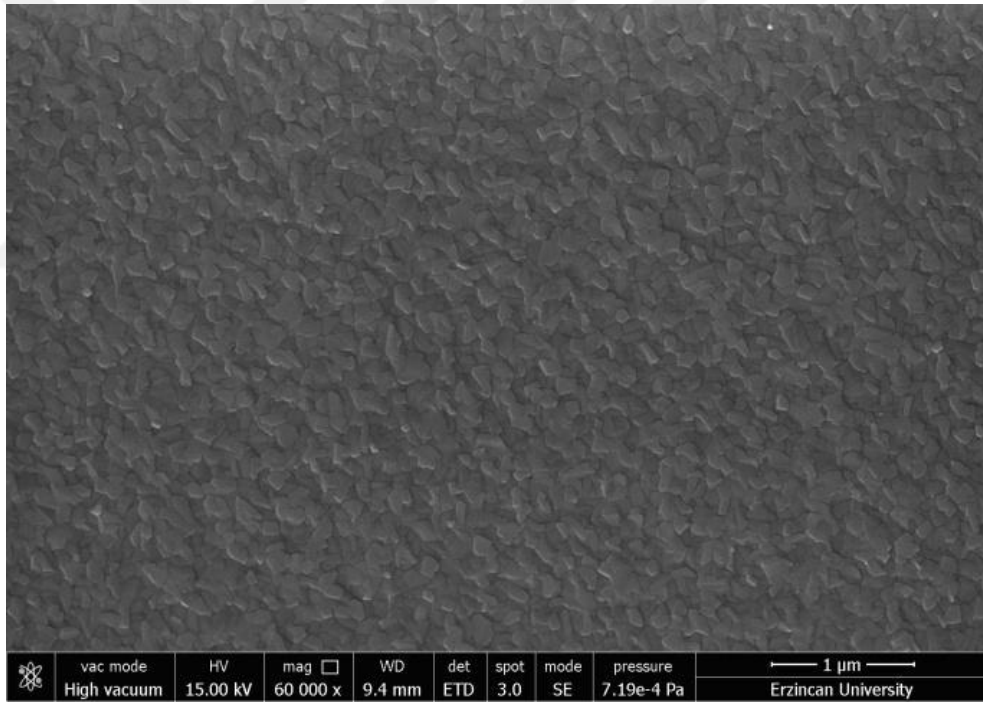


Şekil 3.3. 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni

3.1.2. Farklı güç seviyelerinde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin SEM sonuçları

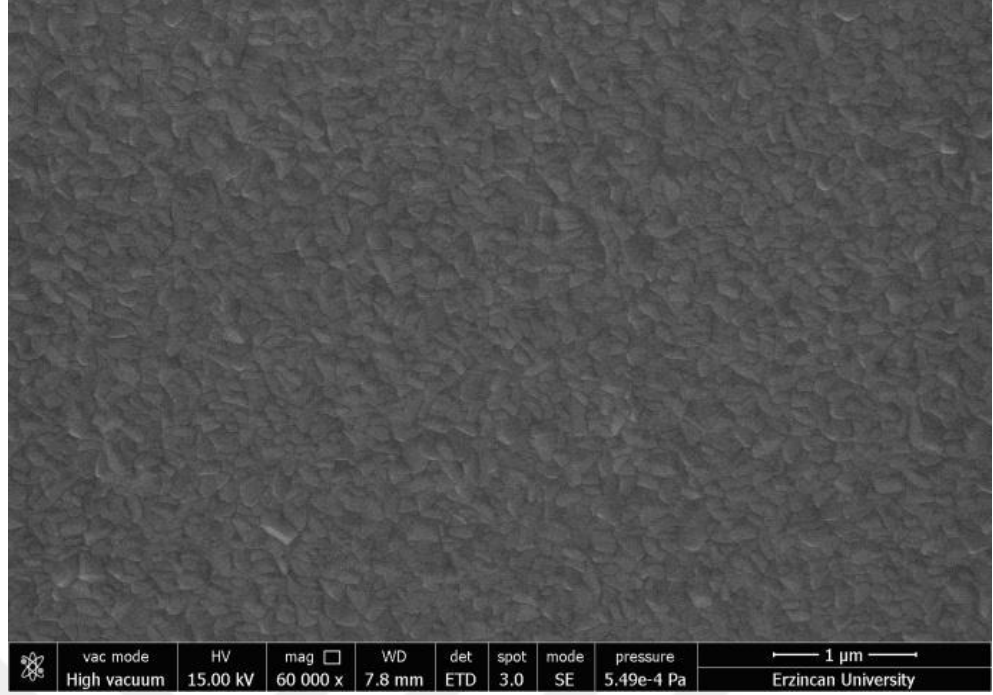
Reaktif magnetron saçırma yöntemi kullanılarak cam, İTO ve silisyum alt taş üzerine Tablo 1’de verilen parametreler ile büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin SEM görüntüleri Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.

Sem görüntüleri incelendiğinde gücün artırılmasıyla filmin yüksek enerjili parçacıkların bombardımanından zarar gördüğü ve filmde iç kusurlar ve çatlaklar meydana geldiği gözlemlenmektedir. Farklı alt taş üzerine biriktirilen ince filmlerin yüzey morfolojileri incelendiğinde, alt malzemenin değiştirilmesiyle tanecik yapılarının değiştiği görülmektedir. Cam alt taş kullanılan filmlerde daha yoğun ve küçük tanecikli yapılar oluşurken silisyum alt taş kullanılan ince filmlerde daha büyük tanecikli altıgen benzeri yapılar oluşmaktadır.

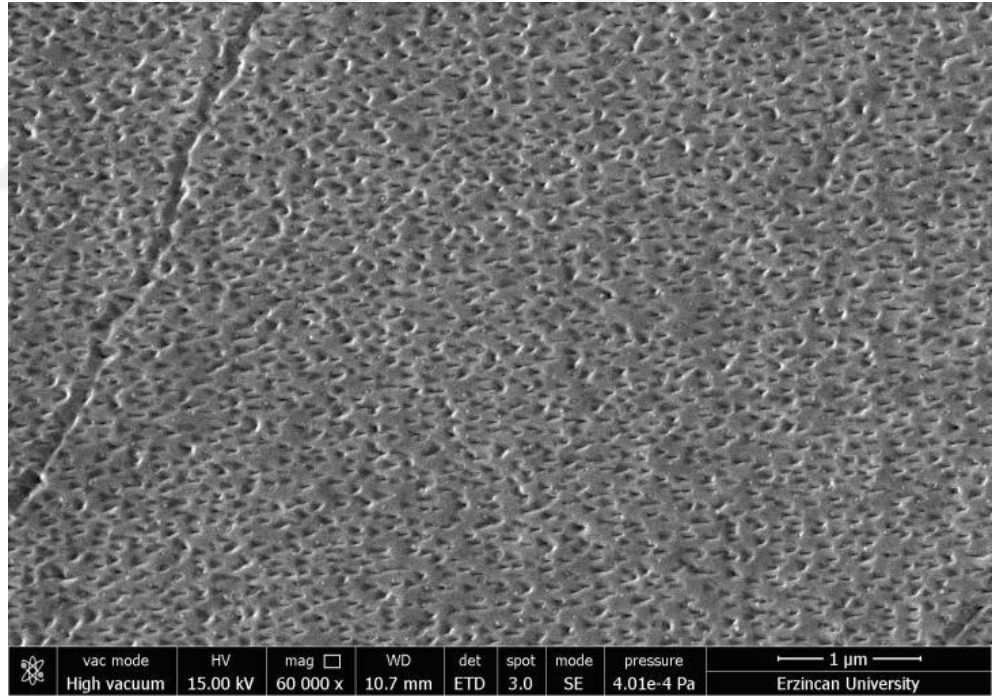


(a)

Şekil 3.4. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü

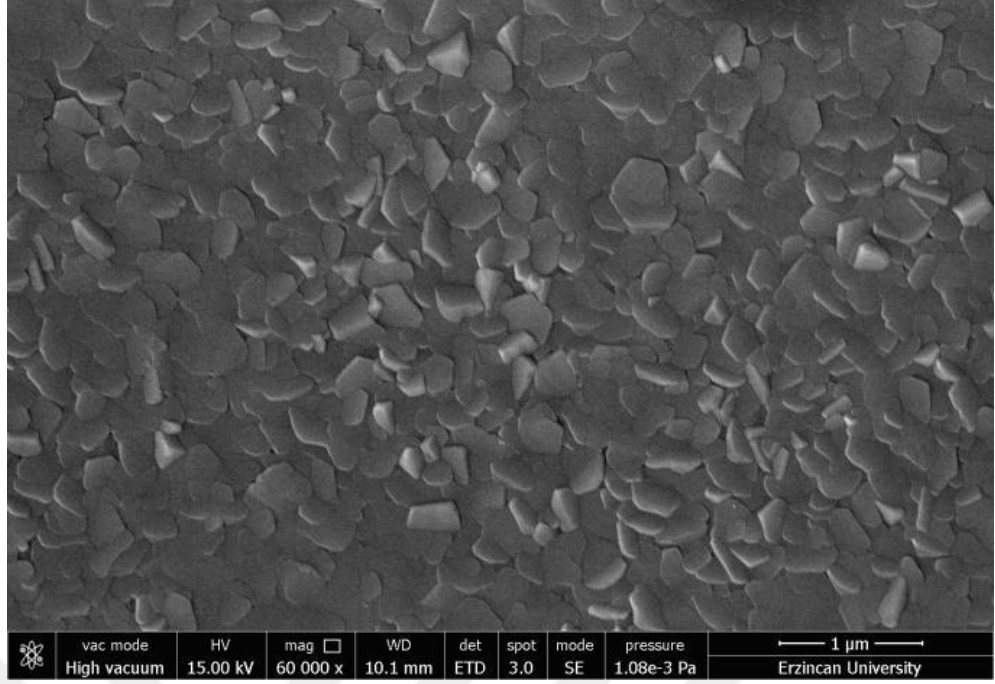


(b)

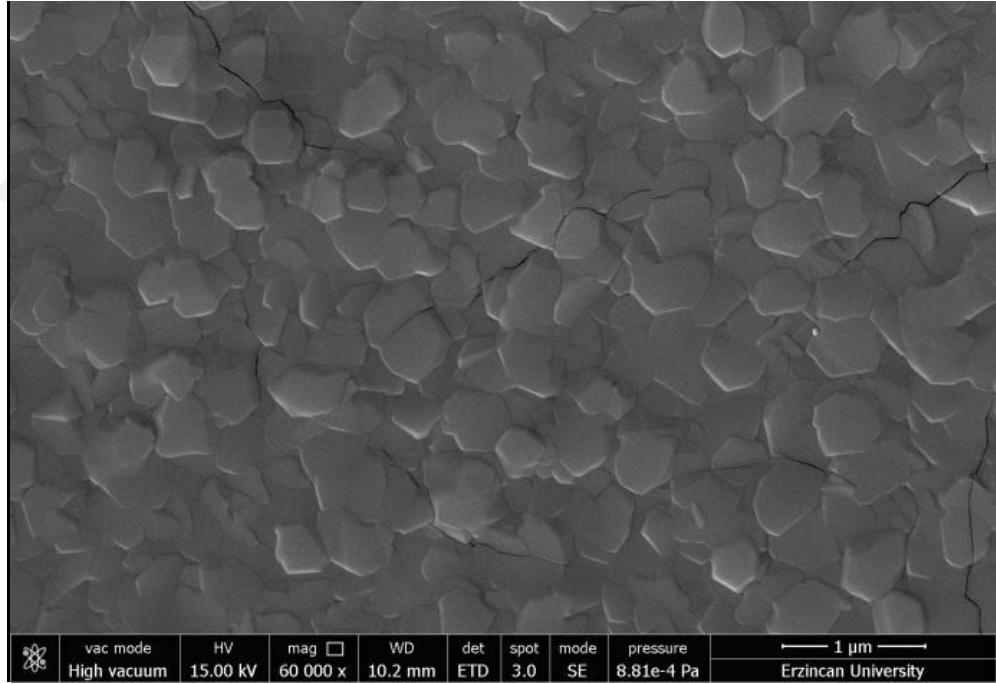


(c)

Şekil 3.4. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü (Devam)

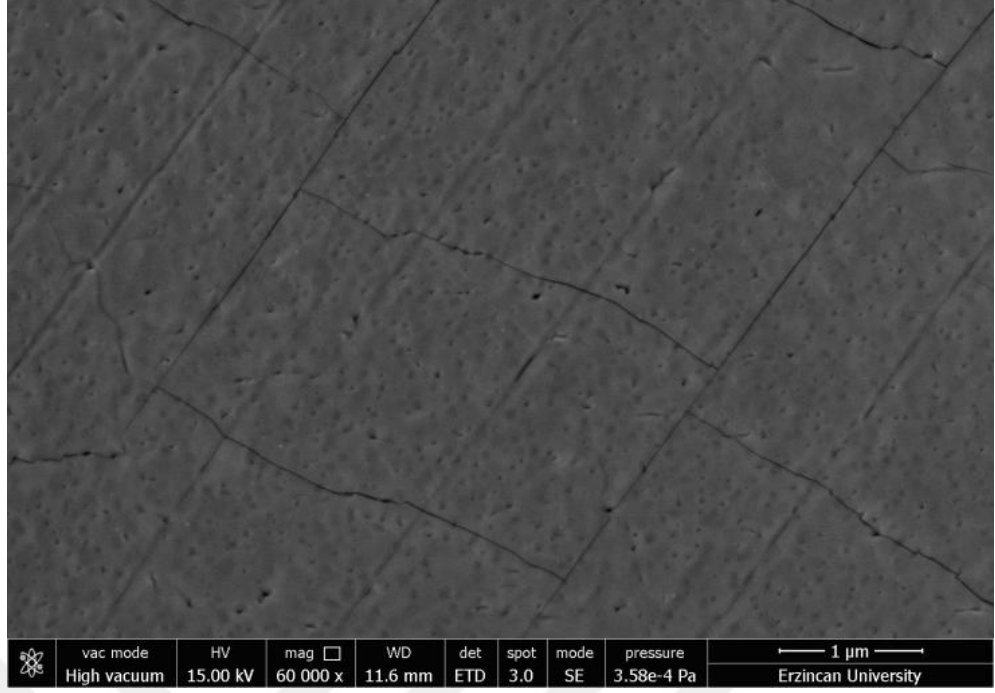


(a)



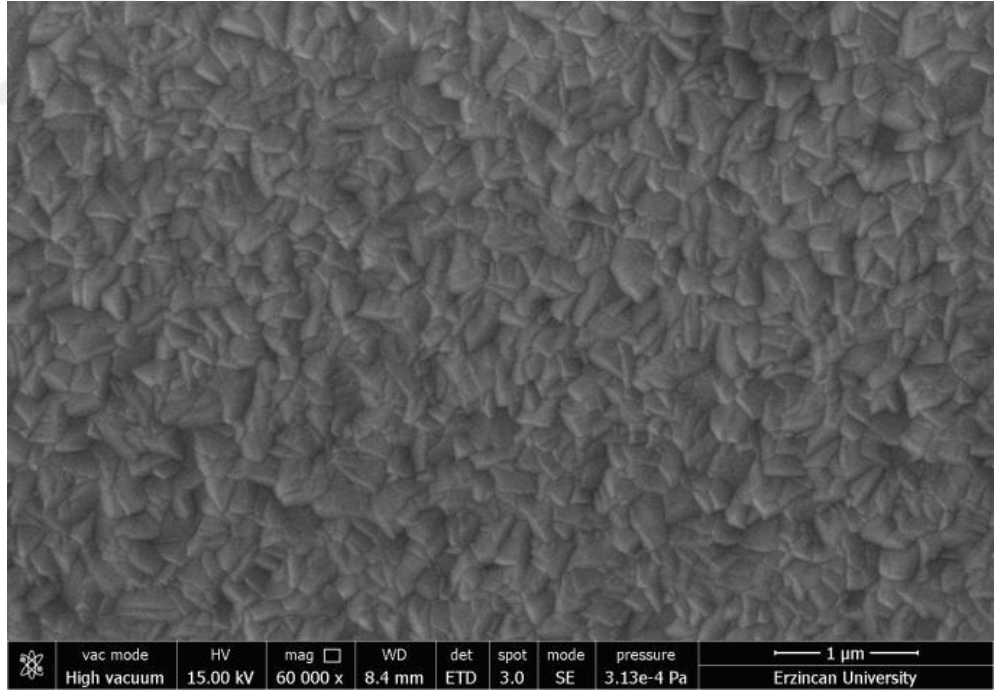
(b)

Şekil 3.5. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü



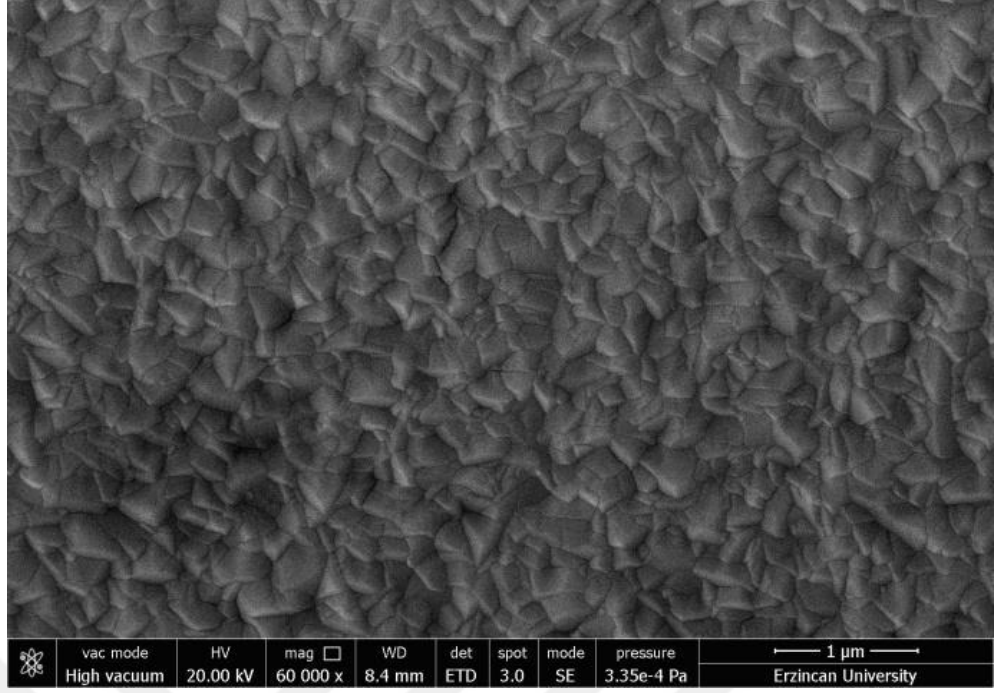
(c)

Şekil 3.5. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü (Devam)

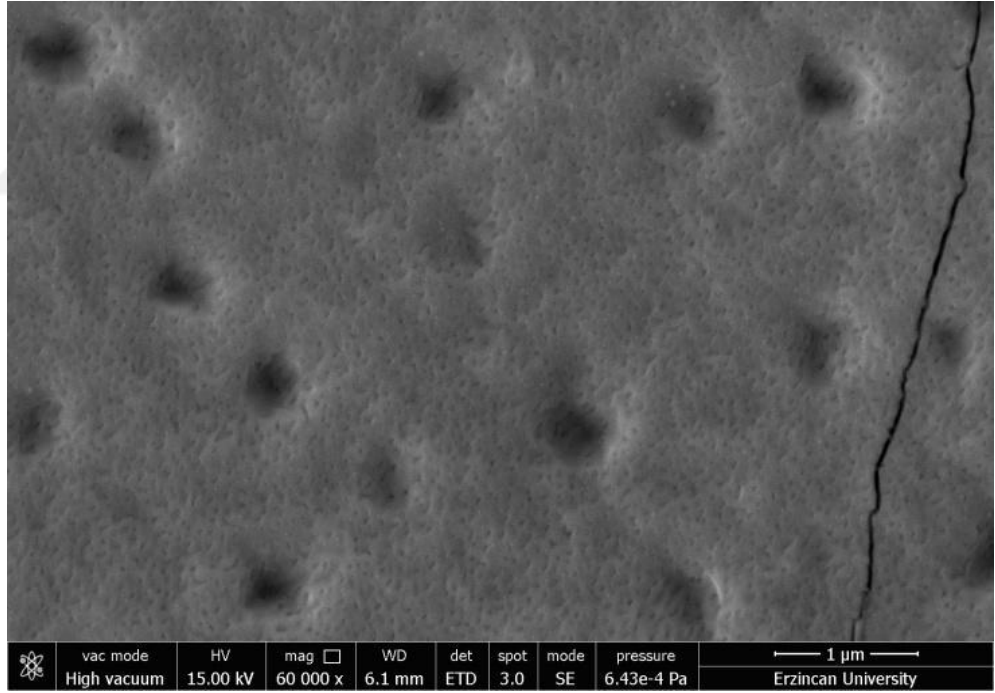


(a)

Şekil 3.6. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü



(b)

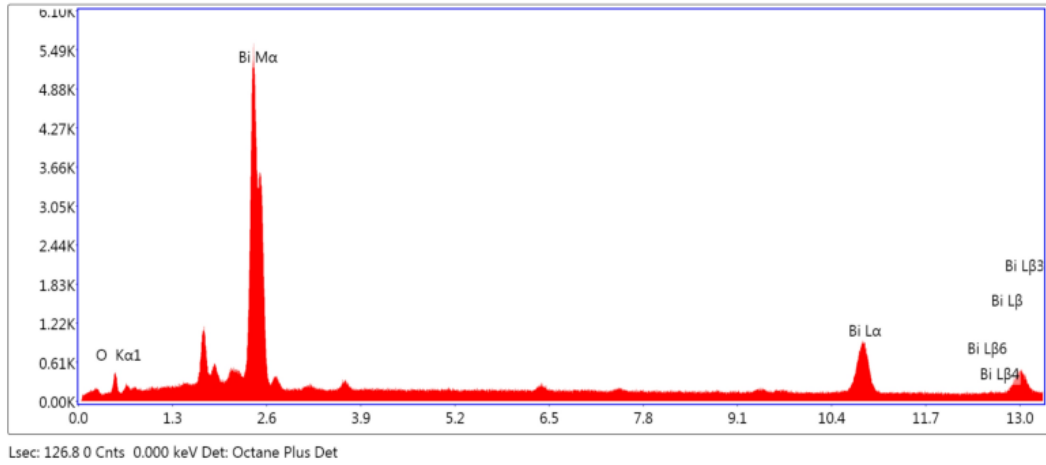


(c)

Şekil 3.6. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 60.000 büyütmede SEM görüntüsü. (Devam)

3.1.3. Farklı güç seviyelerinde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları

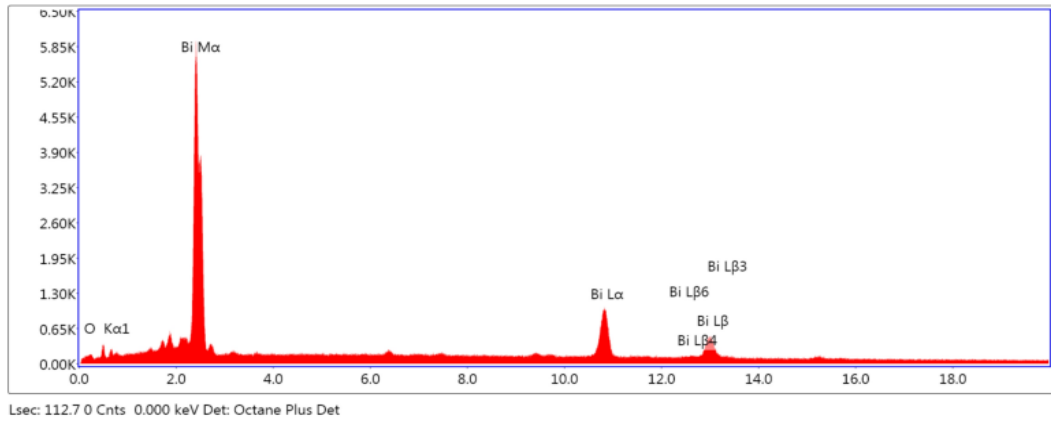
Bu bölümde reaktif magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak 40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde farklı alt taşlar üzerine Tablo 2’de verilen parametreler ile büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin Enerji Dağılımlı X-Işınları analizi sonuçları sırasıyla cam alt taş kullanılarak büyütülen filmler için Şekil 3.7’de, silisyum alt taş kullanılarak büyütülen filmler için Şekil 3.8’de ve İTO alt taş kullanılarak büyütülen filmler için Şekil 3.9’da verilmiştir. EDS analizi sonuçları incelendiğinde güç değişimine bağlı olarak yapıdaki bizmut oksijen oranının değiştiği görülmektedir. Güç seviyesinin artmasıyla hedef yüzeyine çarpan iyonların enerjisi artmıştır ve yüksek enerjili iyonlar hedeften bizmut atomlarını koparıırken bazı iç kusurların oluşması sebebiyle koparılan atom sayısının azaldığı ve bu nedenle gücün artmasıyla yapılarıdaki bizmut miktarının düştüğü görülmektedir.



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	12.2	64.47	43.45	11.39
BiM	87.8	35.53	685.12	2.28

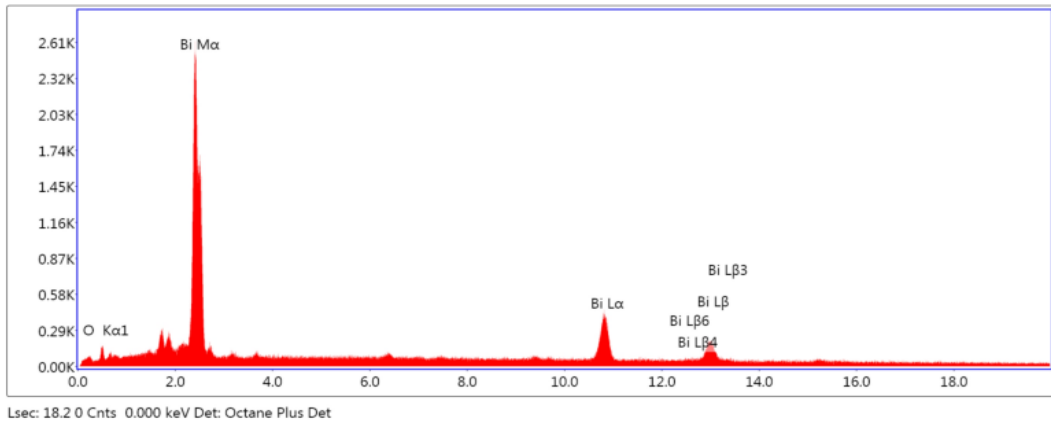
(a)

Şekil 3.7. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	13.88	67.8	39.58	11.61
BiL	86.12	32.2	302.4	7.16

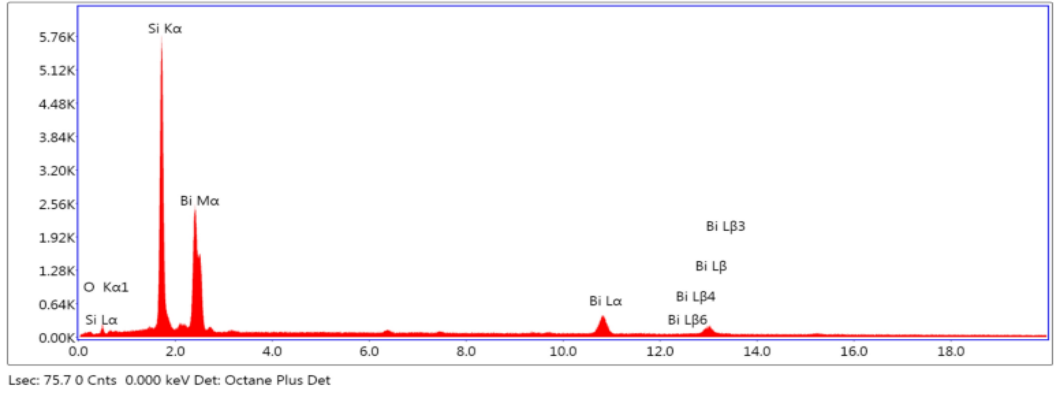
(b)



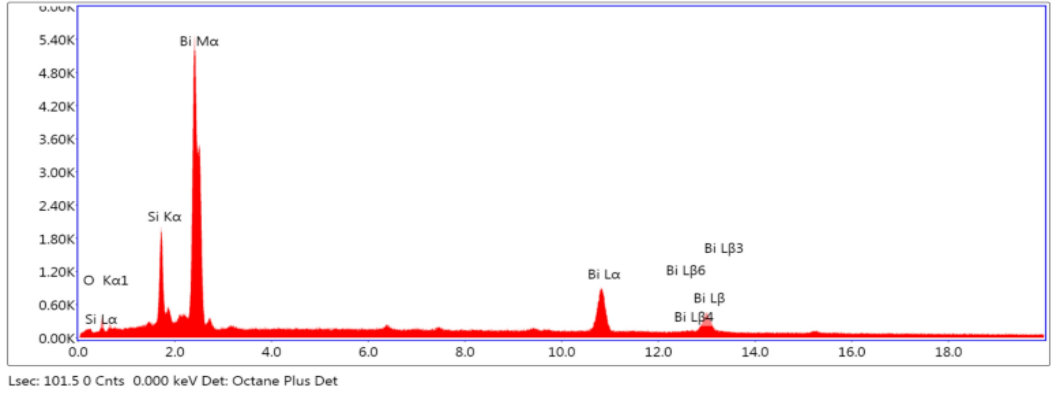
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	15.76	70.96	118.55	12.39
BiL	84.24	29.04	764.2	11.02

(c)

Şekil 3.7. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)

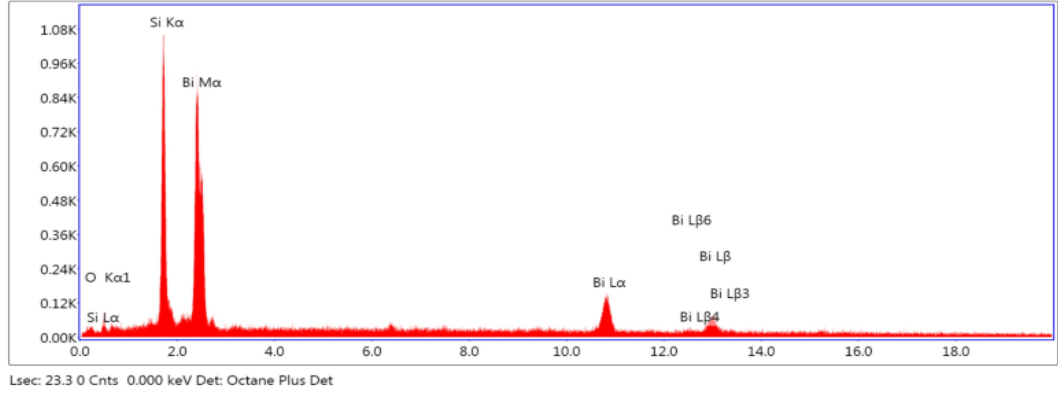


(a)



(b)

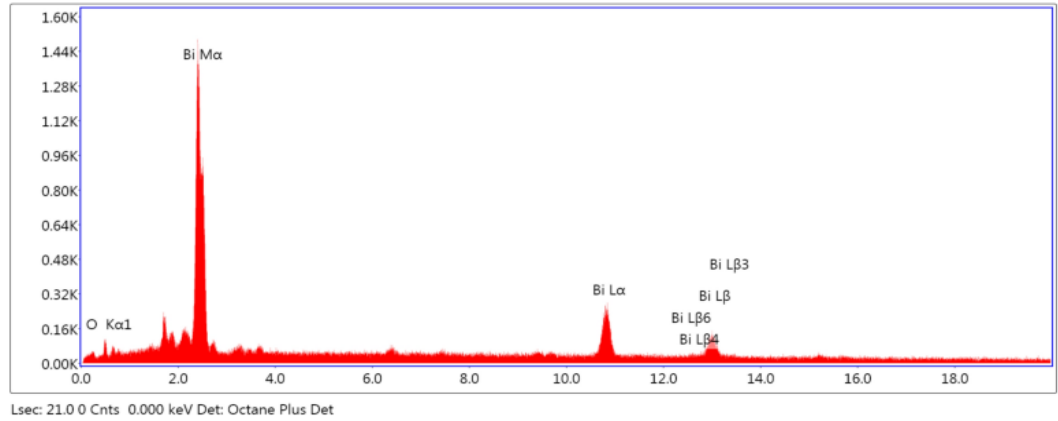
Şekil 3.8. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	11.63	36.14	33.19	15.94
SiK	27.94	49.47	665.68	6.96
BiL	60.43	14.38	202.03	15.23

(c)

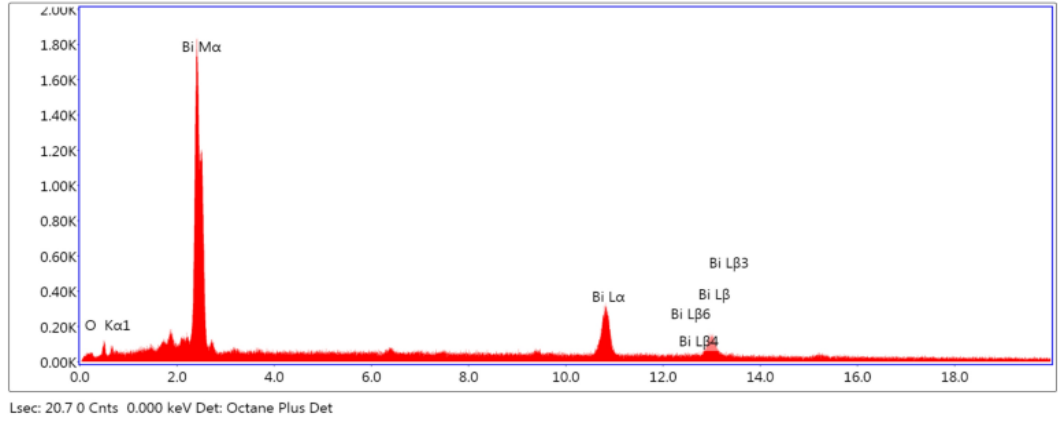
Şekil 3.8. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	15.68	70.84	59.77	13.88
BiL	84.32	29.16	387.77	12.64

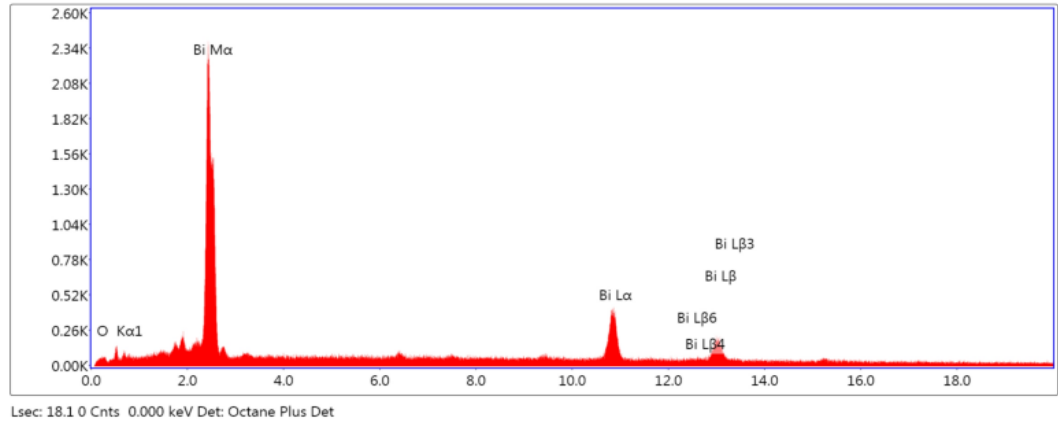
(a)

Şekil 3.9. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	14.43	68.78	71.1	13.63
BiL	85.57	31.22	515.9	11.17

(b)



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	14.42	68.75	107.64	13.21
BiL	85.58	31.25	782.08	10.12

(c)

Şekil 3.9. (a) 40 W, (b) 80 W ve (c) 120 W güç seviyelerinde İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)

3.2. Farklı Basınç Seviyelerinde Büyütülen Bi_2O_3 İnce Filmlerin Yapısal Analizi

Bi_2O_3 ince filmler RF-magnetron saçtırma yöntemi ile farklı basınç değerlerinde büyütüldü. Büyütme parametreleri Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2. Farklı basınç değerlerinde büyütülen filmlerin büyütme parametreleri

Seri numarası	Sıcaklık (°C)	Güç (W)	Ar basıncı (sccm)	Çalışma basıncı (mTorr)	Süre (dk)
2-1	300	40	80	12	12
2-2	300	40	80	8,1	8
2-3	300	40	120	16	16
2-4	300	40	145	20	20
2-5	300	40	172	24	24

3.2.1. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD sonuçları

Reaktif magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin yapısal analizi için 2θ formunda 20° ’den 70° ’ye kadar değişen difraktometre açısıyla X-Ray difraktometre kullanıldı. Cam, silisyum ve İTO alt taş üzerine, farklı basınç seviyelerinde büyütülen ince filmlere ait XRD kırınım desenleri Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir. Büyütme parametreleri Tablo 3.2 ’ de verilmiştir. XRD kırınım desenindeki pikler incelendiğinde monoklinik, yüzey merkezli kübik ve tetragonal yapıların varlığı belirlenmiştir.

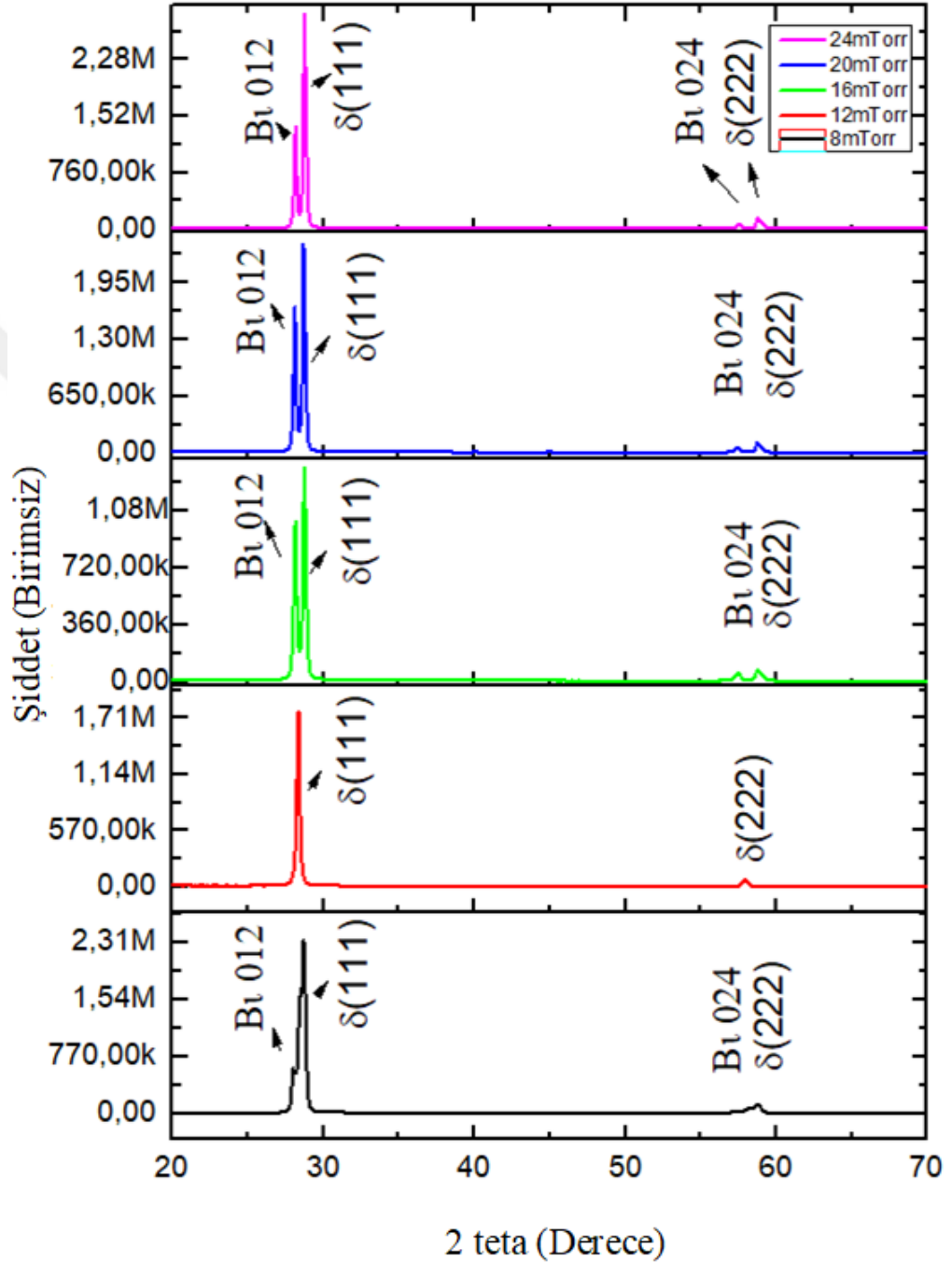
Şekil 3.10’da cam alt taş üzerine farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 8 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,66^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,73^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $012(2\theta = 27,98^\circ)$ ve $024(2\theta = 57,98^\circ)$ Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

12 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,34^\circ)$ ve $222(2\theta = 57,90^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

16 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,72^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,75^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $012(2\theta = 28,13^\circ)$ ve $024(2\theta = 57,44^\circ)$ Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

20 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,66^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,71^\circ)$ fcc- Bi_2O_3 yapı ve $012(2\theta = 28,08^\circ)$ ve $024(2\theta = 57,44^\circ)$ Bi_2O_3 yapı mevcuttur.

24 mTorr basınçta büyütülen filmlerde 111($2\theta = 28,72^\circ$) ve 222($2\theta = 58,75^\circ$) fcc-Bi₂O₃ yapı ve 012($2\theta = 28,13^\circ$) ve 024($2\theta = 57,45^\circ$) Bi₂O₃ yapı mevcuttur (Meng ve ark.,2018), (Lunca ve ark.,2017).



Şekil 3.10. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi₂O₃ ince filmlere ait XRD kırınım deseni

Şekil 3.11’de silisyum alt taş üzerine farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 8 mTorr basınçta

büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,45)$ ve $222(2\theta = 58,76^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı ve $012(2\theta = 27,61^\circ)$, $024(2\theta = 56,80^\circ)$ Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

12 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,29^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,41^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı ve $012(2\theta = 28,04^\circ)$, $024(2\theta = 57,73^\circ)$ Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

16 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,58)$ ve $222(2\theta = 58,61^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı ve $012(2\theta = 27,76^\circ)$, $024(2\theta = 56,91^\circ)$ Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

20 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,50)$ ve $222(2\theta = 58,59^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı ve $012(2\theta = 27,87^\circ)$, $024(2\theta = 57,27^\circ)$ Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

24 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,50)$ ve $222(2\theta = 58,61^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı ve $012(2\theta = 27,88^\circ)$, $024(2\theta = 57,29^\circ)$ Bi₂O₃ yapı mevcuttur (Meng ve ark.,2018), (Lunca ve ark.,2017).

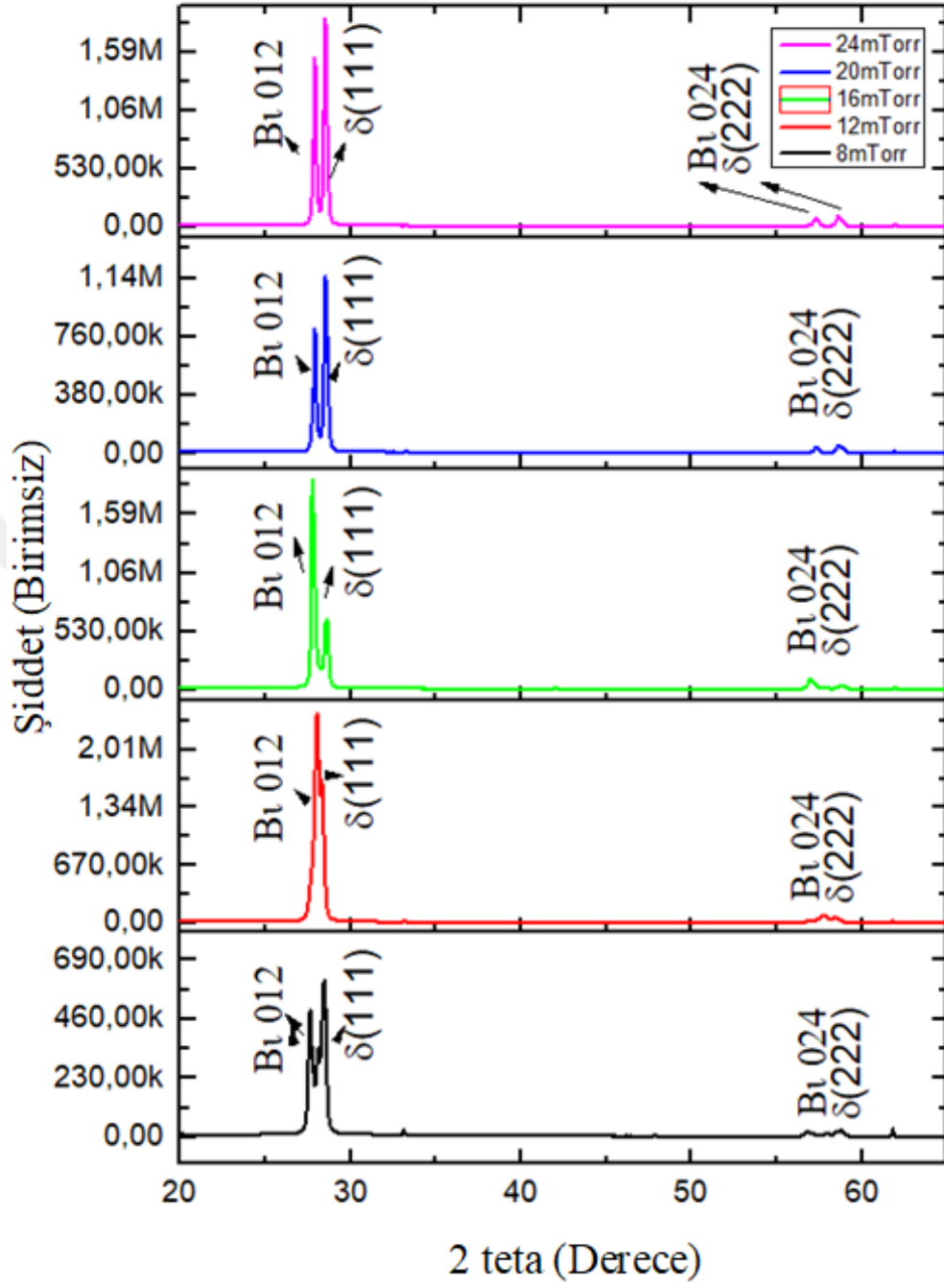
Güç seviyesinin değiştirilmesi ile faz kaymalarının olduğu, pik şiddetlerinin değiştiği ve yeni polimorfların oluştuğu belirlenmiştir.

Şekil 3.12’de İTO alt taş üzerine farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 8 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,51)$, $200(2\theta = 30,67^\circ)$, $220(2\theta = 46,64^\circ)$ ve $222(2\theta = 60,77^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı, $-211(2\theta = 32,84^\circ)$, $200(2\theta = 35,75^\circ)$, $140(2\theta = 47,47^\circ)$ monoklinik Bi₂O₃ yapı ve $012(2\theta = 27,98^\circ)$ ve $024(2\theta = 58,24^\circ)$ Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

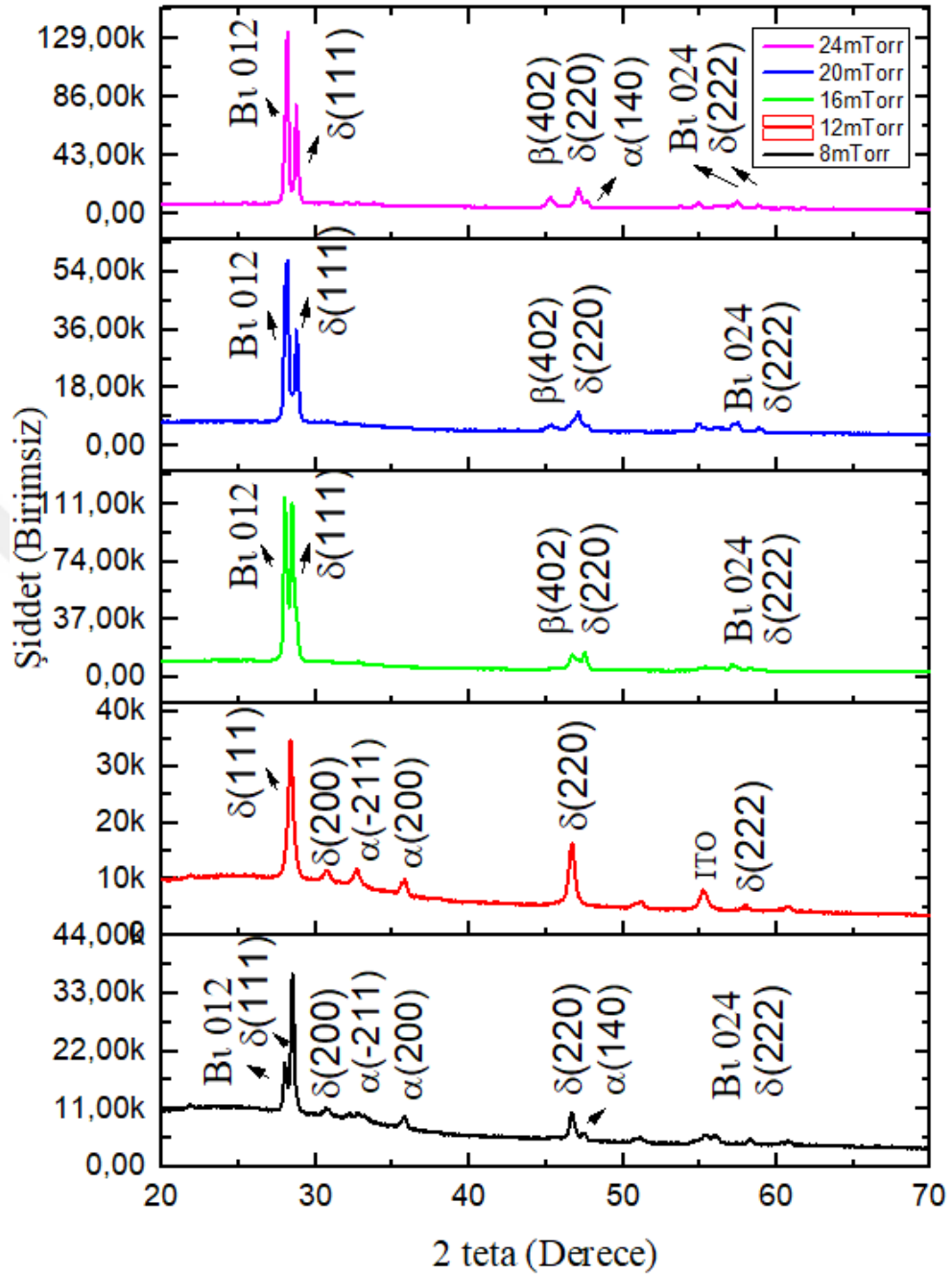
12 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,35)$, $200(2\theta = 30,69^\circ)$, $220(2\theta = 46,71^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,79^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı, $-211(2\theta = 32,75^\circ)$, $200(2\theta = 35,73^\circ)$, monoklinik Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

16 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,45)$, $220(2\theta = 47,49^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,13^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı, $012(2\theta = 27,98^\circ)$, $024(2\theta = 55,97^\circ)$ Bi₂O₃ yapı ve $402(2\theta = 46,67^\circ)$ tetragonal Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

20 mTorr basınçta büyütülen filmlerde $111(2\theta = 28,72)$, $220(2\theta = 47,11^\circ)$ ve $222(2\theta = 58,90^\circ)$ fcc-Bi₂O₃ yapı, $012(2\theta = 28,13^\circ)$, $024(2\theta = 55,97^\circ)$ Bi₂O₃ yapı ve $402(2\theta = 45,28^\circ)$ tetragonal Bi₂O₃ yapı mevcuttur.



Şekil 3.11. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni



Şekil 3.12. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlere ait XRD kırınım deseni

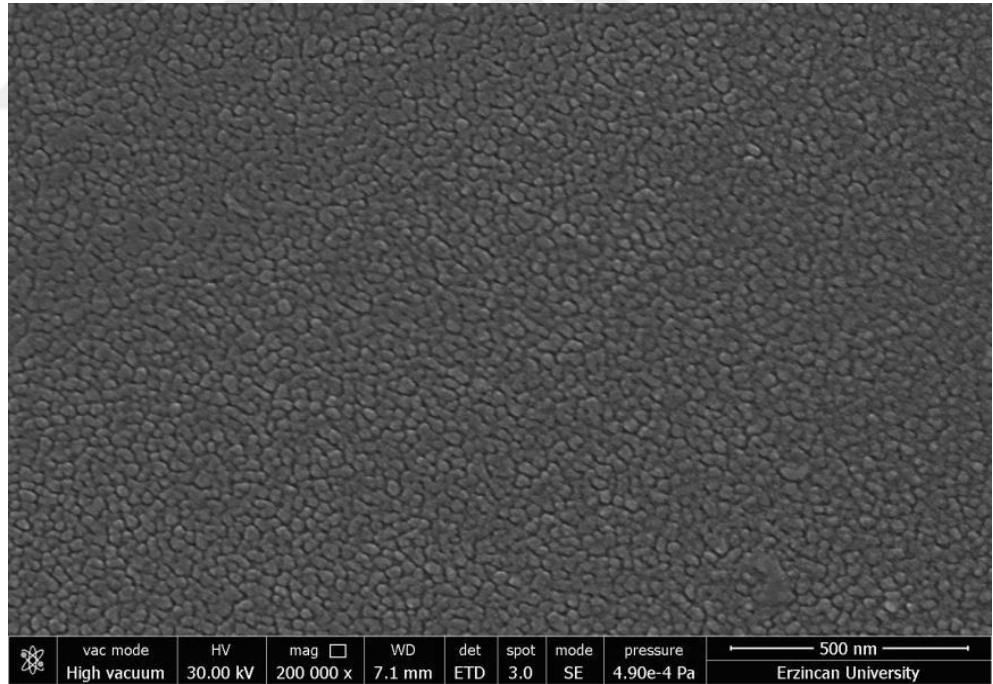
24 mTorr basınçta büyütülen filmlerde 111($2\theta = 28,71^\circ$), 220($2\theta = 47,08^\circ$) ve 222($2\theta = 58,13^\circ$) fcc- Bi_2O_3 yapı, 012($2\theta = 28,13^\circ$), 024($2\theta = 55,97^\circ$) Bi_2O_3 yapı, 140($2\theta = 47,68^\circ$), monoklinik Bi_2O_3 yapı ve 402($2\theta = 45,25^\circ$) tetragonal Bi_2O_3 yapı mevcuttur (Meng ve ark.,2018; Lunca ve ark.,2017).

Güç seviyesinin değiştirilmesi ile faz kaymalarının olduğu, pik şiddetlerinin değiştiği ve yeni polimorfların oluştuğu belirlenmiştir.

3.2.2. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin SEM sonuçları

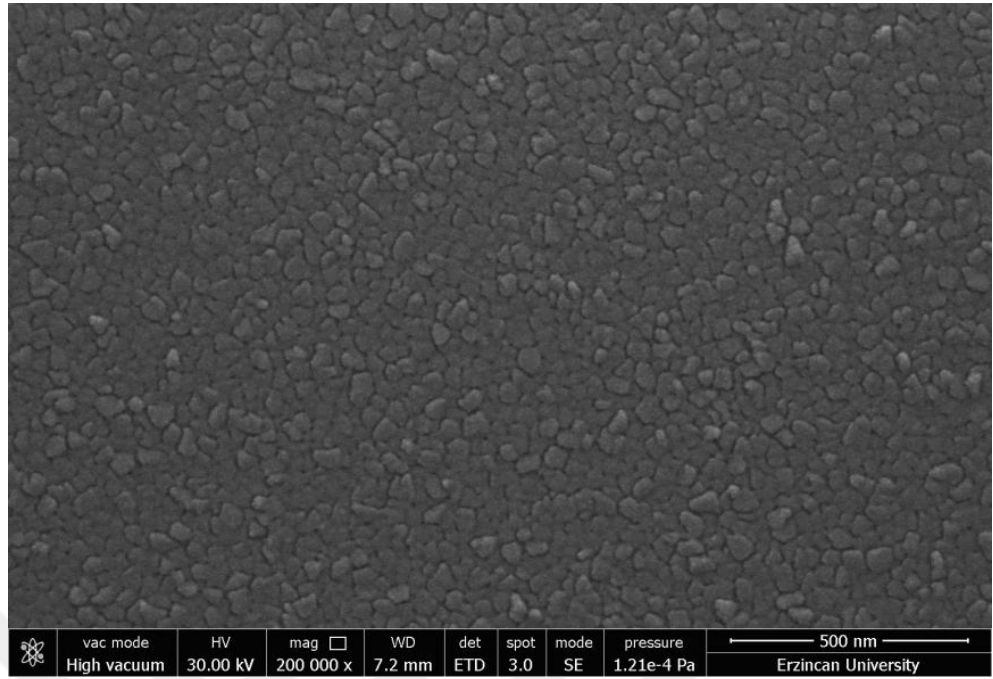
Reaktif magnetron saçırma yöntemi kullanılarak Tablo 3.2’de verilen parametreler ile büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin SEM görüntüleri cam alt taş üzerine büyütülen filmler için Şekil 3.13, İTO alt taş üzerine büyütülen filmler için Şekil 3.14 ve silisyum alt taş üzerine büyütülen filmler için Şekil 3.15’de verilmiştir.

Sem görüntüleri incelendiğinde basıncın artırılmasıyla filmin birikme hızının azaldığı ve filmde farklı yapı ve kümelenmelerin olduğu gözlemlenmektedir. Basınç arttıkça yüzey yoğunluğu azalmış ve tanecik boyutları uzamıştır. Farklı alt taş üzerine biriktirilen ince filmlerin yüzey morfolojileri incelendiğinde, cam alt taş kullanılan filmlerde daha yoğun ve küçük tanecikli yapılar oluşurken silisyum alt taş kullanılan ince filmlerde daha büyük tanecikli altıgen benzeri yapılar oluşmaktadır.

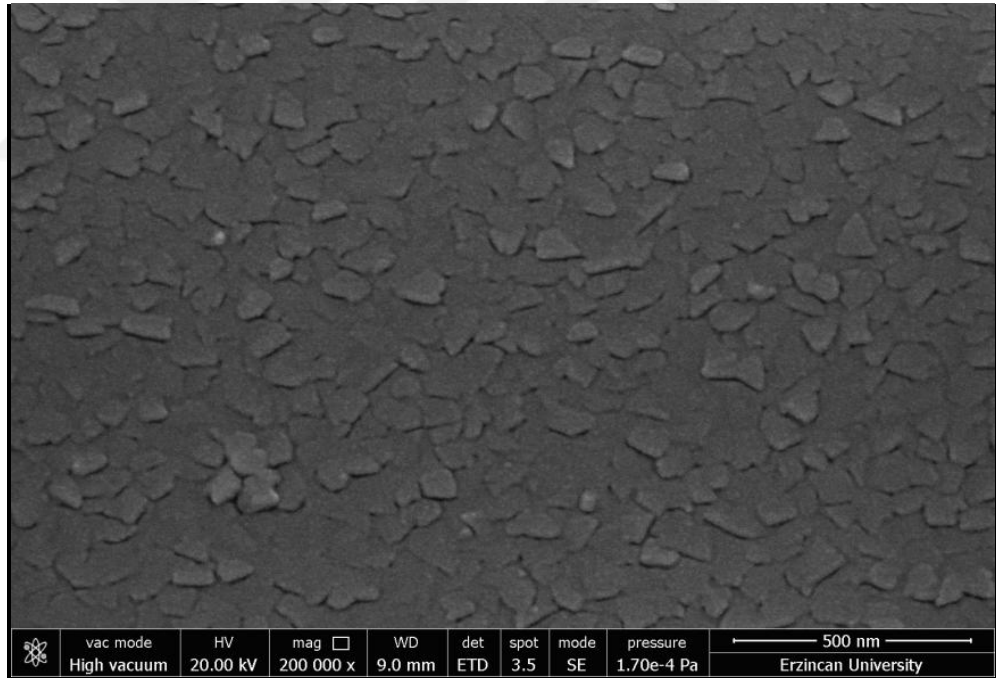


(a)

Şekil 3.13. (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin 200.000 büyütmede SEM görüntüleri

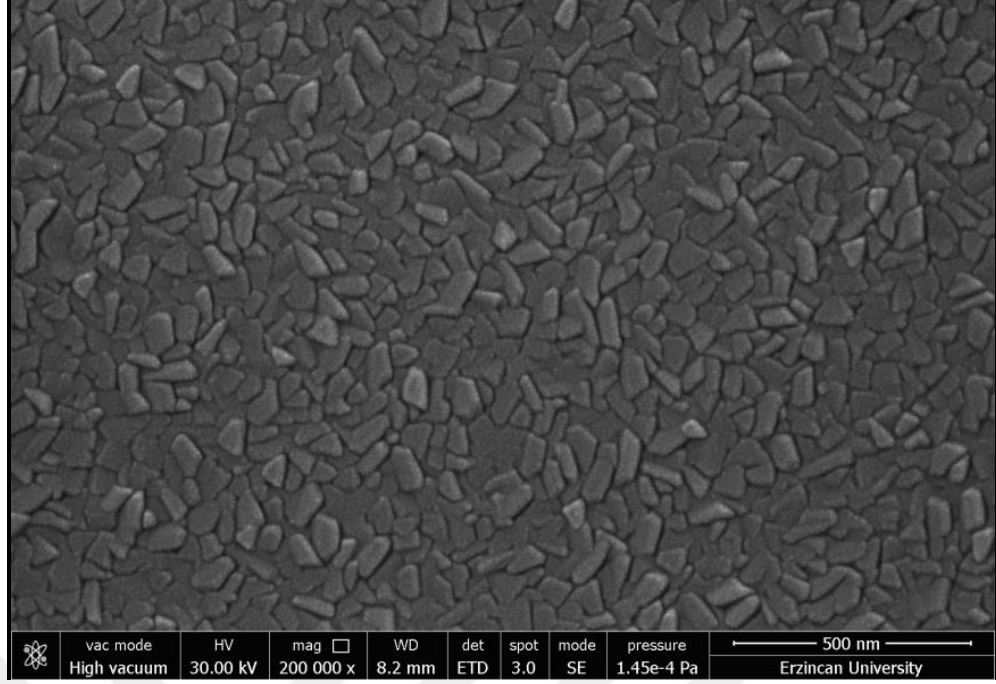


(b)

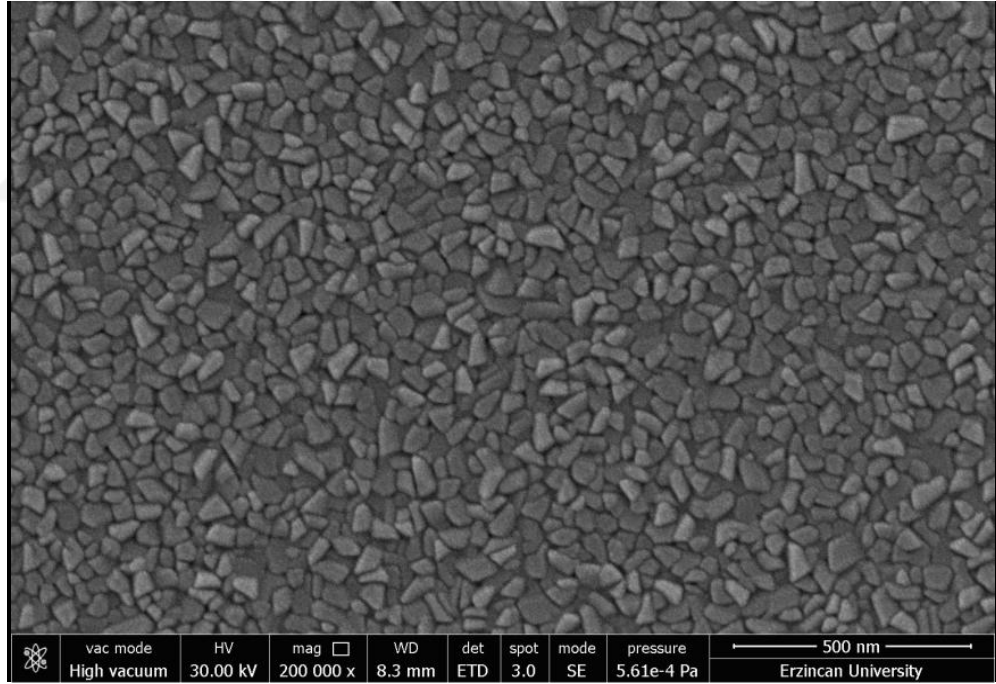


(c)

Şekil 3.13. (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 200.000 büyütmede SEM görüntüleri (Devam)

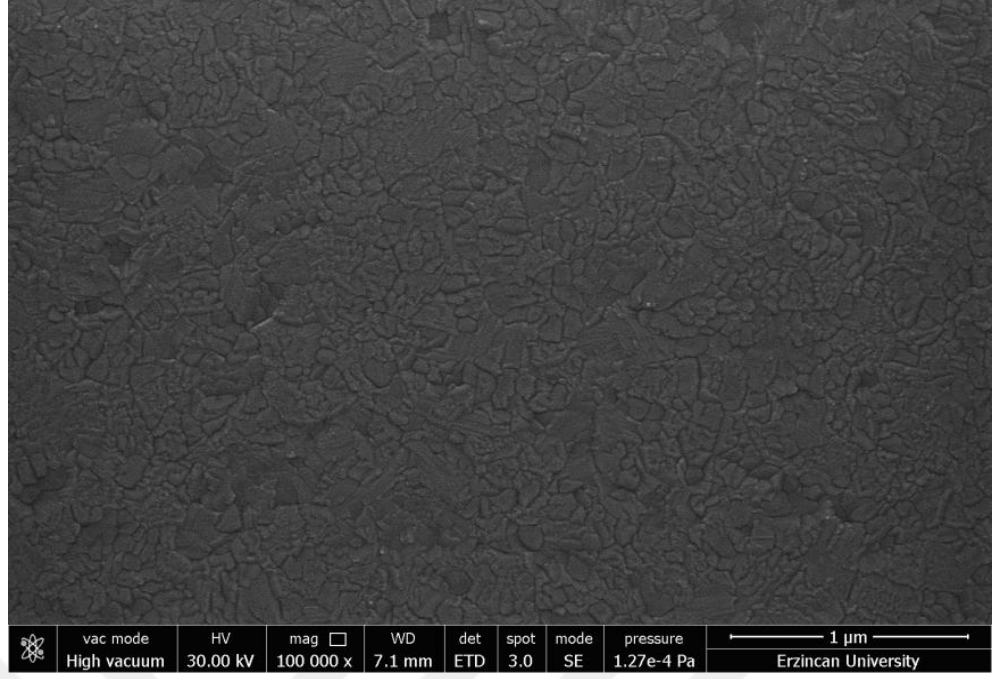


(d)

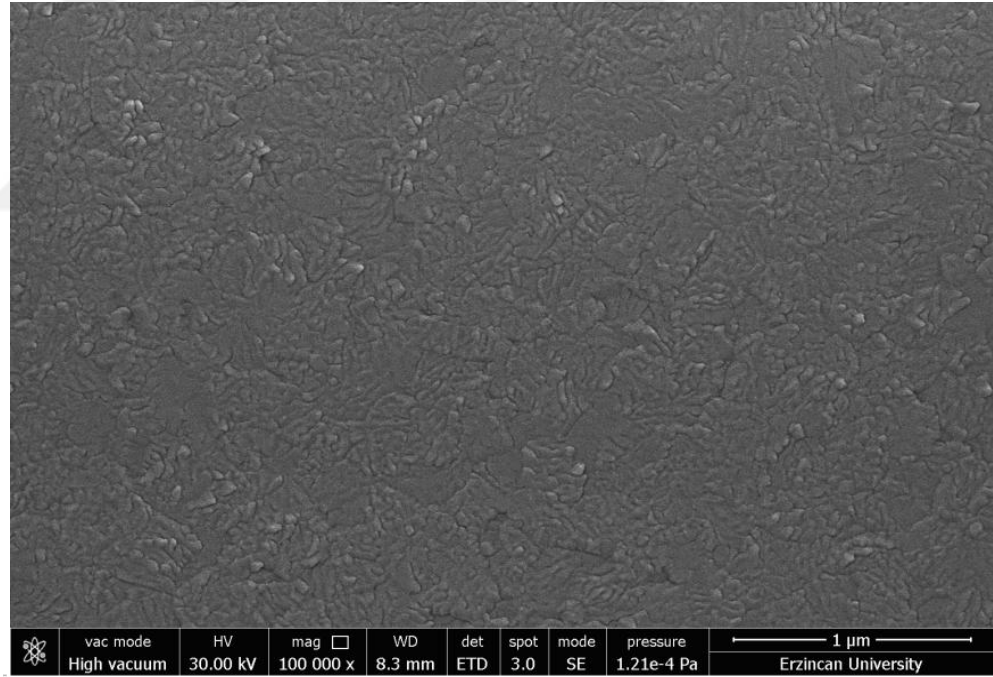


(e)

Şekil 3.13. (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 200.000 büyütmede SEM görüntüleri (Devam)

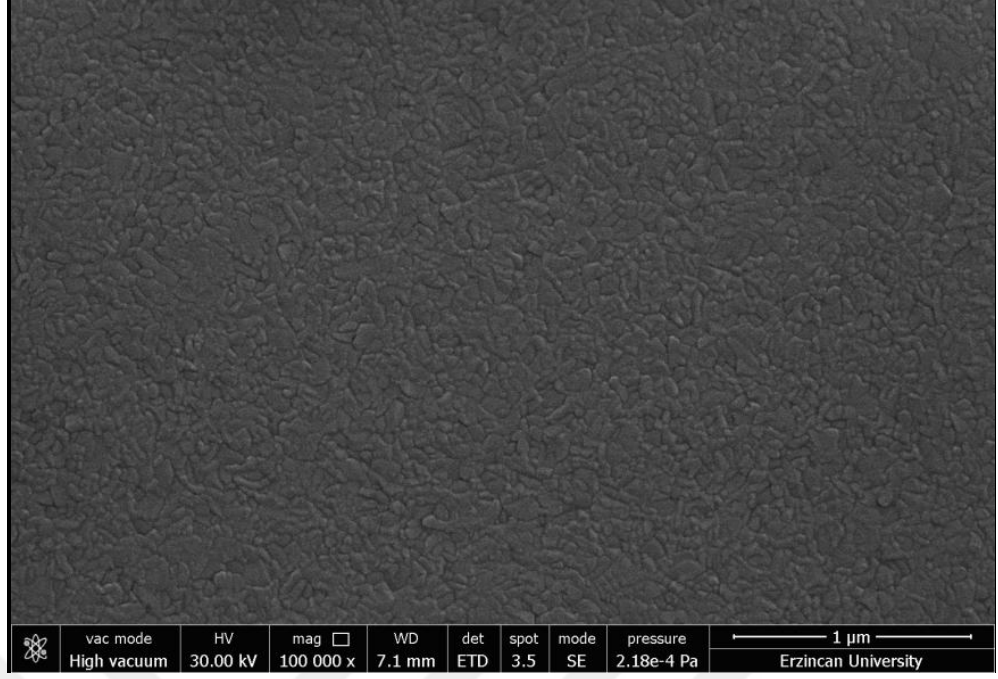


(a)

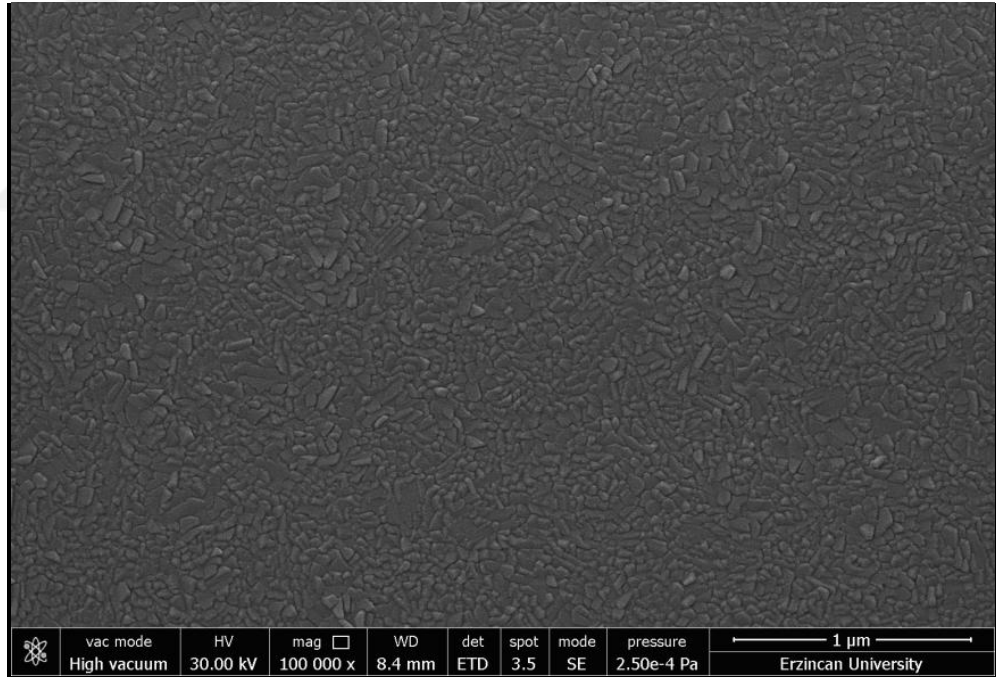


(b)

Şekil 3.14. 8 (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmede SEM görüntüleri

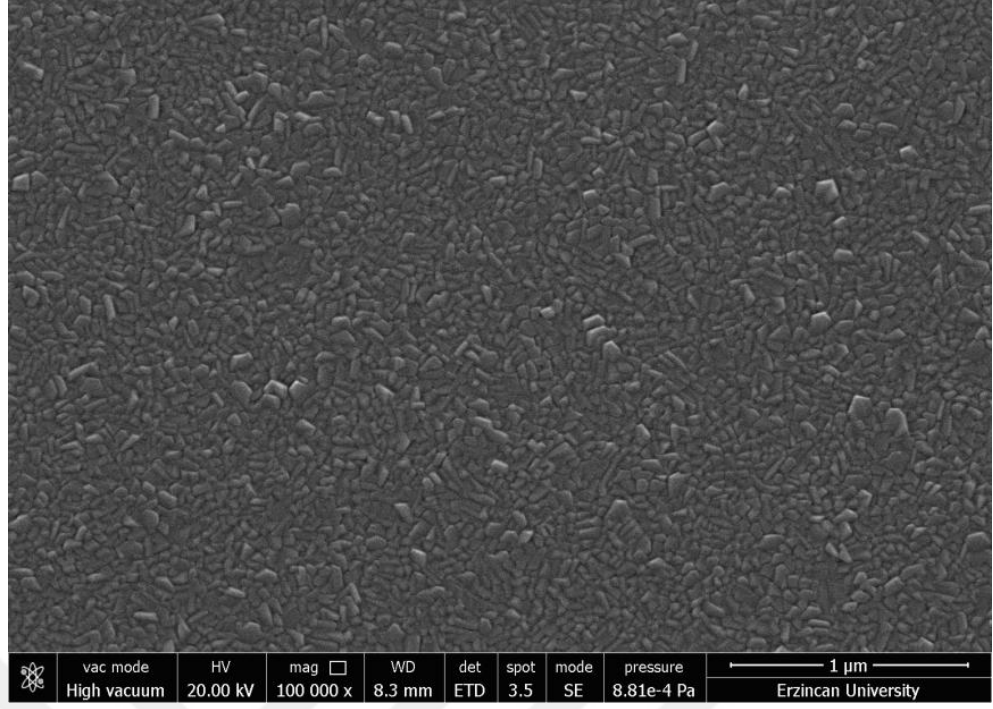


(c)



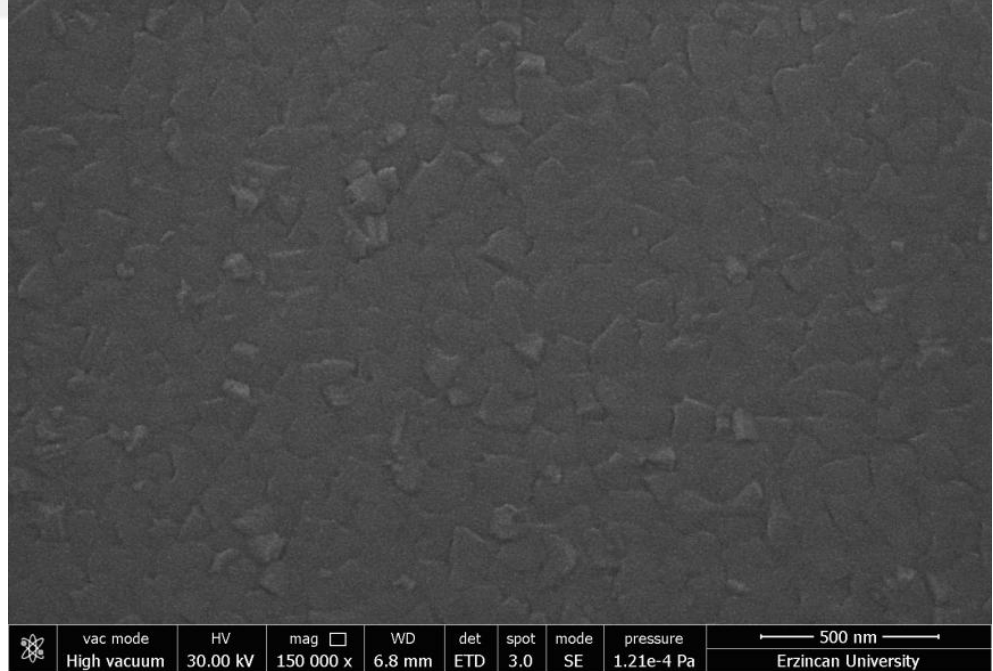
(d)

Şekil 3.14. 8 (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmede SEM görüntüleri (Devam)



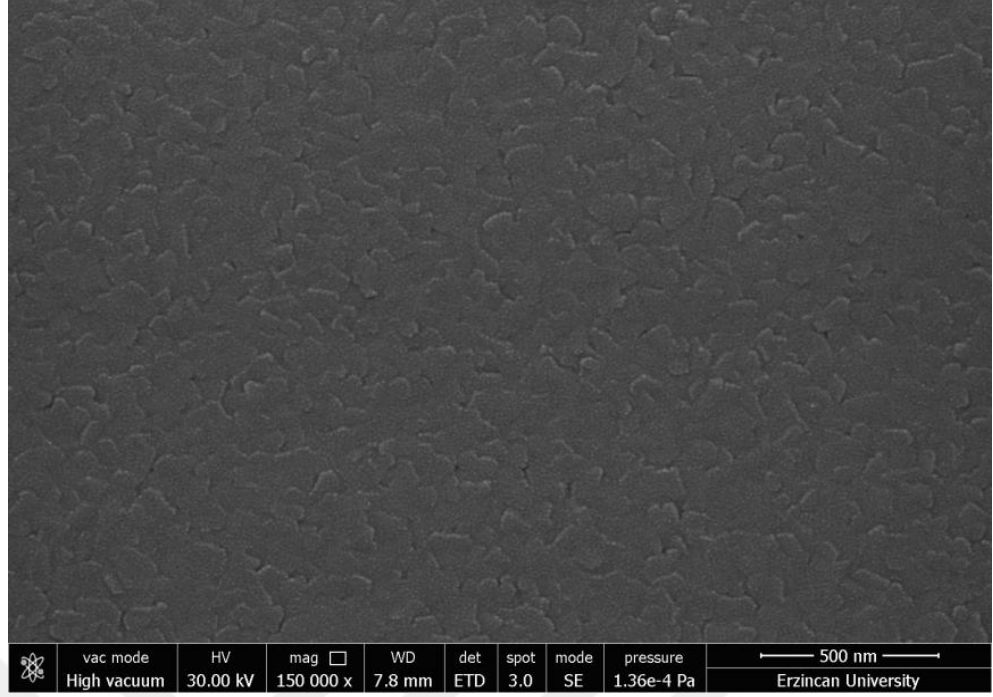
(e)

Şekil 3.14. 8 (a)8 mTorr, (b)12 mTorr, (c)16 mTorr, (d)20 mTorr ve (e)24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmede SEM görüntüleri (Devam)

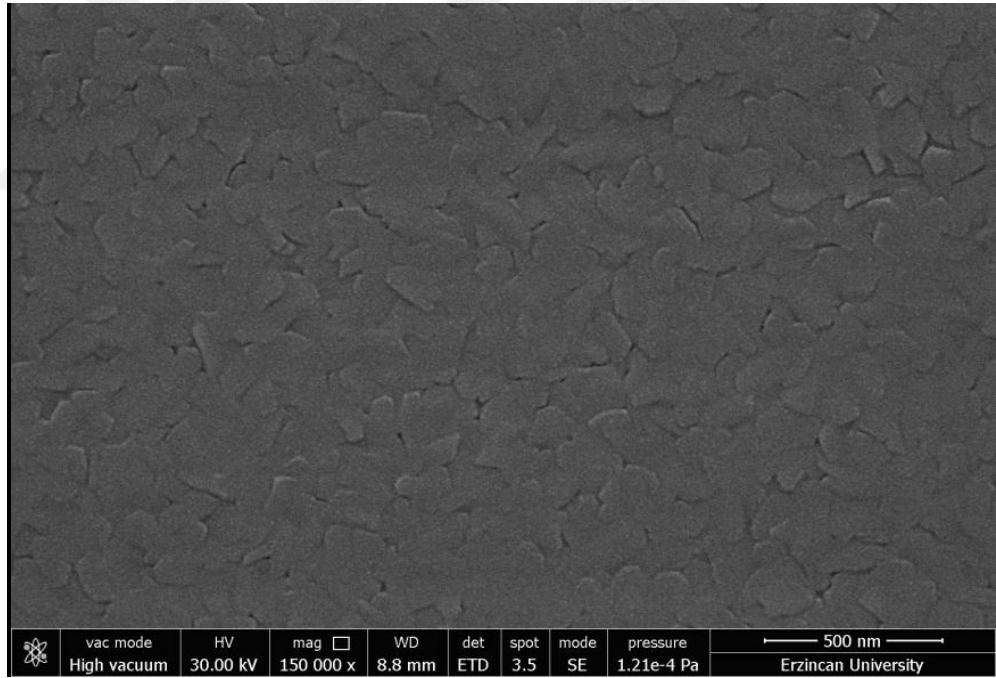


(a)

Şekil 3.15. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 150.000 büyütmede SEM görüntüleri

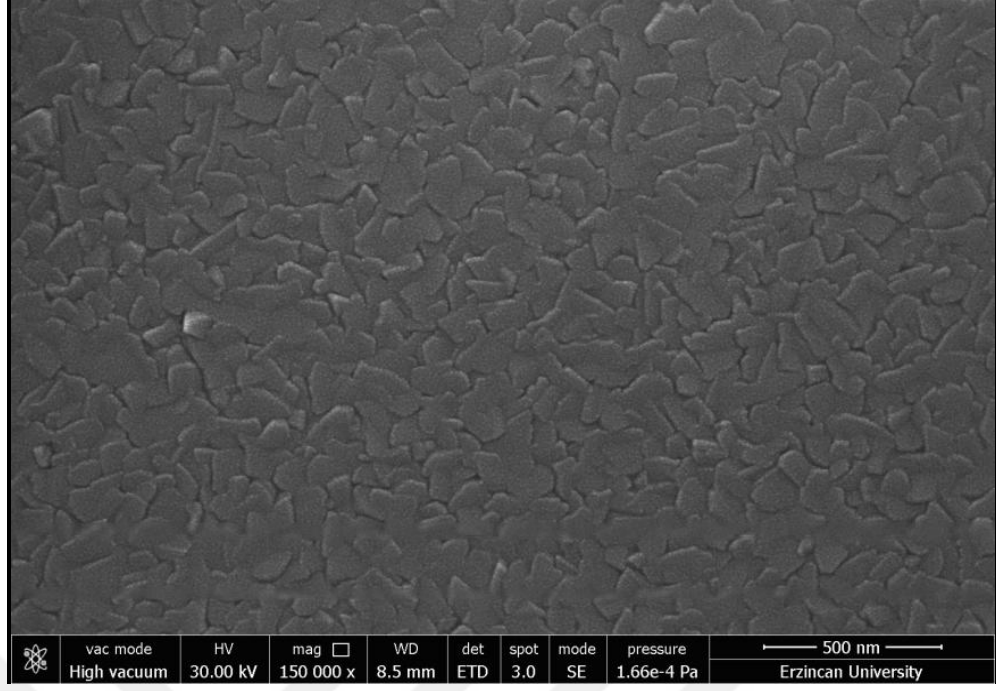


(b)

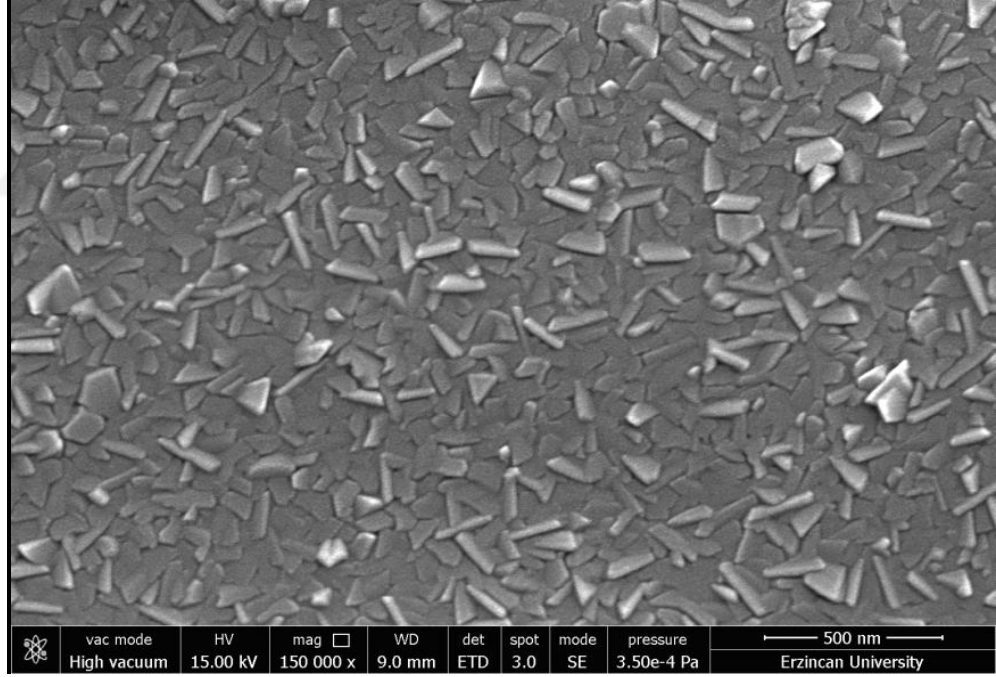


(c)

Şekil 3.15. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 150.000 büyütmede SEM görüntüleri (Devam)



(d)

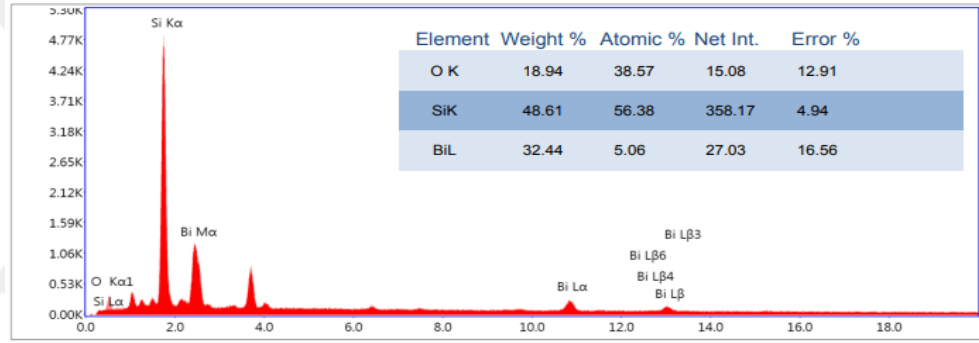


(e)

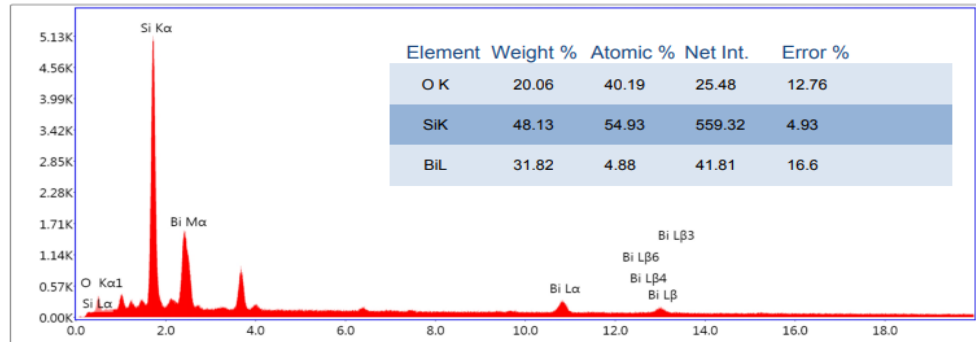
Şekil 3.15. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 150.000 büyütmede SEM görüntüleri (Devam)

3.2.3. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

Reaktif magnetron saçırma yöntemi kullanılarak cam, silisyum ve İTO alt taş üzerine Tablo 3.2 'de verilen parametreler ile büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin Enerji Dağılımlı X-Işınlari analizi sonuçları sırasıyla cam alt taş kullanılan filmler için Şekil 3.16'da, silisyum alt taş kullanılan filmler için Şekil 3.17'de ve İTO alt taş kullanılan filmler için Şekil 3.18'de verilmiştir. EDAX analizi sonuçları incelendiğinde basınç değişimine bağlı olarak yapıdaki bizmut ve oksijen oranının değiştiği görülmektedir. Yüksek basınçta argon gazı miktarı fazladır ve argon iyonlarının artması ile hedef yüzeye çarparak atom koparan iyon sayısı artar. Böylece yüzeyden koparılan bizmut atomları alt taşlarda daha yoğun birikir. Çalışma basıncı artırılarak yapılan büyüttmelerde yapıdaki bizmut miktarında ciddi bir artış olduğu görülmektedir.

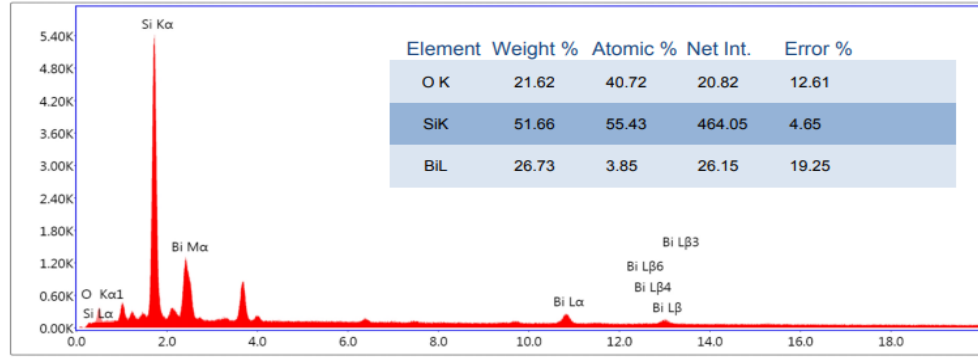


(a)

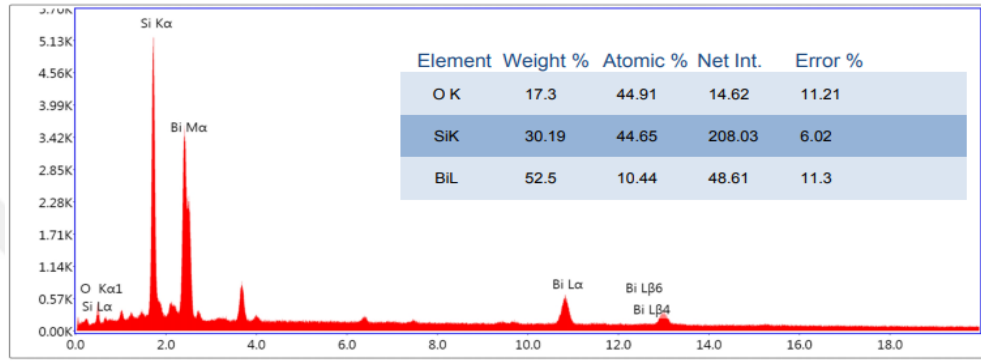


(b)

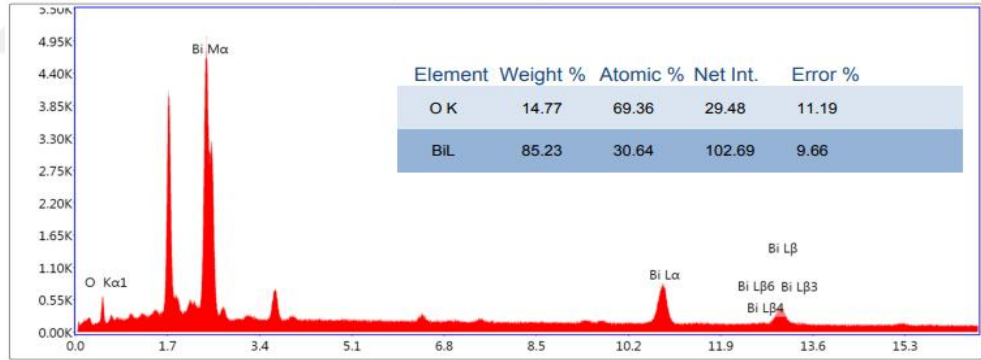
Şekil 3.16. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları



(c)

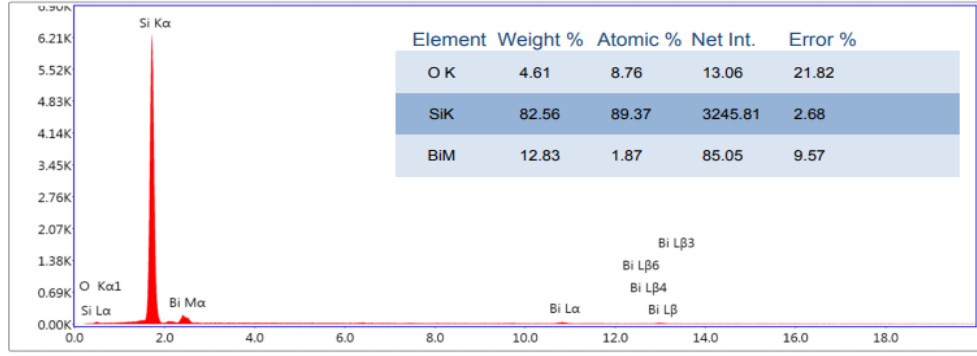


(d)

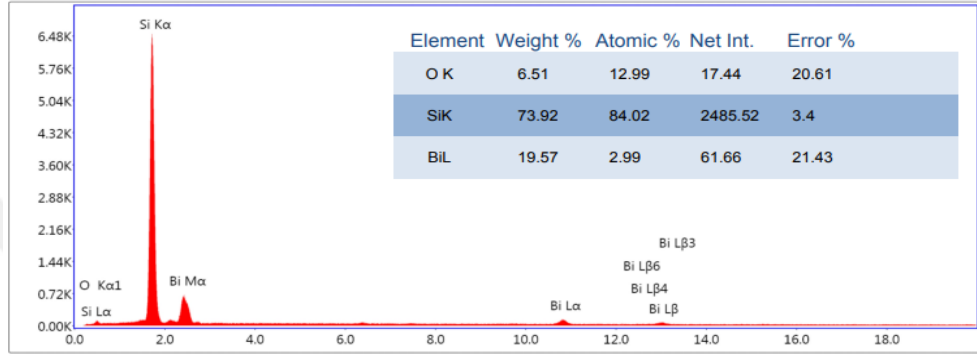


(e)

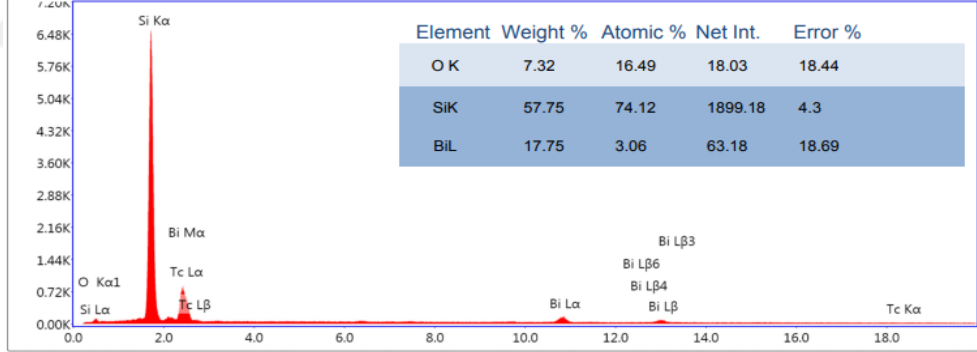
Şekil 3.16. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)



(a)

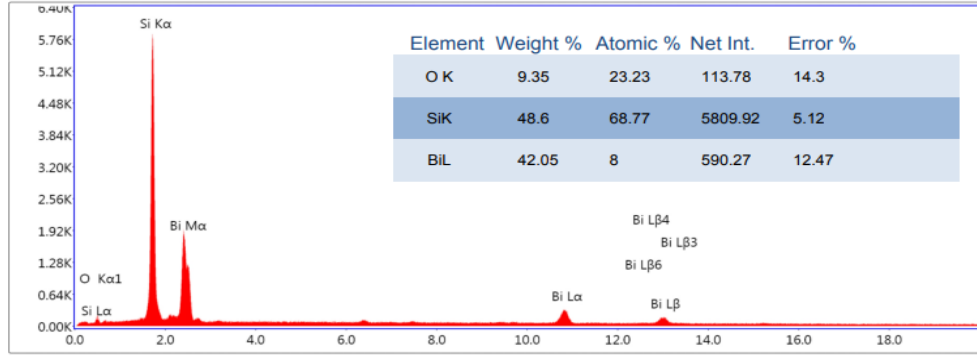


(b)

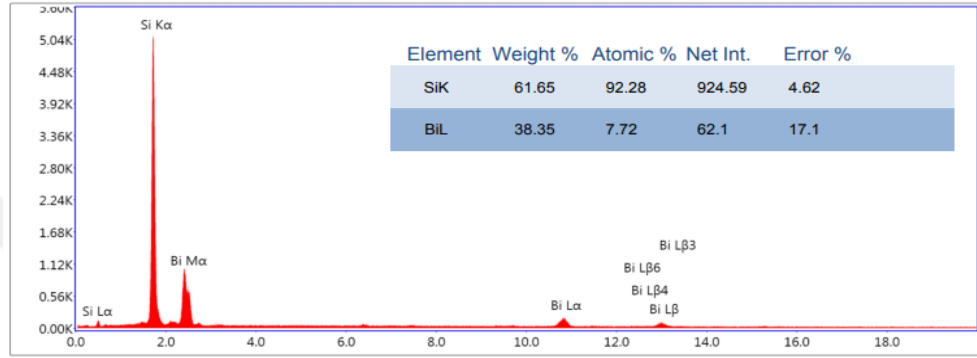


(c)

Şekil 3.17. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları

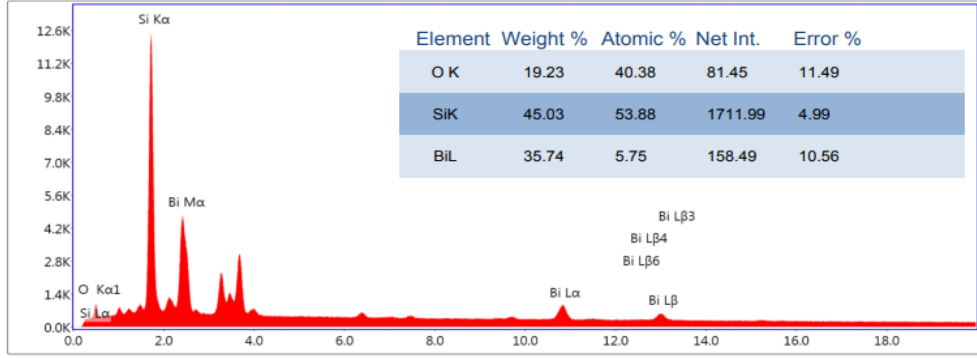


(d)



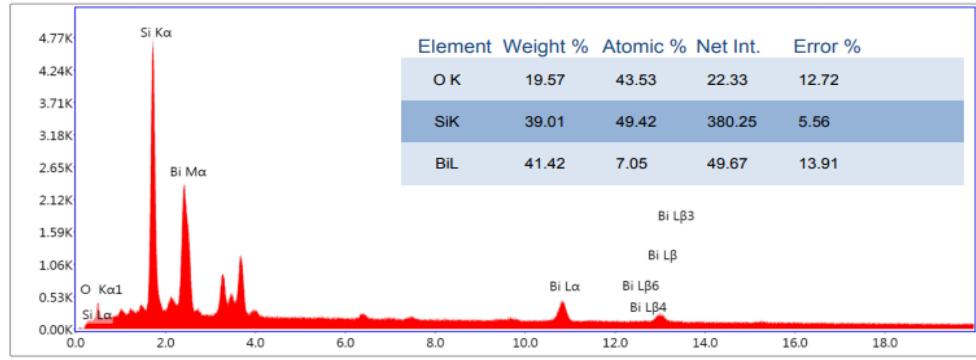
(e)

Şekil 3.17. (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında silisyum alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)

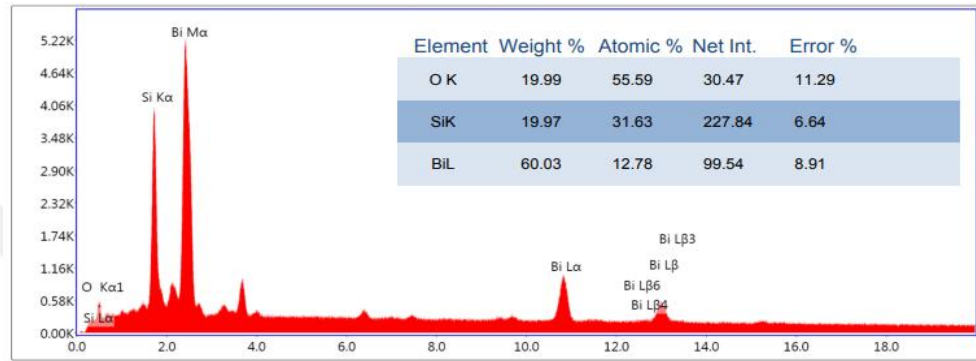


(a)

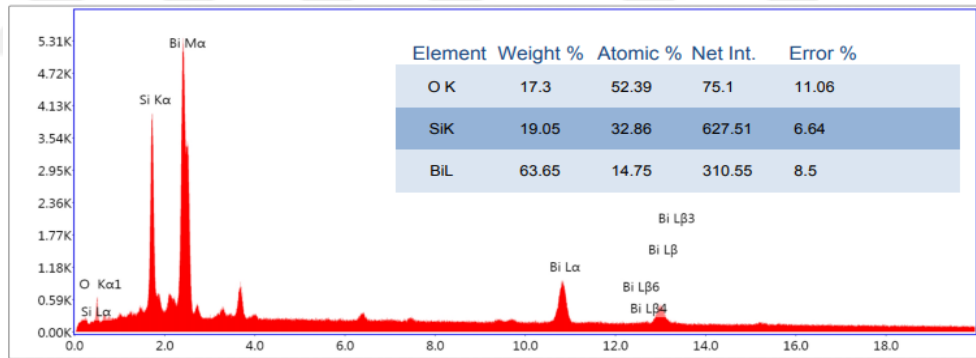
Şekil 3.18. 8 (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları



(b)

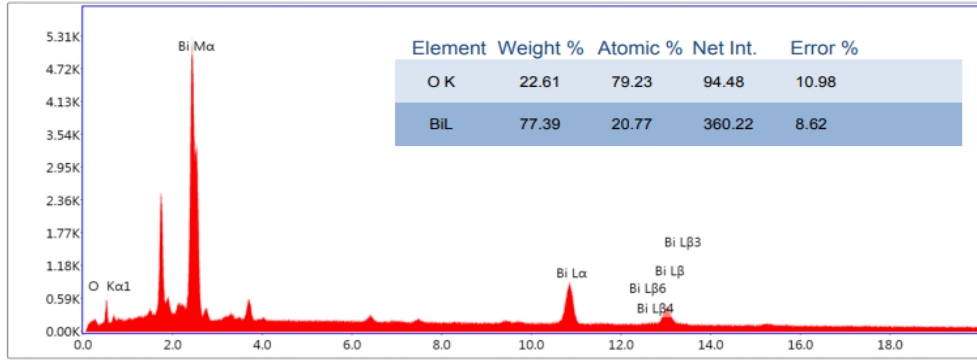


(c)



(d)

Şekil 3.18. 8 (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)



(e)

Şekil 3.18. 8 (a) 8 mTorr, (b) 12 mTorr, (c) 16 mTorr, (d) 20 mTorr ve (e) 24 mTorr basınç altında İTO alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)

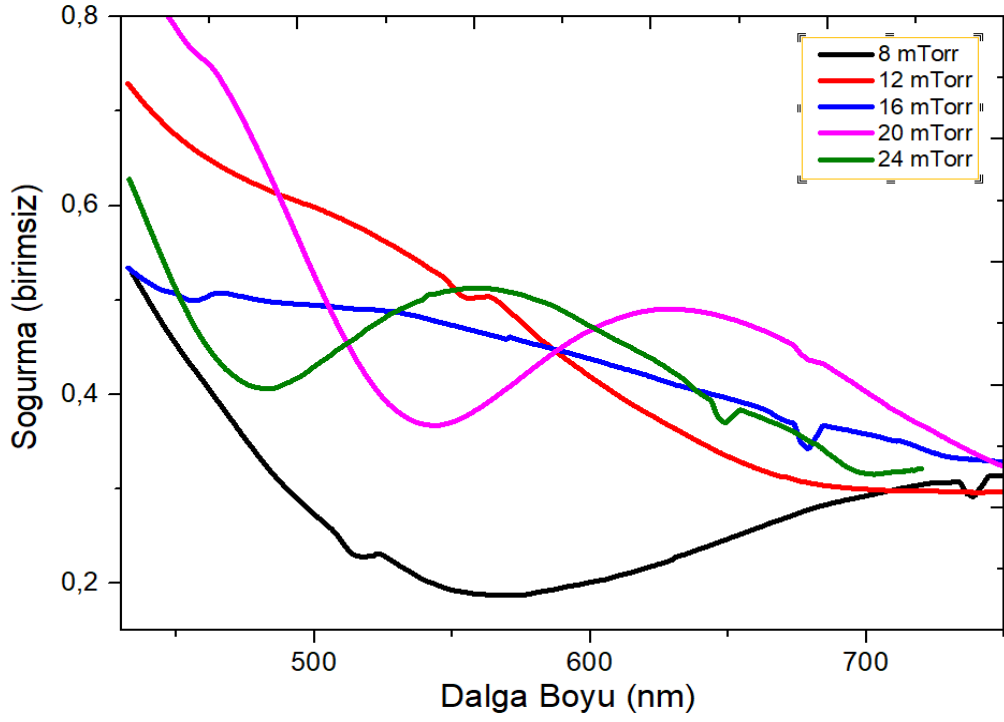
3.2.4. Farklı basınç seviyelerinde büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin soğurma sonuçları

Magnetron saçırma yöntemi kullanılarak cam alt taş üzerine farklı basınç seviyelerinde büyütülen ince filmlerin soğurma ölçümleri oda sıcaklığında spektroskopik elipsometre ile alınmıştır. Yapılan ölçümlerde malzemeye ait bant aralığı hakkında bilgi elde edilmiştir.

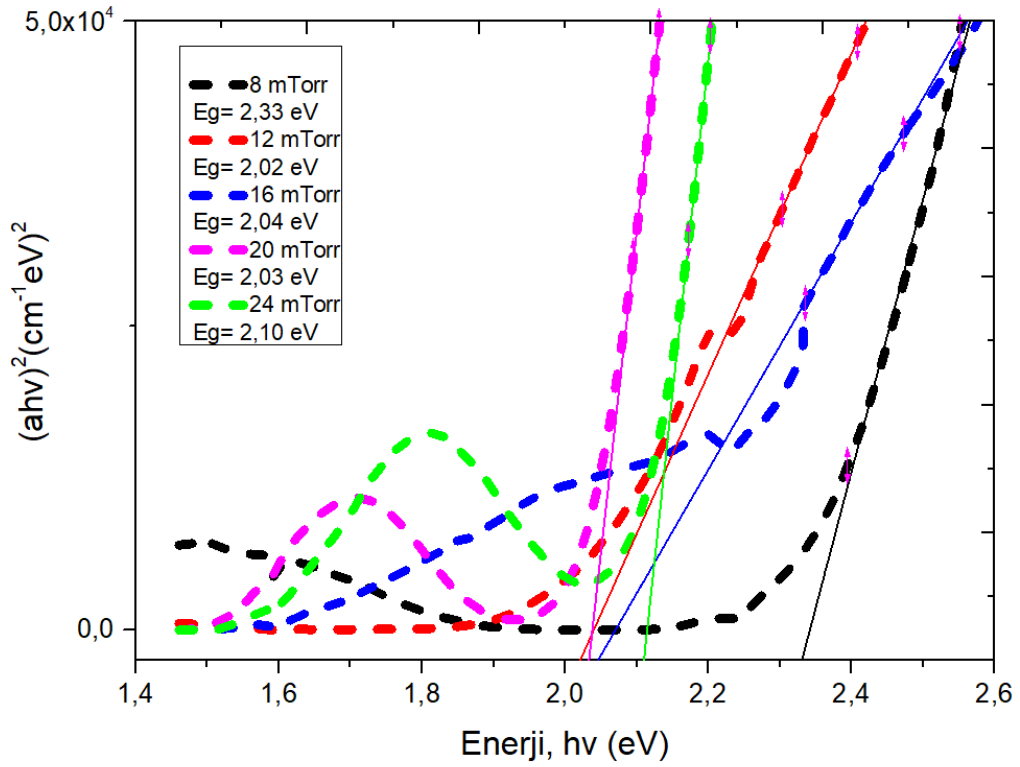
Şekil 3.19’da ince filmlerin soğurma grafiği verilmiştir. Farklı çalışma basıncında büyütülen filmlerin grafiği incelendiğinde 8 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr basınçlarda büyütülen filmlerden soğurmalarının daha düşük dalga boyunda olduğu görülmektedir.

Şekil 3.20’de cam alt taş üzerine farklı çalışma basınçlarında büyütülen filmlere ait $(ah\nu)^2(\text{cm}^{-1} \text{ eV})^2$ ’e karşı enerji grafiğinde çizilen fitler ile yasak bant aralığı enerjisinin değeri; 8 mTor çalışma basıncında büyütülen film için 2,33 eV, 12 mTor çalışma basıncında büyütülen film için 2,02 eV, 16 mTor çalışma basıncında büyütülen film için 2,04 eV, 20 mTor çalışma basıncında büyütülen film için 2,03 eV ve 24 mTor çalışma basıncında büyütülen film için 2,10 eV olarak hesaplanmıştır.

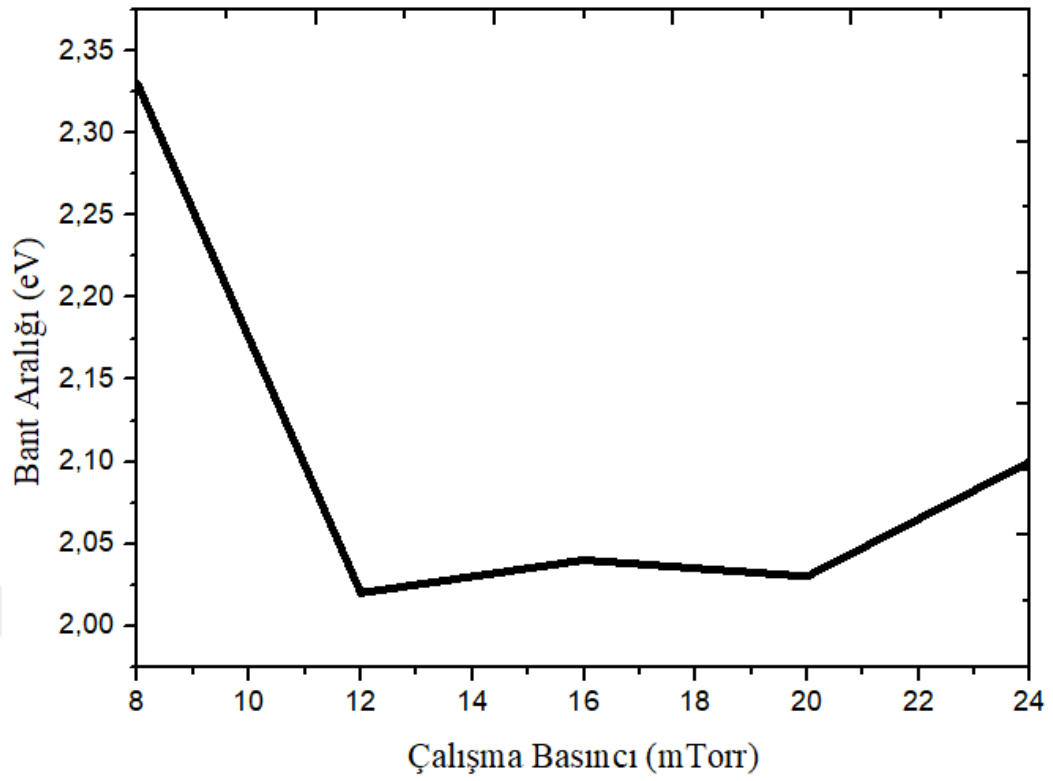
Şekil 3.21’de çalışma basıncına bağlı bant aralığı değişimi grafiği verilmektedir. Grafikten de anlaşıldığı üzere çalışma basıncının artmasıyla bant aralığı düşmüş daha sonra hemen hemen sabit kalarak 24 mTorr çalışma basıncında tekrar artış göstermiştir.



Şekil 3.19. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr, 24 mTorr basınçta cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin dalga boyuna karşı soğurma grafiği



Şekil 3.20. 8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr, 24 mTorr basınçta cam alt taş üzerine büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin enerji grafiği



Şekil 3.21. Çalışma basıncına bağlı bant aralığı değişimi grafiği

3.3. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi

Bi₂O₃ ince filmler RF-magnetron saçtırma yöntemi ile farklı O₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütüldü. Büyütme parametreleri Tablo 3.3 'de verilmektedir.

Tablo 3.3. Farklı O₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin büyütme parametreleri

Seri numarası	Sıcaklık (°C)	Güç (W)	Ar basıncı (sccm)	O ₂ basıncı (sccm)	Çalışma basıncı (mTorr)	Toplam basınç (mTorr)	O ₂ kısmi basıncı (%)	Süre (dk)
3-1	300	40	80	15	8,15	9,05	9,9	16
3-2	300	40	80	45	8.1	12,5	35,2	20
3-3	300	40	176	15	25	26,5	5,6	36
3-4	300	40	175	45	24	31,5	23,8	60

3.3.1. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD sonuçları

Reaktif magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin yapısal analizi için 2 θ formunda 20°'den 60°'ye kadar değişen difraktometre açısıyla X-Ray difraktometre kullanıldı. Cam, silisyum ve İTO alt taş üzerine, farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde, Tablo 3.3 ' de verilen büyütme parametrelerinde büyütülen ince filmlere ait XRD kırınım desenleri Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'de verilmiştir. XRD kırınım desenindeki pikler incelendiğinde çalışma basıncı ve O₂ kısmi basıncı arttıkça yeni yüzey merkezli kübik, monoklinik ve tetragonal yapıların oluştuğu belirlenmiştir.

Şekil 3.22'de cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 9.9% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,18) ve 222(2 θ = 58,64°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

35,2% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 27,96), 200(2 θ = 31,81°), 220(2 θ = 46,97°) ve 222(2 θ = 57,17°) fcc-Bi₂O₃ yapı , 012(2 θ = 28,83°) monoklinik Bi₂O₃ yapı 024(2 θ = 55,14°) Bi₂O₃ yapı ve 402(2 θ = 45,05°), 223(2 θ = 53,49°) tetragonal Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

5,6% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,06), 200(2 θ = 32,51°), 220(2 θ = 46,52°) ve 222(2 θ = 57,53°) fcc-Bi₂O₃ yapı, 024(2 θ = 55,05°) Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

23,8% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,24), 200(2 θ = 32,58°), 220(2 θ = 46,59°) ve 222(2 θ = 57,81°) fcc-Bi₂O₃ yapı, 024(2 θ = 55,14°) Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

Şekil 3.23'de silisyum alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 9.9% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 27,90) ve 222(2 θ = 57,33°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

35,2% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 27,74), 220(2 θ = 46,64) fcc-Bi₂O₃ yapı, 012(2 θ = 28,54°) monoklinik Bi₂O₃ yapı ve 402(2 θ = 44,74°) tetragonal Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

5,6% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 27,90), 200(2 θ = 32,28) ve 220(2 θ = 46,26) ve 222(2 θ = 57,23) fcc-Bi₂O₃ yapı, 024(2 θ = 54,79°) Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

23,8% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,03), 200(2 θ = 32,40) ve 220(2 θ = 46,36) ve 222(2 θ = 57,46) fcc-Bi₂O₃ yapı, 024(2 θ = 54,90°) Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

Şekil 3.24'de İTO alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin XRD kırınım deseninde gösterilen pikler incelendiğinde, 9,9% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,14), 220(2 θ = 46,28°), 311(2 θ = 54,82°) ve 222(2 θ = 57,61°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

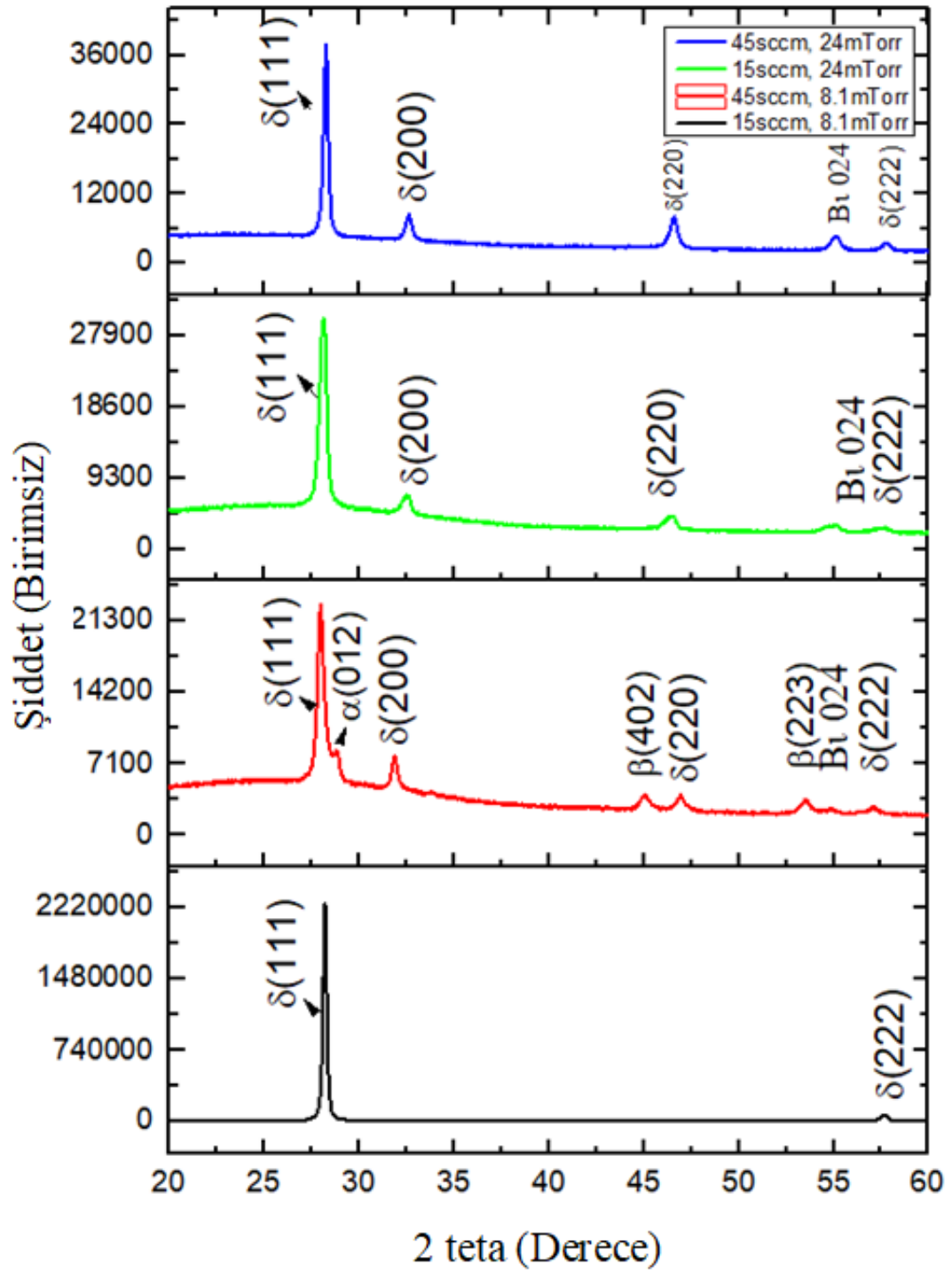
35,2% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 27,98), 200(2 θ = 31,85°), 220(2 θ = 46,97°), 311(2 θ = 54,90°) ve 222(2 θ = 57,12°) fcc-Bi₂O₃ yapı, 012(2 θ = 28,85°), 200(2 θ = 33,80°) monoklinik Bi₂O₃ yapı ve 402(2 θ = 45,05°), 223(2 θ = 53,48°) tetragonal Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

5,6% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,19), 200(2 θ = 32,51°), 220(2 θ = 46,59°), 311(2 θ = 55,11°) ve 222(2 θ = 57,79°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur.

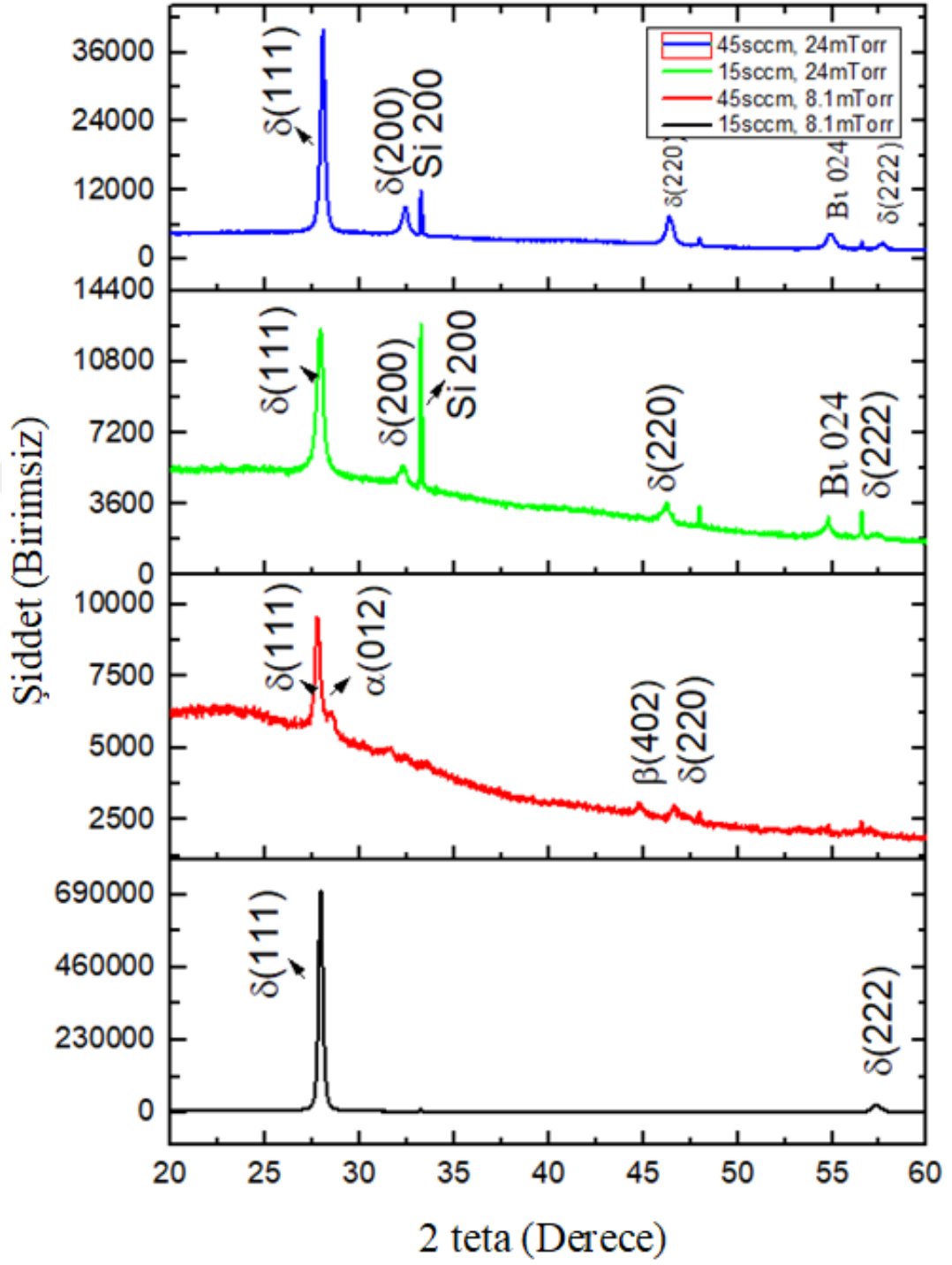
23,8% O₂ kısmi basıncıyla büyütülen filmlerde 111(2 θ = 28,27), 200(2 θ = 32,71°), 220(2 θ = 46,72°), 311(2 θ = 55,23°) ve 222(2 θ = 57,82°) fcc-Bi₂O₃ yapı mevcuttur. (Meng ve ark.,2018; Lunca ve ark.,2017).

XRD pikleri incelendiğinde farklı alt taşlarda farklı polimorfların oluştuğu ve O₂ kısmi basıncının değişimiyle çalışma basıncının düşük olduğu filmlerde yeni fazların oluştuğu, faz kaymalarının olduğu ve pik şiddetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

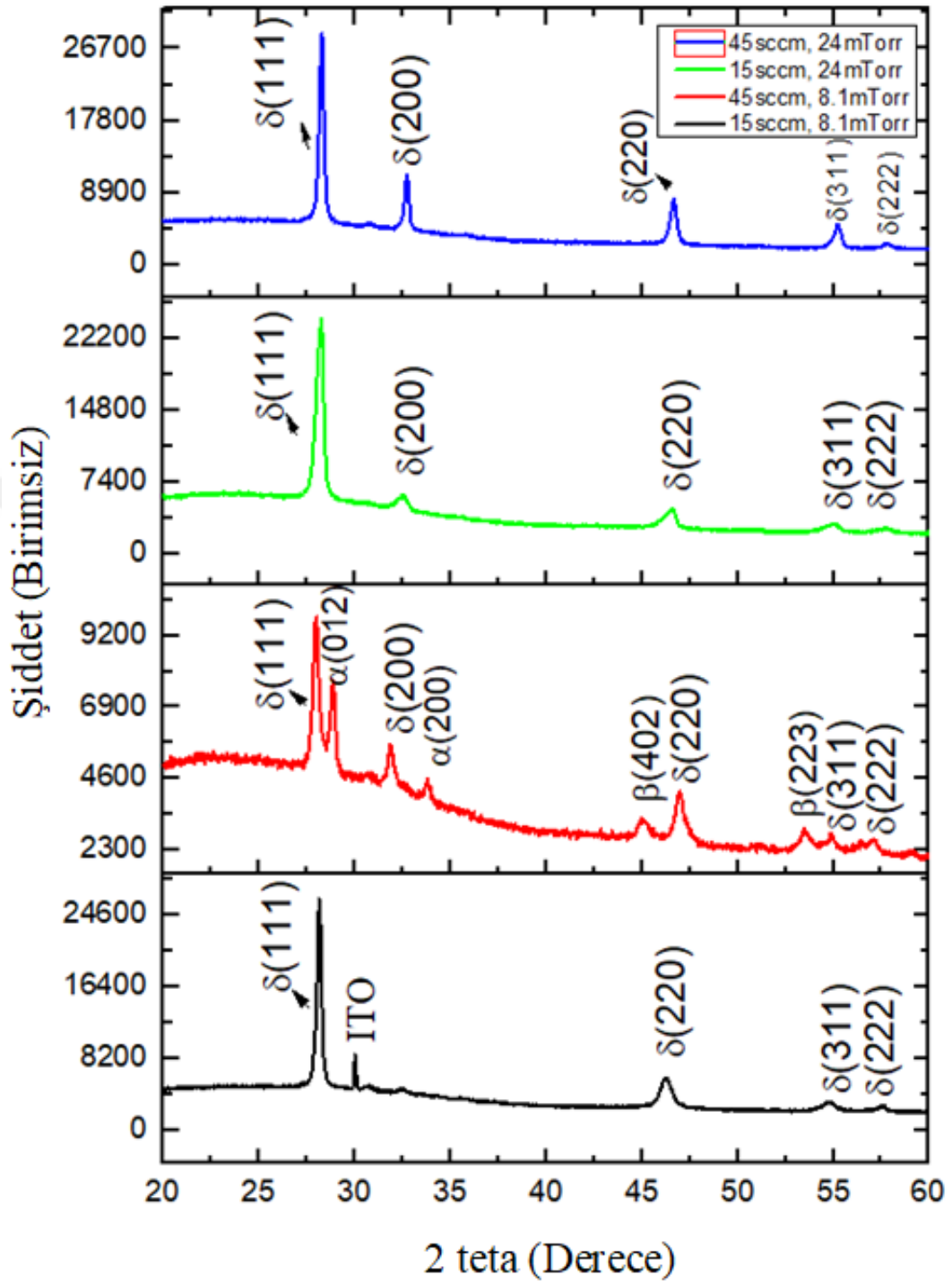
Çalışma basıncının yüksek olduğu filmlerde ise O₂ kısmi basıncının artmasıyla yeni fazların oluşmadığı ancak pik şiddetlerinde artış olduğu ve faz kaymalarının da gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 3.22. Cam alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseni

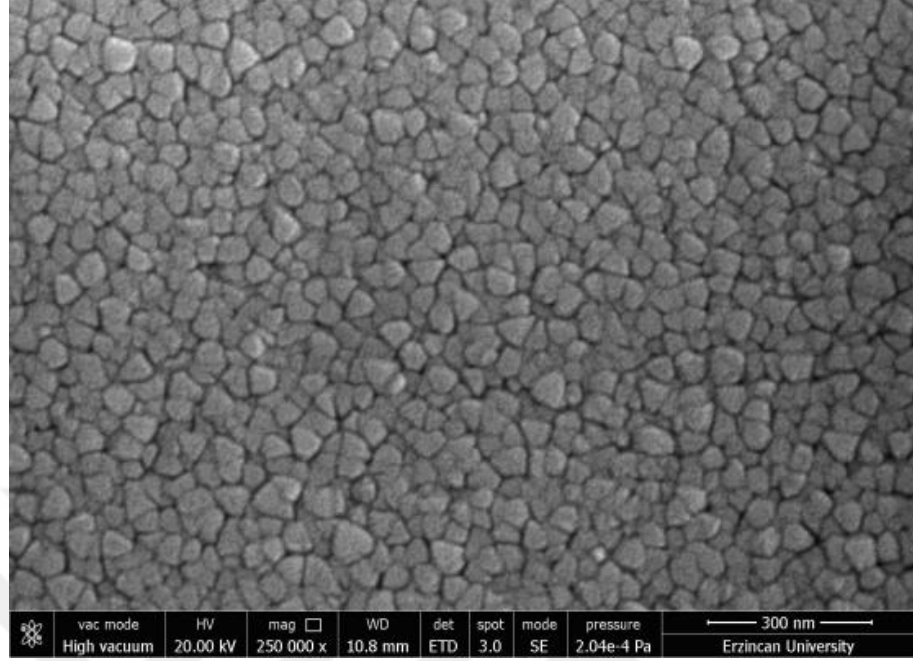


Şekil 3.23. Silisyum alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1mTorr ve 24mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseni

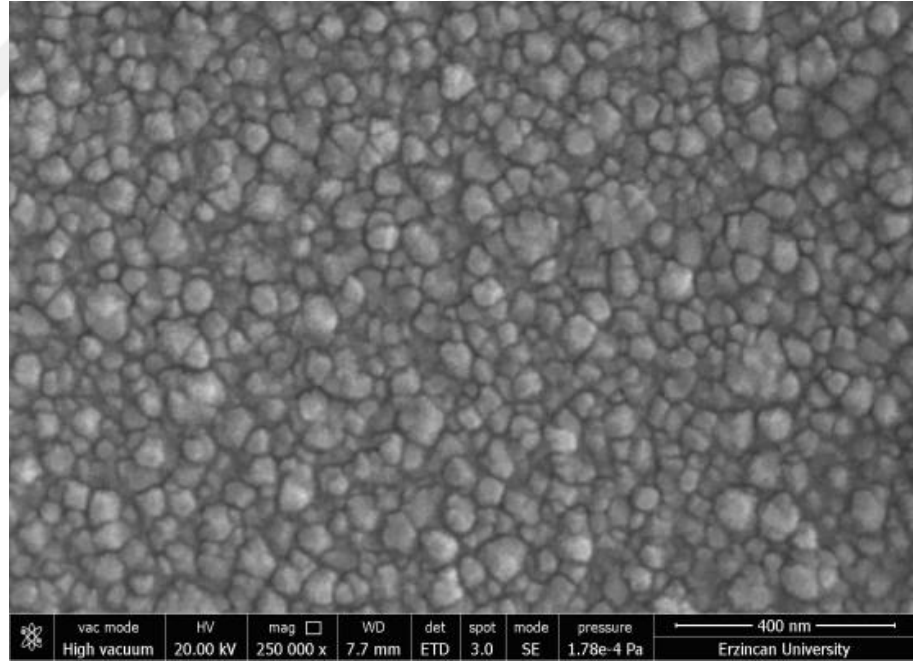


Şekil 3.24. İTO alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin XRD kırınım deseni

3.3.2. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin SEM sonuçları

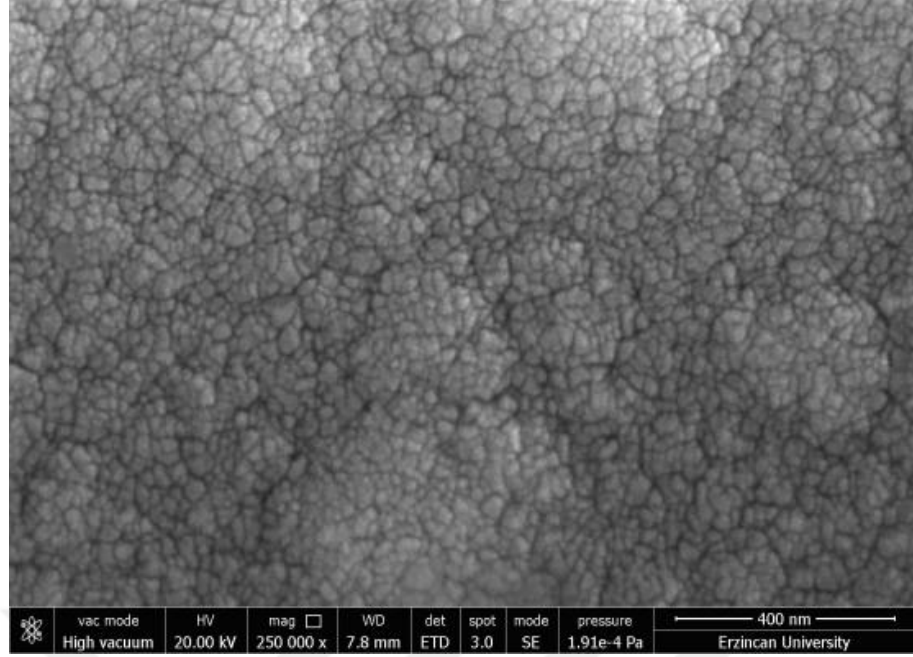


(a)

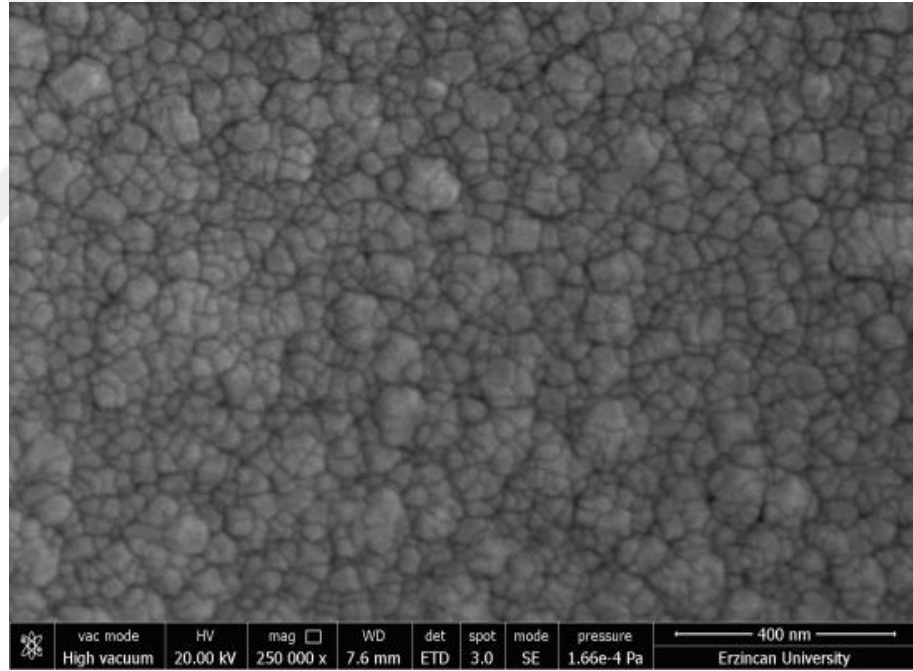


(b)

Şekil 3.25. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin 250.000 büyütmedeki SEM görüntüsü



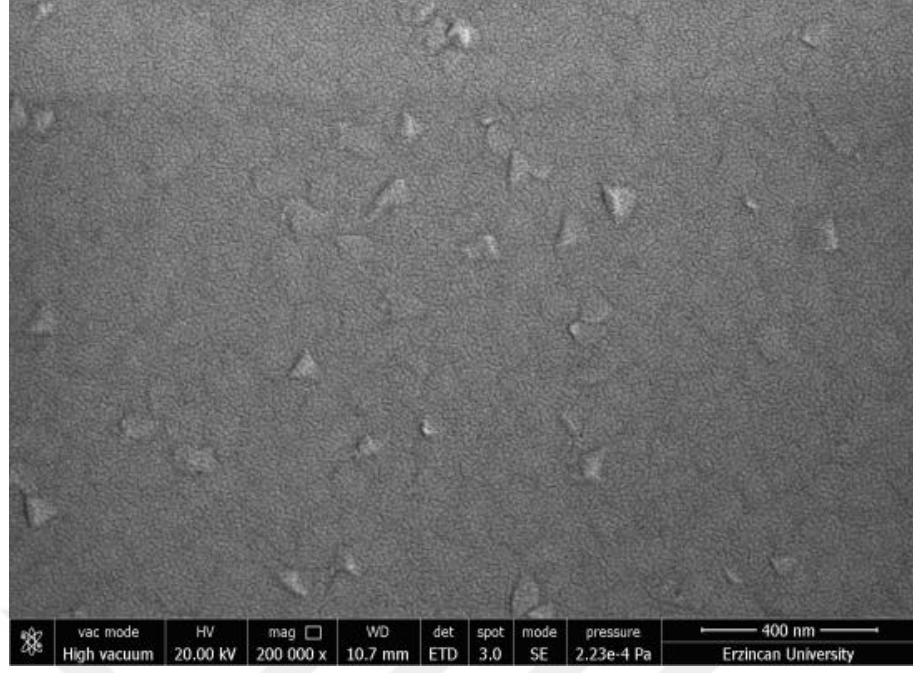
(a)



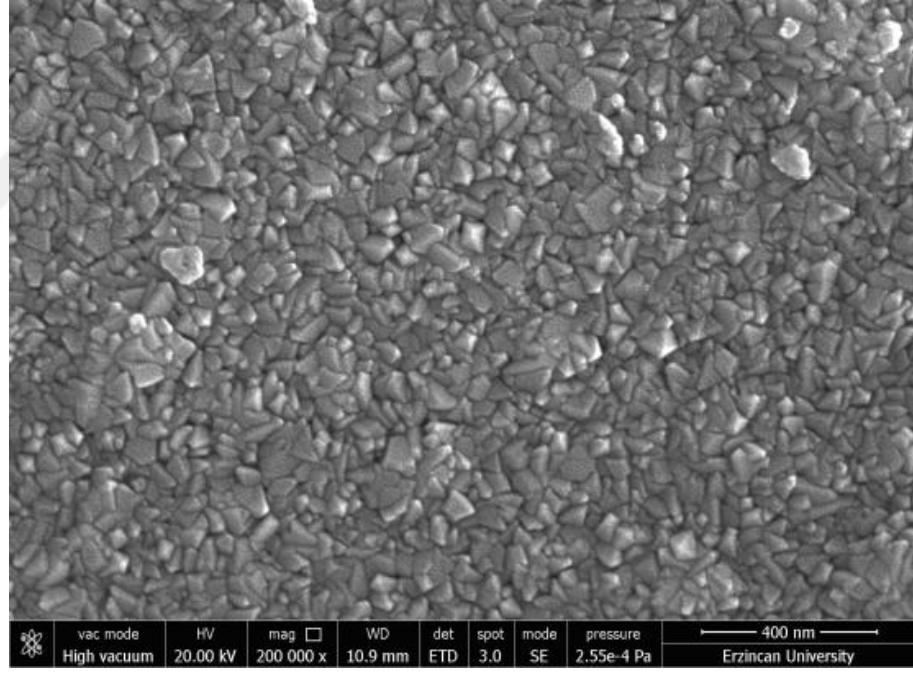
(b)

Şekil 3.26. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a)15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin 250.000 büyütmedeki SEM görüntüsü

Reaktif magnetron saçırma yöntemi kullanılarak cam ve silisyum alt taş üzerine Tablo 3.3.'de verilen parametreler ile büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin SEM görüntüleri Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de verilmiştir.

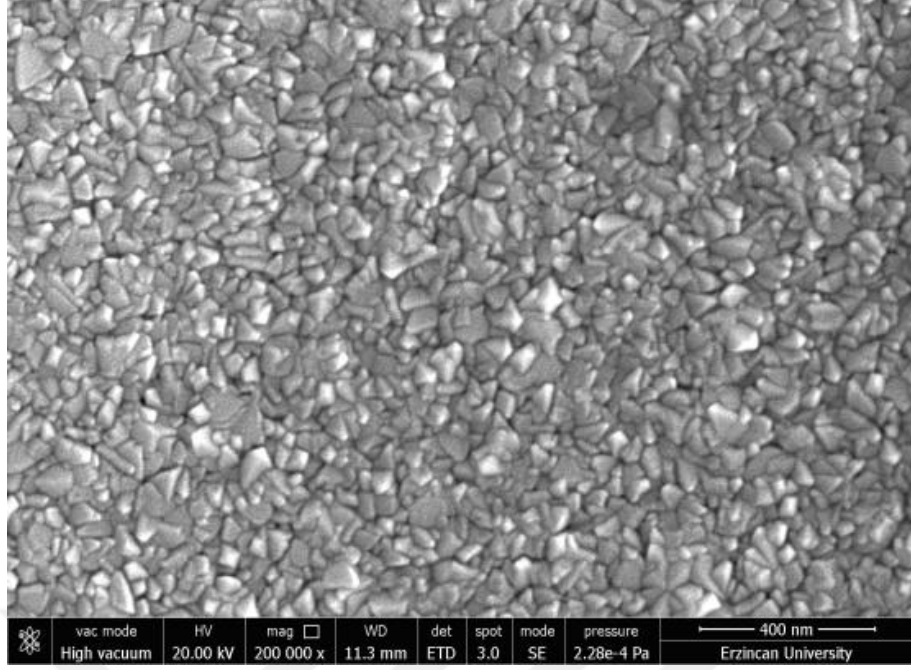


(a)

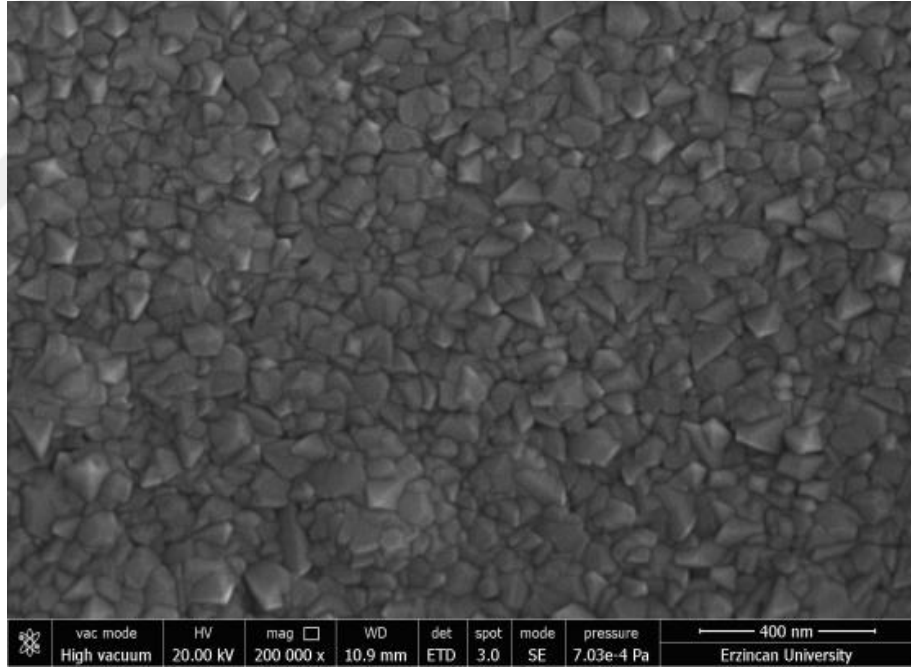


(b)

Şekil 3.27. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin 200.000 büyütmedeki SEM görüntüsü



(a)



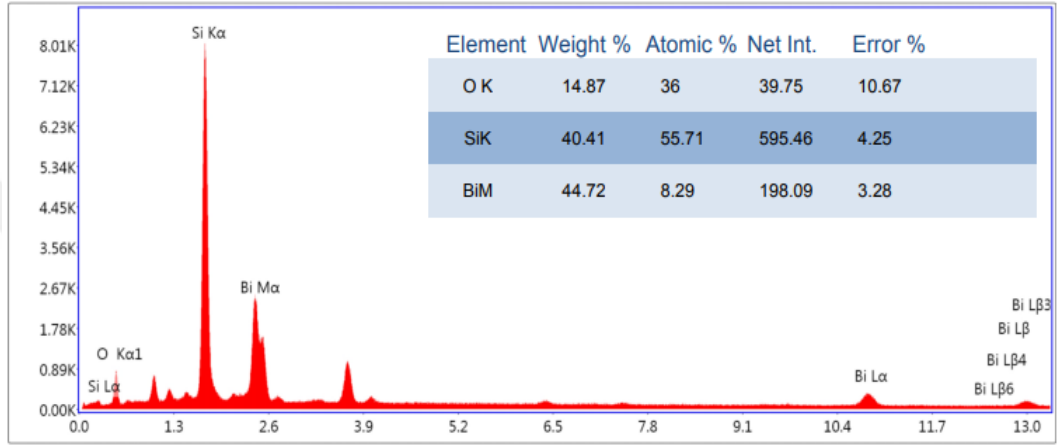
(b)

Şekil 3.28. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla 15 sccm ve 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin 200.000 büyütmedeki SEM görüntüsü

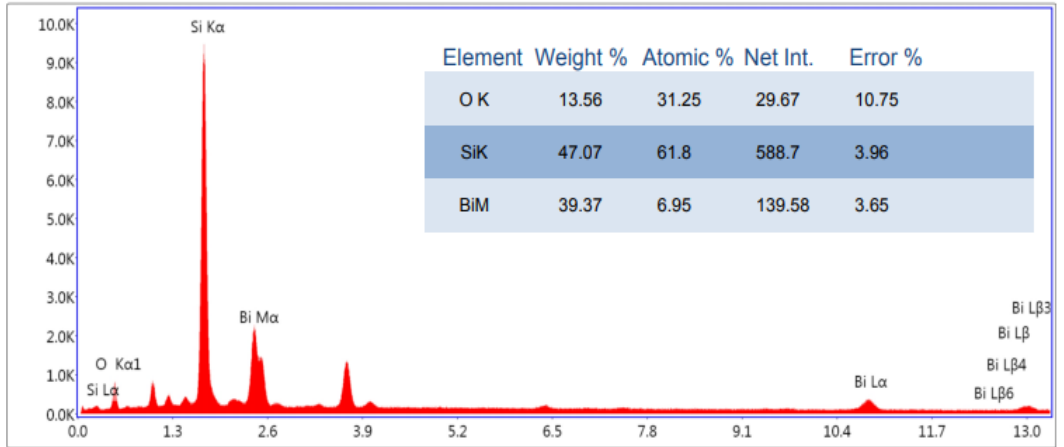
%9.9, %35.2, %23.8, %5.6 kısmi O₂ basıncında 8 mTorr ve 24 mTorr basınçta büyütülen filmlerin SEM görüntüleri incelendiğinde oksijenin kısmi basıncı artırıldığında film kalitesinde azalma olduğu anlaşılmıştır.

3.3.3. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

Reaktif magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak cam, İTO ve silisyum alt taş üzerine Tablo 3.3’de verilen parametreler ile büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin Enerji Dağılımlı X-Işınları analizi sonuçları Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’de verilmiştir. EDS analizi sonuçları incelendiğinde oksijenin kısmi basıncının değişmesi ile yapıdaki oksijen miktarının etkilenmediği anlaşılmaktadır.

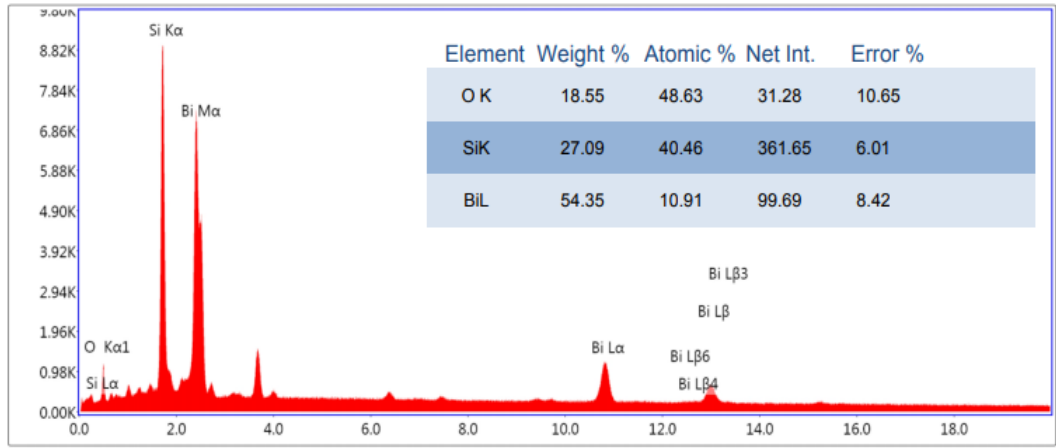


(a)

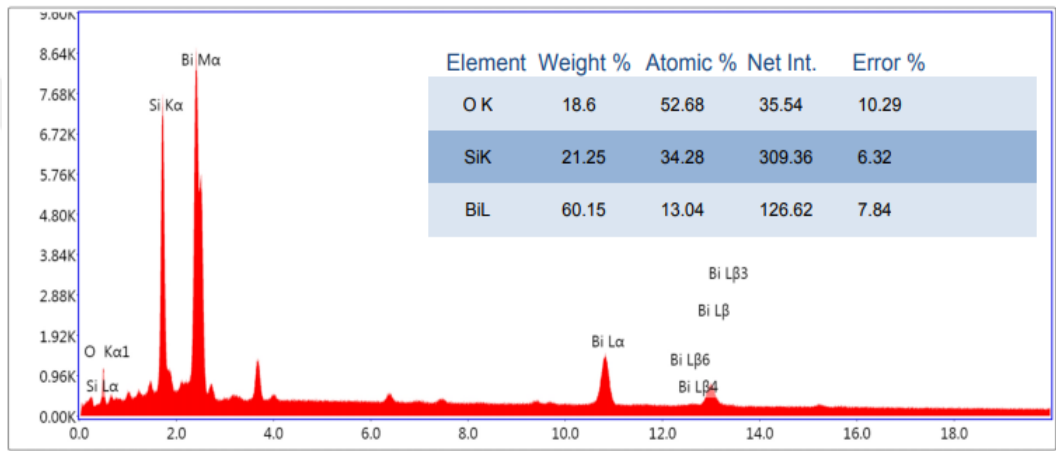


(b)

Şekil 3.29. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

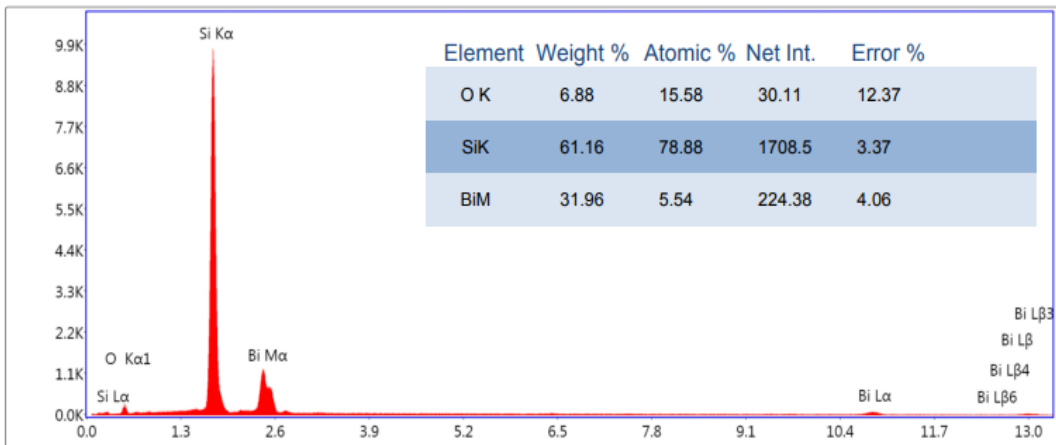


(a)



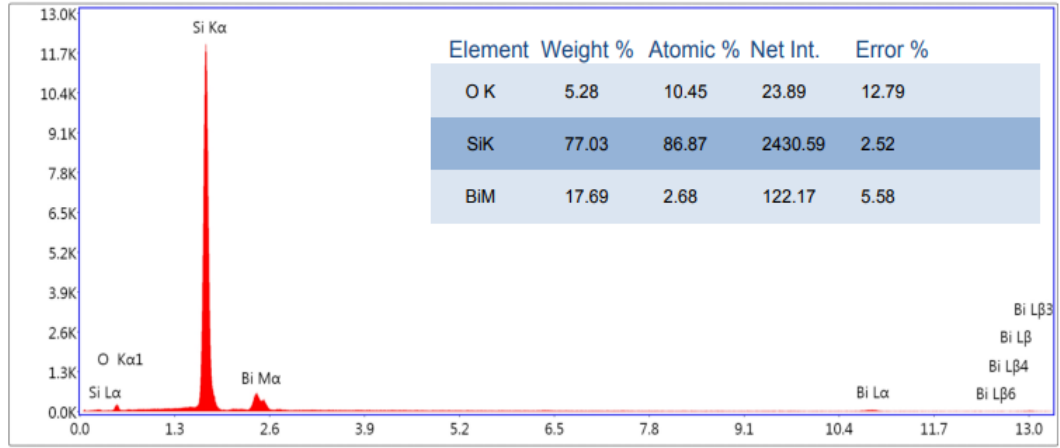
(b)

Şekil 3.30. Cam alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları



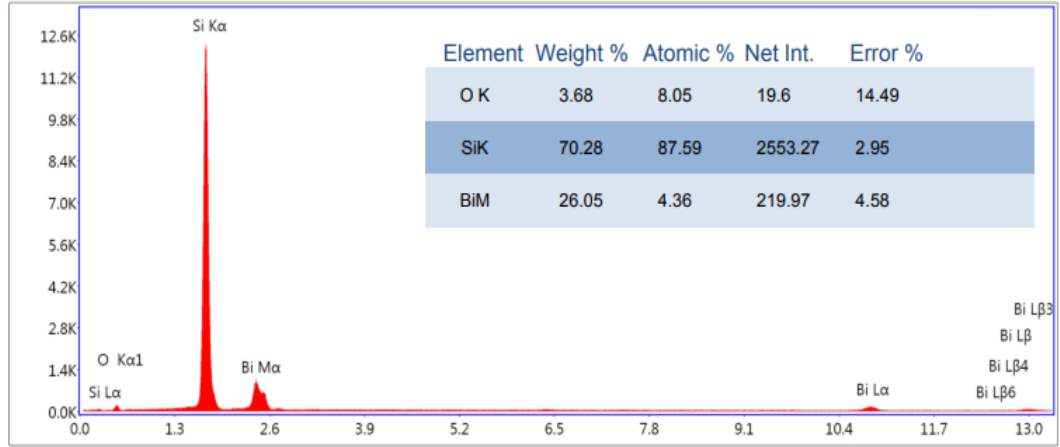
(a)

Şekil 3.31. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

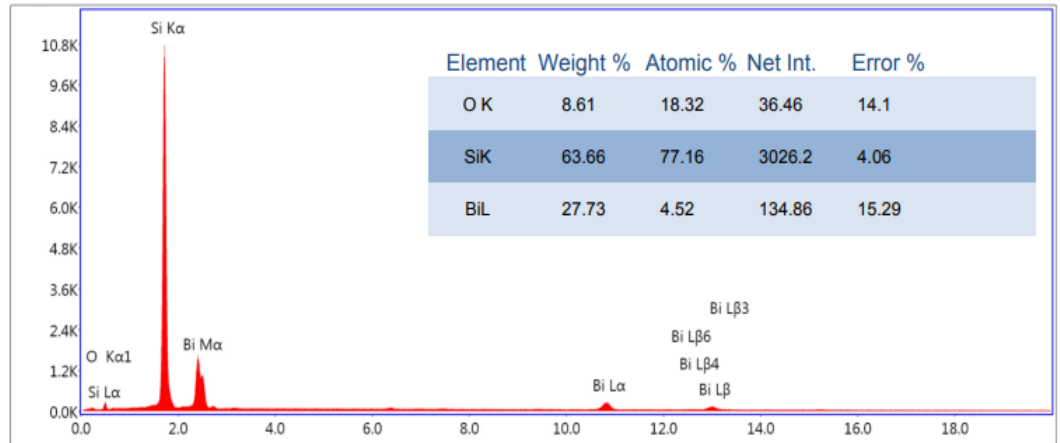


(b)

Şekil 3.31. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları (Devam)



(a)



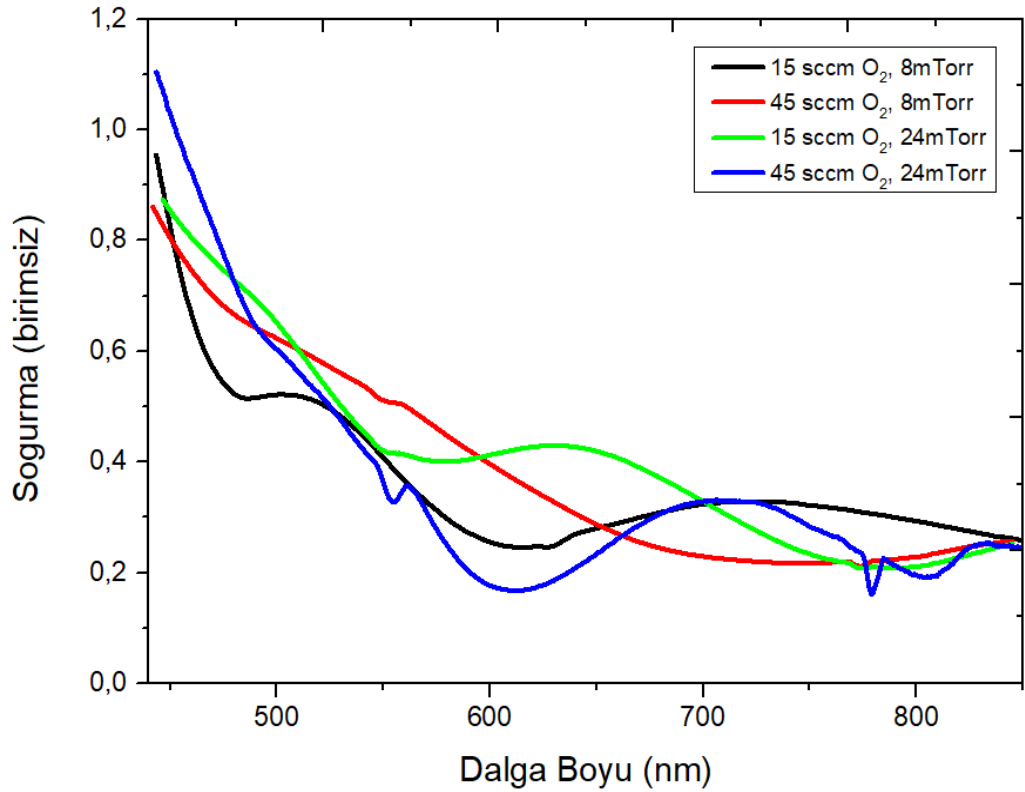
(b)

Şekil 3.32. Silisyum alt taş üzerine sırasıyla (a) 15 sccm ve (b) 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

3.3.4. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin soğurma sonuçları

Magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütülen ince filmlerin soğurma ölçümleri oda sıcaklığında spektroskopik elipsometre ile alınmıştır. Yapılan ölçümlerde malzemeye ait bant aralığı hakkında bilgi elde edilmiştir.

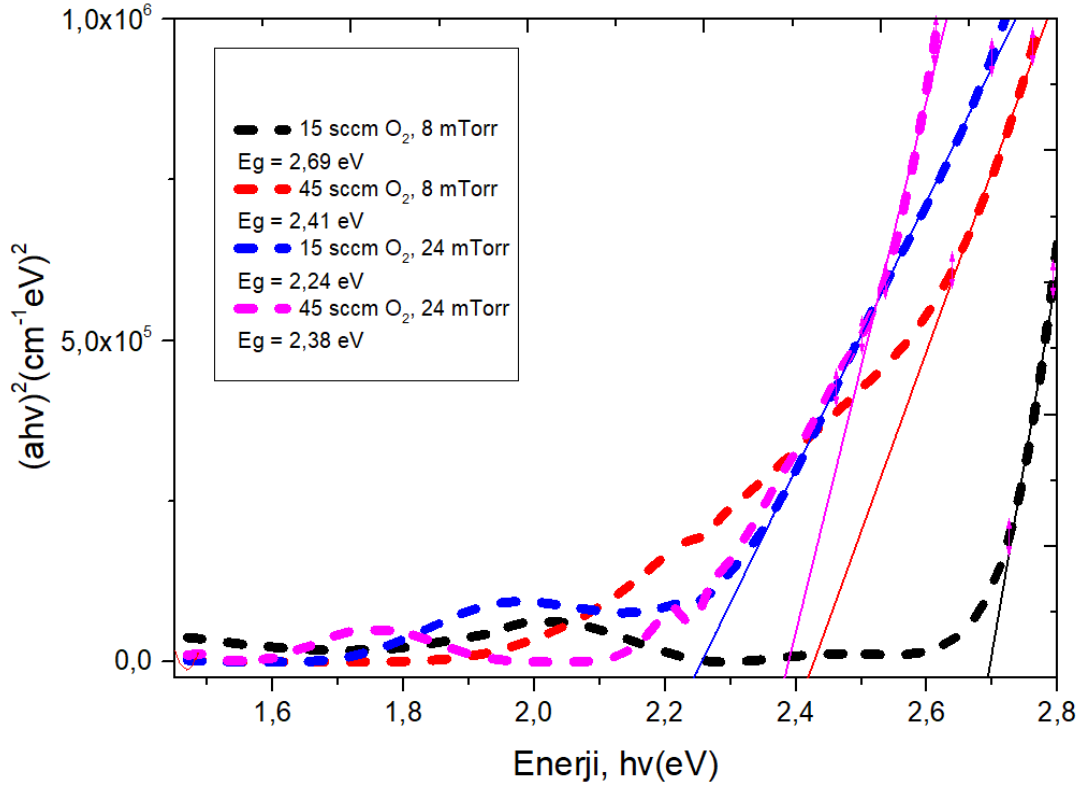
Şekil 3.33’de ince filmlerin soğurma grafiği verilmiştir. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen filmlerin dalga boyuna karşı soğurma grafiği incelendiğinde soğurma aralıklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 3.33. 15 sccm ve 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında cam alt taş üzerine büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin dalga boyuna karşı soğurma grafikleri

Şekil 3.34’de cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen filmlere ait $(ah\nu)^2(\text{cm}^{-1} \text{ eV})^2$ ’e karşı enerji grafiğinde çizilen fitler ile yasak bant aralığı enerjisinin değeri; 9,9 % O₂ kısmi basıncında büyütülen film için 2,69 eV, 35,2 % O₂ kısmi basıncıyla büyütülen film için 2,41 eV, 5,6 % O₂ kısmi basıncıyla büyütülen film

için 2,24 eV, 23,8 % O₂ kısmi basıncıyla büyütülen film için 2,69 eV, olarak hesaplanmıştır.



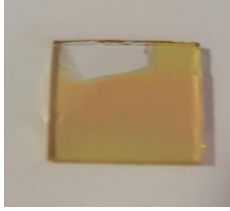
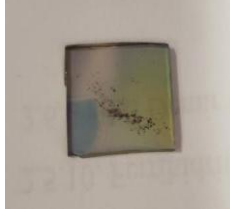
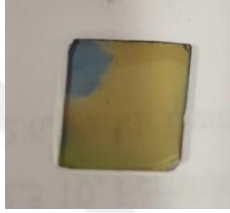
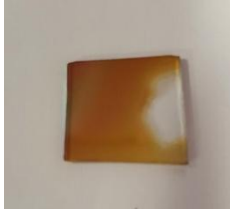
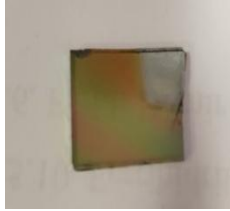
Şekil 3.34. 15 sccm ve 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1mTorr ve 24m Torr çalışma basıncında cam alt taş üzerine büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin enerji grafikleri

3.4. Farklı O₂ Kısmi Basıncı Seviyelerinde Büyütülen Tavlanmış Bi₂O₃ İnce Filmlerin Yapısal Analizi

Önceki bölümde araştırma bulguları verilen reaktif magnetron saçırma yöntemi ile farklı O₂ kısmi basıncı değerlerinde Tablo 3.3 'de verilen parametrelerle cam alt taş üzerine büyütülmüş Bi₂O₃ ince filmler 400°C sıcaklıkta atmosfer ortamında tavlanarak yapısal ve optik özelliklerdeki değişimler incelendi.

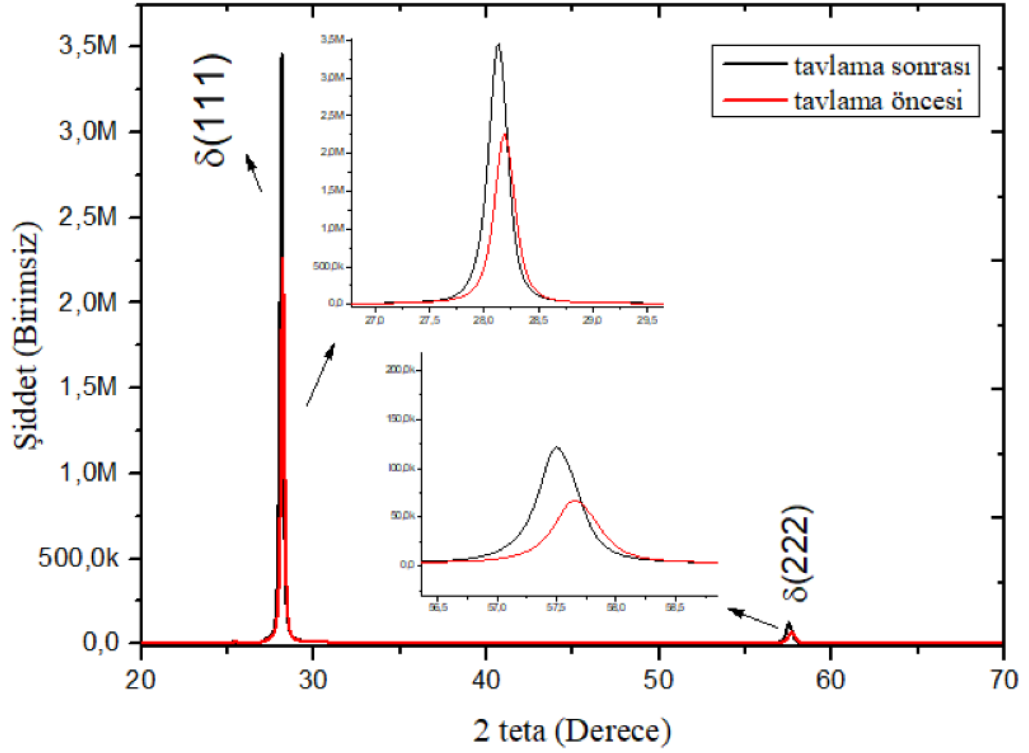
Tablo 4.4' de büyütülen filmlerin tavlanmadan önceki ve tavlandıktan sonraki görüntüleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Farklı O₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütülen filmlerin tavlamanmadan önceki ve tavlandıktan sonraki görüntüleri.

Seri numarası	Tavlama Öncesi	400°C’de Tavlama Sonrası
3-1		
3-2		
3-3		
3-4		

3.4.1. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavllanmış Bi₂O₃ ince filmlerin XRD sonuçları

Reaktif magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basınçları ile büyütülüp, 400C°’de atmosfer ortamında bir saat süre ile tavlanan filmlere ait XRD kırınım desenleri tavlannmamış numunelerle karşılaştırmalı olarak Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de verilmiştir. XRD kırınım desenleri incelendiğinde tavlama işlemi sonucunda faz kayması olduğu ve yeni fazların oluştuğu belirlenmiştir.



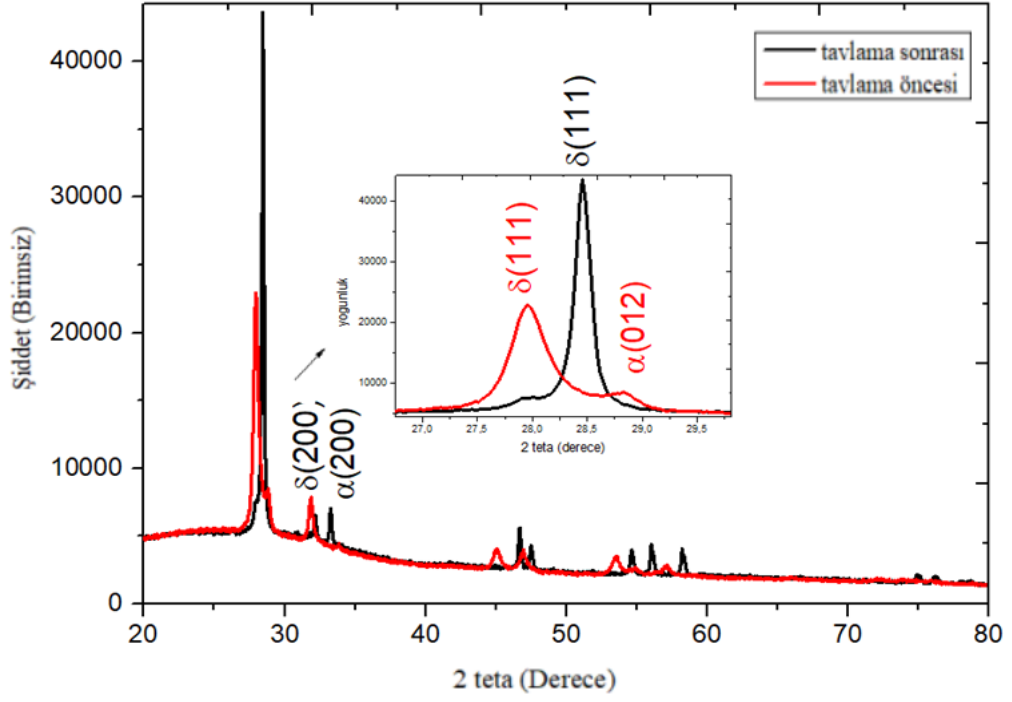
Şekil 3.35. Cam alt taş üzerine 15 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin tavlanmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni

Şekil 3.35’de verilen XRD pikleri incelendiğinde 400° ’de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerde (111) yönelimli pikte $0,06^\circ$ ve (222) yönelimli pikte $0,14^\circ$ ’lik ve faz kayması olduğu görülmektedir.

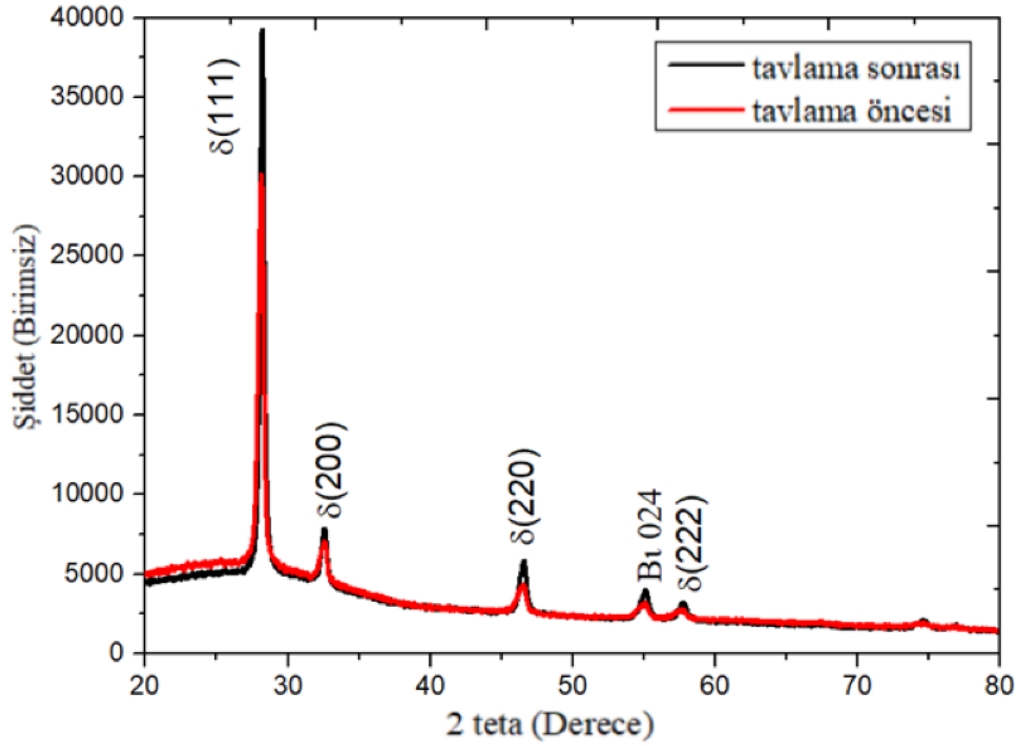
Şekil 3.36’da verilen XRD pikleri incelendiğinde 400° ’de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerde yeni $012(2\theta = 28,85^\circ)$ yönelimli monoklinik Bi_2O_3 yapı oluştuğu, fazlarda kaymalar ve faz şiddetlerinde artış olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3.37’de verilen XRD pikleri incelendiğinde 400° ’de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerde faz şiddetlerinde artış olduğu ve fazlarda $0,05^\circ$ ’lik kaymalar olduğu belirlenmiştir.

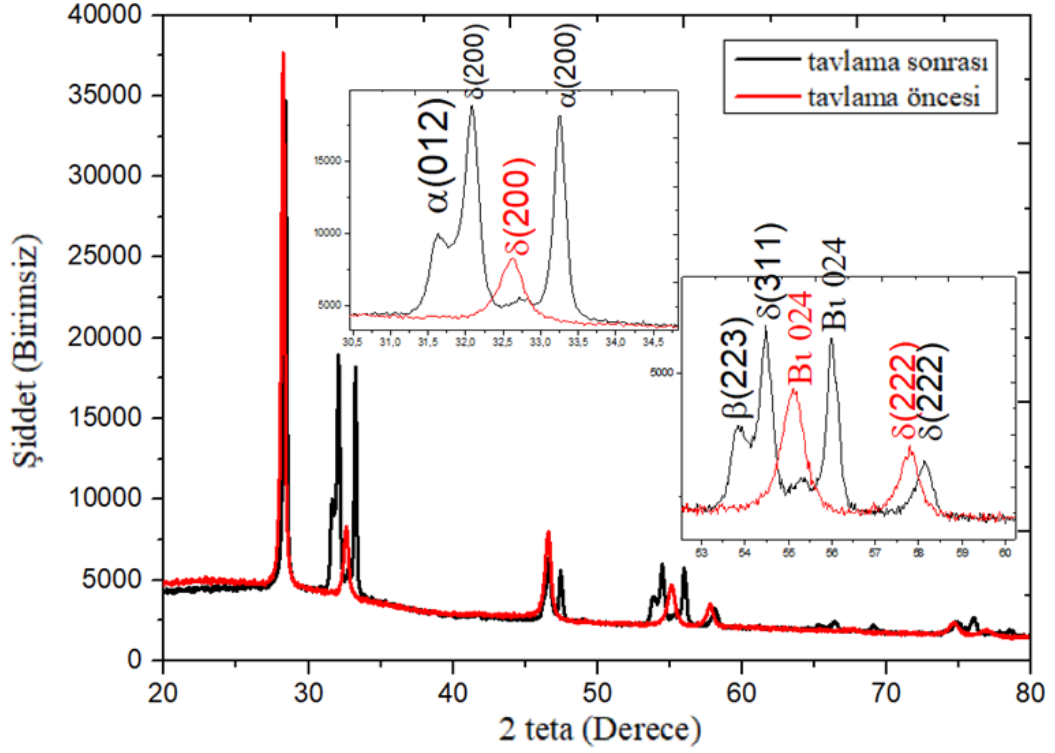
Şekil 3.38’de verilen XRD pikleri incelendiğinde 400° ’de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerde yeni $012(2\theta = 28,85^\circ)$ ve $200(2\theta = 33,26^\circ)$ yönelimli monoklinik Bi_2O_3 yapı, $223(2\theta = 31,62^\circ)$ yönelimli tetragonal Bi_2O_3 yapı ve $311(2\theta = 32,08^\circ)$ yönelimli fcc- Bi_2O_3 yapı oluştuğu, fazlarda kaymalar ve faz şiddetlerinde artış olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.36. Cam alt taş üzerine 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin tavlanmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni



Şekil 3.37. Cam alt taş üzerine 15 sccm O_2 akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi_2O_3 ince filmlerin tavlanmadan önce ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni



Şekil 3.38. Cam alt taş üzerine 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen Bi₂O₃ ince filmlerin tavlansız ve tavlandıktan sonraki XRD kırınım deseni

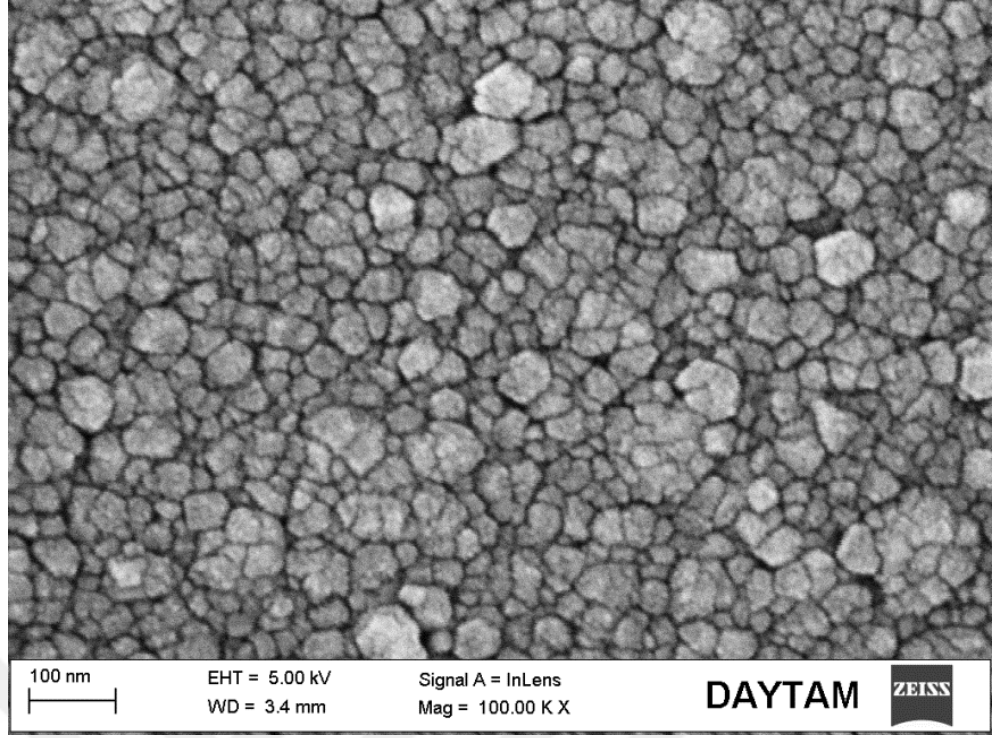
3.4.2. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavllanmış Bi₂O₃ ince filmlerin SEM sonuçları

Reaktif magnetron saçırma yöntemi kullanılarak cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basınçları ile büyütülüp, 400C°’de atmosfer ortamında bir saat süre ile tavlanan filmlere ait SEM görüntüleri Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de verilmiştir.

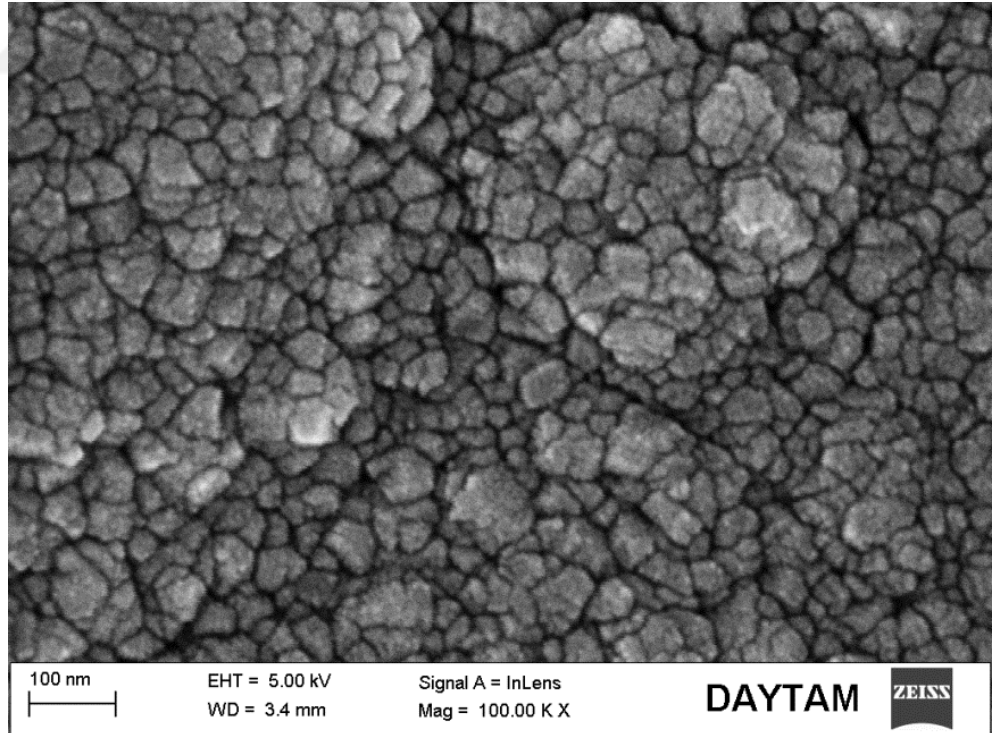
Tavlama filmlerin SEM görüntüleri incelendiğinde tavlama ile tanecik boyutunda artış olduğu görülmektedir.

Şekil 3.40.’ da yüksek basınç ve yüksek O₂ kısmi basıncında büyütülen filmde tavlama sonrası çatlaklar oluştuğu görülmektedir.

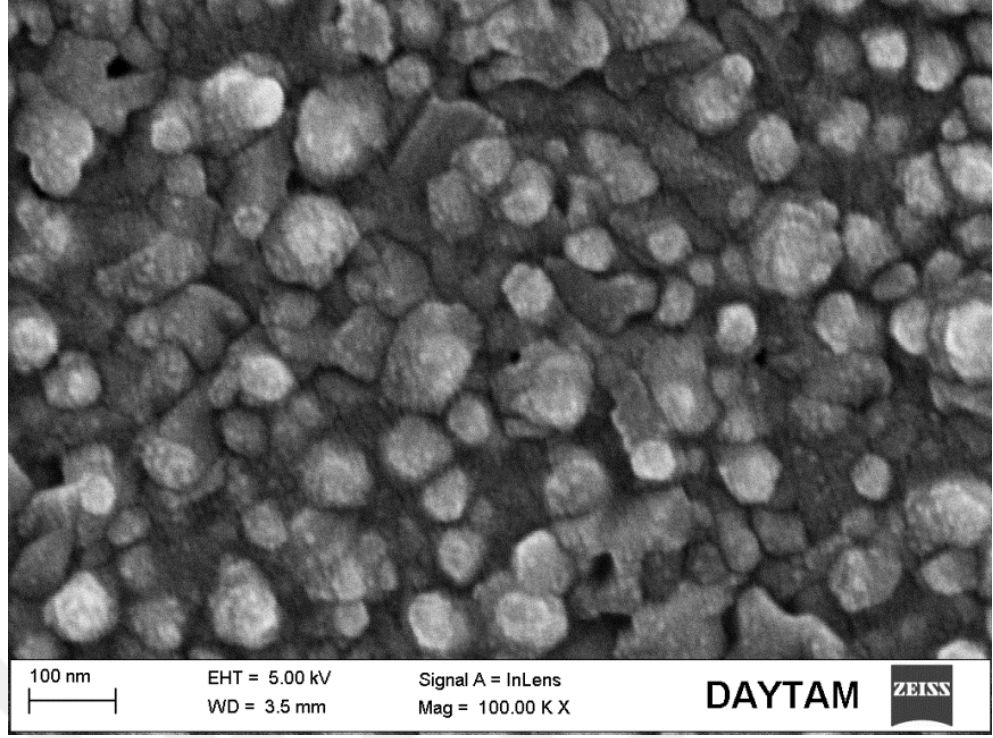
O₂ kısmi basıncının yüksek olduğu Şekil 3.40. ve Şekil 3.42. 100.000 büyütmedeki sem görüntüleri karşılaştırıldığında çalışma basıncının artmasıyla tanecik boyutundaki artış net bir şekilde görülmektedir.



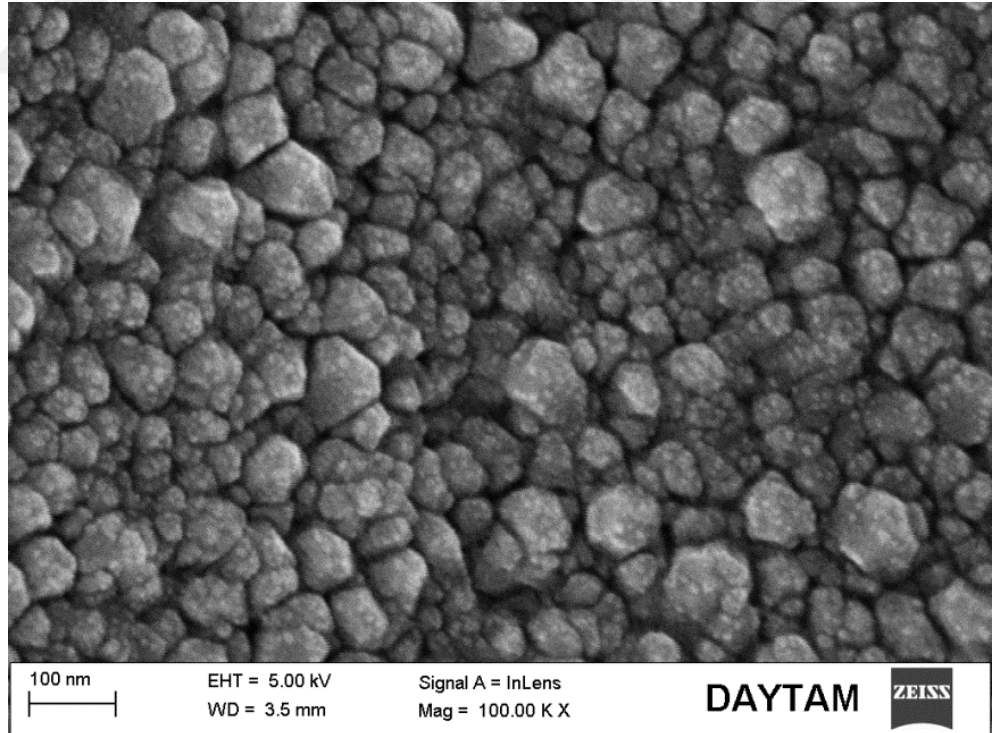
Şekil 3.39. Cam alt taş üzerine 15 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400°C 'de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 3.40. Cam alt taş üzerine 45 sccm O_2 akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400°C 'de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 3.41. Cam alt taş üzerine 15 sccm O_2 akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400°C 'de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü

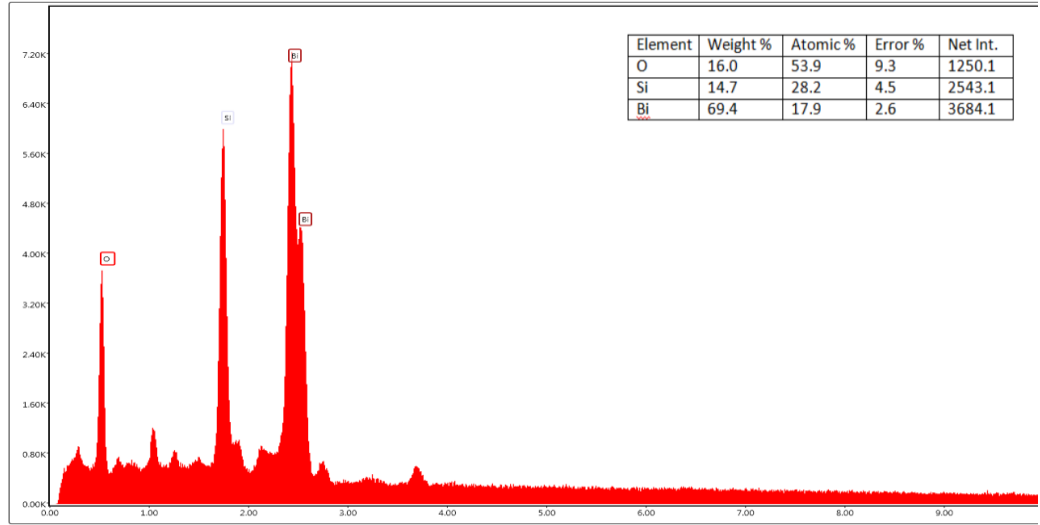


Şekil 3.42. Cam alt taş üzerine 45 sccm O_2 akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400°C 'de tavlanan Bi_2O_3 ince filmlerin 100.000 büyütmedeki SEM görüntüsü

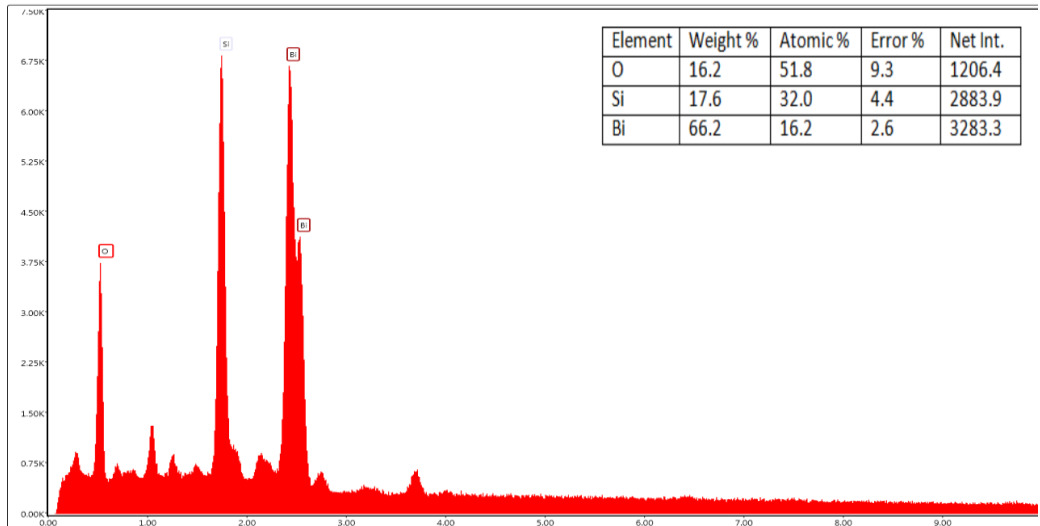
3.4.3. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavlanmış Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

Reaktif magnetron saçırma yöntemi kullanılarak cam alt taş üzerine Tablo 3.3 'de verilen parametreler ile büyütülen ve 400°'de atmosfer ortamında tavlanan Bi₂O₃ ince filmlerin Enerji Dağılımlı X-Işınları analizi sonuçları Şekil 3.43, Şekil 3.44 ve Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'da verilmiştir.

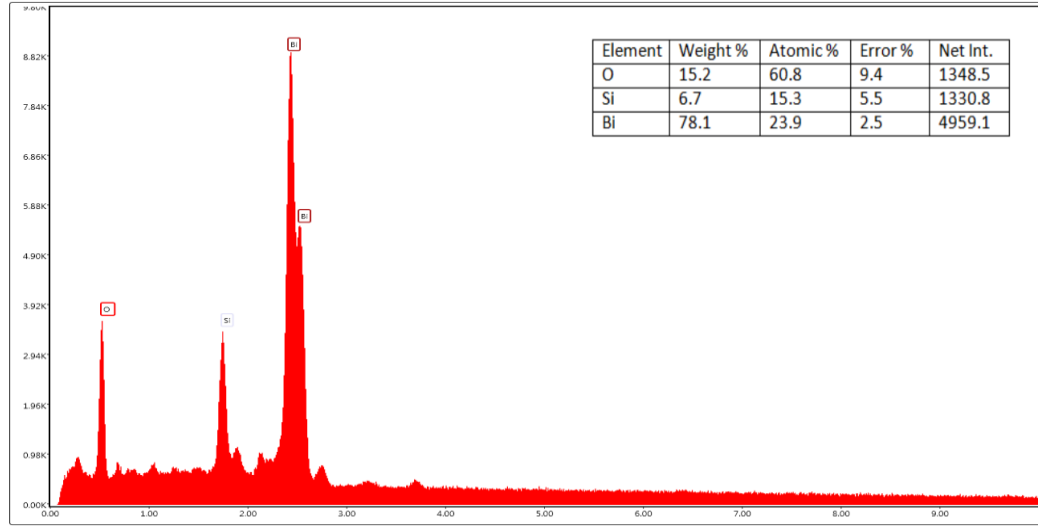
Tavlamanın EDAX sonuçlarına bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.



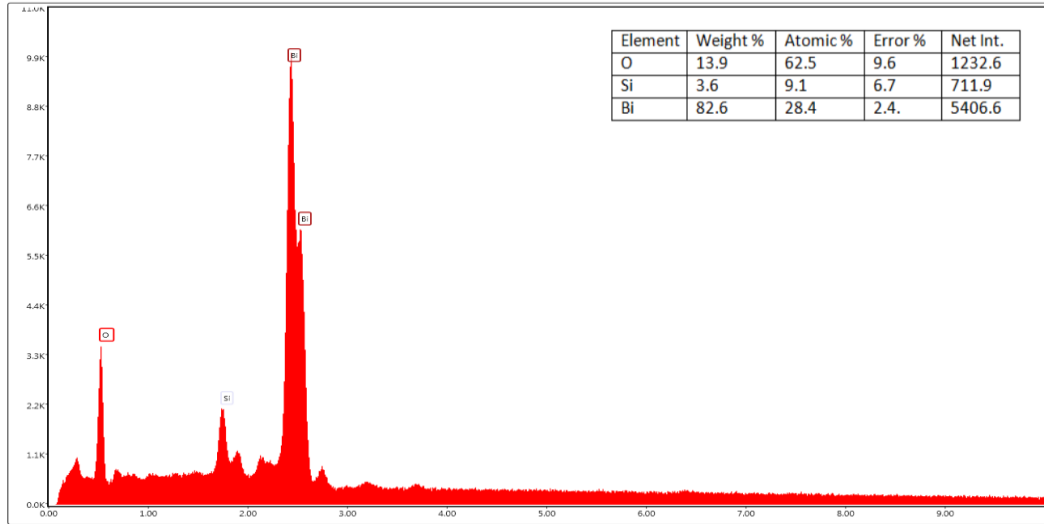
Şekil 3.43. Cam alt taş üzerine 15 sccm O₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlanan Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları



Şekil 3.44. Cam alt taş üzerine 45 sccm O₂ akış değerinde 8.1 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°'de tavlanan Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları



Şekil 3.45. Cam alt taş üzerine 15 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°’de tavlanan Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

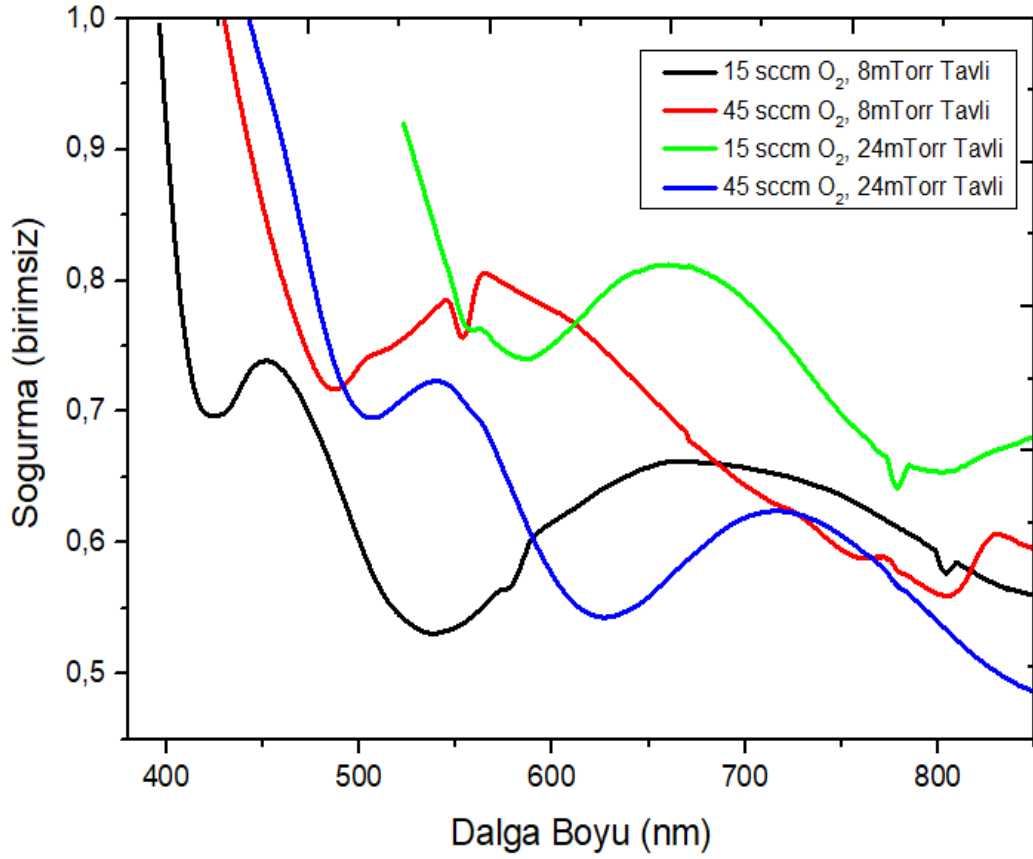


Şekil 3.46. Cam alt taş üzerine 45 sccm O₂ akış değerinde 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen ve 400C°’de tavlanan Bi₂O₃ ince filmlerin EDAX sonuçları

3.4.4. Farklı O₂ kısmi basıncı seviyelerinde büyütülen tavllanmış Bi₂O₃ ince filmlerin soğurma sonuçları

Magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncı değerlerinde büyütülen ince filmlerin 400C°’de atmosfer ortamında tavlandıktan sonraki soğurma ölçümleri oda sıcaklığında spektroskopik elipsometre ile alınmıştır. Yapılan ölçümlerde malzemeye ait bant aralığı hakkında bilgi elde edilmiştir.

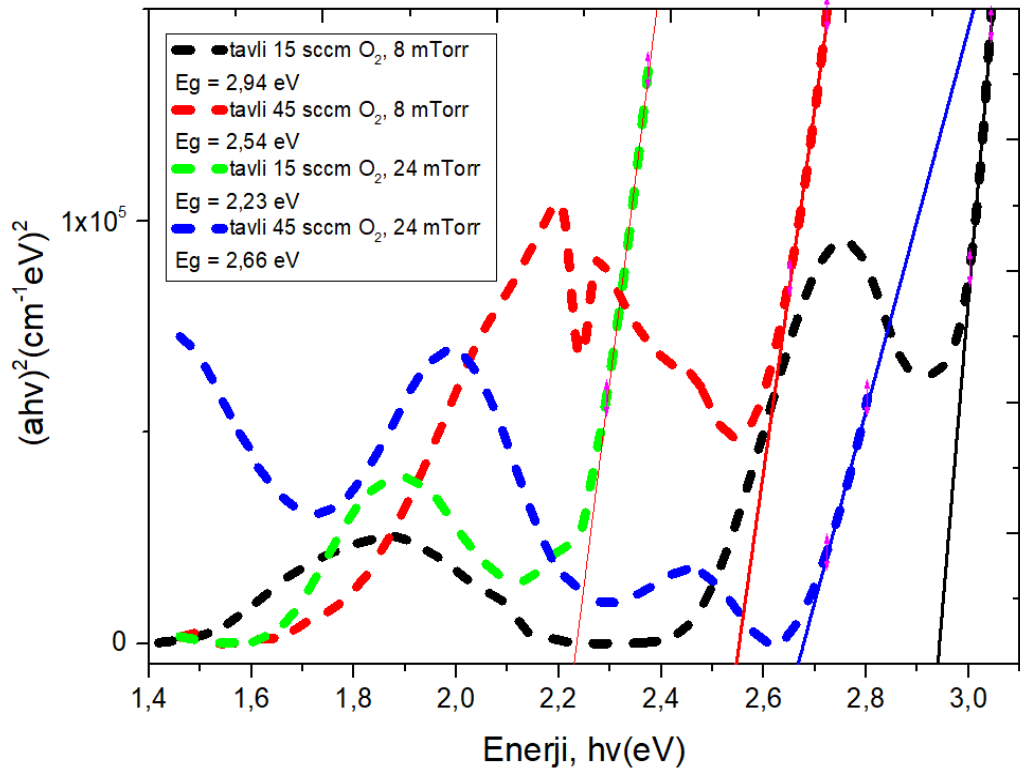
Şekil 3.47’de tavllanmış ince filmlerin soğurma grafik incelendiğinde tavlanan filmlerin soğurulma aralıklarının değiştiği ve farklı dalga boylarında soğurulduğu görülmektedir.



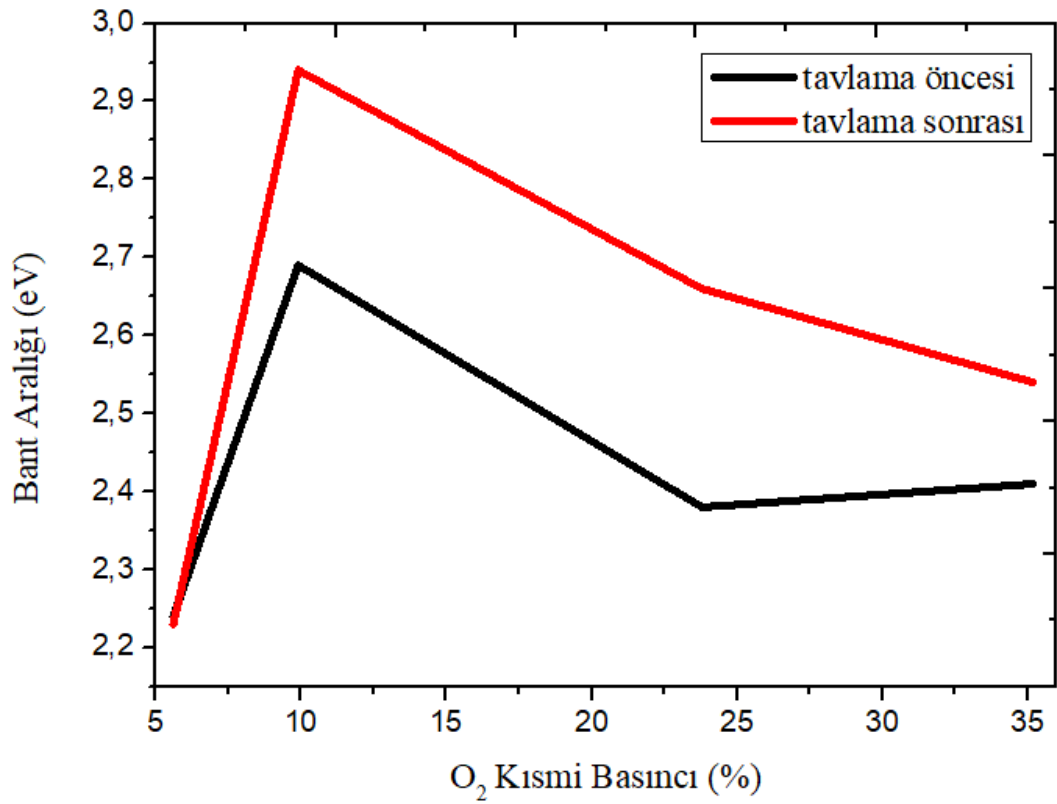
Şekil 3.47. Cam alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O₂ akış değerinde 8 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen tavllanmış Bi₂O₃ ince filmlerin soğurma grafiği

Şekil 3.48’de cam alt taş üzerine farklı O₂ kısmi basıncında büyütülen 400C°’de tavllanmış filmlere ait $(ah\nu)^2(\text{cm}^{-1} \text{ eV})^2$ ’e karşı enerji grafiğinde çizilen fitler ile yasak bant aralığı enerjisinin değeri; 15 sccm O₂, 8mTorr çalışma basıncında büyütülen film için 2,94 eV olarak 0,28 eV arttığı, 45 sccm O₂, 8mTorr çalışma basıncında büyütülen film için 2,54 eV olarak 0,13 eV arttığı 15 sccm O₂, 24mTorr çalışma basıncında büyütülen film için 2,23 eV olarak 0,01 eV azaldığı, 45 sccm O₂, 24mTorr çalışma basıncında büyütülen film için 2,66 eV olarak 0,03 eV azaldığı görülmektedir.

Şekil 3.49’da O₂ kısmi basıncına bağlı olarak tavlama öncesi ve tavlama sonrası filmlerin bant aralığı değişim grafiği verilmektedir. O₂ kısmi basıncının artmasıyla bant aralığı önce arttığı ve %10 O₂ kısmi basıncından sonra tekrar azaldığı ve %23.8 O₂ kısmi basıncından sonra tekrar artış gösterdiği grafikte görülmektedir.



Şekil 3.48. Cam alt taş üzerine 15 sccm ve 45 sccm O_2 akış değerinde 8 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncında büyütülen tavllanmış Bi_2O_3 ince filmlerin enerji grafiği



Şekil 3.49. O_2 kısmi basıncına bağlı bant aralığı değişimi grafiği

4. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında Bi_2O_3 ince filmler cam, silisyum ve İTO alt taşlar üzerinde farklı büyütme parametreleri ile radyo frekans magnetron saçtırma yöntemi kullanılarak büyütüldü. Hedef Bi_2O_3 'e uygulanan güç, çalışma basıncı ve oksijen kısmi basıncı değişikliklerinin ve tavlamanın yapısal ve morfolojik özelliklere etkisi incelendi. Büyütmeler sırasında hedef target olarak Bi_2O_3 metali, oksit kaynağı olarak oksijen gazı ve hızlandırıcı olarak argon gazı kullanıldı.

40 W, 80 W ve 120 W güç seviyelerinde büyütülen ince filmlerin kristal yapı karakterizasyonuna bakıldığında fcc- Bi_2O_3 yapı ve monoklinik Bi_2O_3 yapıların olduğu, yüzey morfolojik özelliklerine bakıldığında yüksek güç seviyelerinde büyütülen filmlerde çatlaklar ve yüzey kusurları olduğu gözlemlendi.

8 mTorr, 12 mTorr, 16 mTorr, 20 mTorr ve 24 mTorr çalışma basıncı seviyelerinde büyütülen ince filmlerin kristal yapı karakterizasyonuna bakıldığında cam ve silisyum alt taş üzerine büyütülen tüm filmlerde fcc- Bi_2O_3 yapı ve Bi_2O_3 yapı gözlemlenirken, İTO alt taş kullanılan filmlerde ayrıca tetragonal Bi_2O_3 yapı ve monoklinik Bi_2O_3 yapı gözlemlenmiştir. Farklı çalışma basınçlarında büyütülen filmlerin yüzey morfolojileri incelendiğinde basınç artırıldığında tanecik boylarının uzadığı ve boyutlarının da arttığı görülmüştür. Cam alt taş kullanılan filmlerde daha homojen bir birikme gözlemlenirken İTO alt taş kullanılan filmlerde yüzey kusurları olduğu ve kümelenerek birikme olduğu görülmüştür. Farklı basınçta büyütmelerin optik özellik üzerine etkisi incelendiğinde düşük basınçlarda daha yüksek bant genişliğine sahip filmler üretilirken çalışma basıncı yükseldikçe bant genişliğinin önce azaldığı sonra 24 mTorr çalışma basıncında tekrar arttığı görülmektedir.

8 mTorr çalışma basıncı sabit tutularak %10 ve % 35 O_2 kısmi basınçlarında büyütülen filmlerin kristal yapısı incelendiğinde % 10 O_2 Kısmi basıncı ile büyütülen filmlerde sadece fcc- Bi_2O_3 yapı gözlemlenirken % 35 O_2 kısmi basıncı ile büyütülen filmlerde tetragonal Bi_2O_3 yapı ve monoklinik Bi_2O_3 yapı da gözlemlenmiştir. Filmlerin yüzey morfolojileri incelendiğinde oksijenin kısmi basıncının artmasıyla film kalitesinin azaldığı görülmüştür. Optik özellikleri incelendiğinde oksijen kısmi basıncının artmasıyla bant genişliğinin azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte 8 mTorr çalışma basıncında aynı parametrelerde oksijen kullanılmadan büyütülen filmler ile

kıyaslandığında oksijen kullanılarak büyütülen filmlerin bant genişliğinde artma olduğu görülmektedir.

24 mTorr çalışma basıncı sabit tutularak %5,6 ve % 23,8 O₂ kısmi basınçlarında büyütülen filmlerin kristal yapısı incelendiğinde oksijenin artırılmasıyla kristal yapısının etkilenmediği görülmüştür. Filmlerin yüzey morfolojileri incelendiğinde oksijenin kısmi basıncının artmasıyla tanecik boyutunun arttığı gözlemlenmiştir. Optik özellikleri incelendiğinde oksijen kısmi basıncının artmasıyla bant genişliğinin arttığı görülmektedir.

Farklı O₂ kısmi basınçlarında büyütülen filmler 400 C° atmosfer ortamında tavlansmıştır. Tavlanan filmlerin kristal yapıları incelendiğinde pik şiddetlerinde artış ve faz kaymaları gözlemlenirken oksijenin kısmi basıncının yüksek olduğu filmlerde bazı fazların kaybolduğu ve bazı yeni fazlar oluştuğu belirlenmiştir. Filmlerin morfolojik özellikleri incelendiğinde tavlama ile tanecik boyutunun arttığı görülmektedir. Tablo 4.4' de görüldüğü gibi tavlanan filmlerin renklerinde açılma olduğu görülmektedir. Şekil 3.49' da O₂ kısmi basıncına bağlı olarak tavlama öncesi ve tavlama sonrası filmlerin bant aralığı değişim grafiğine bakıldığında O₂ kısmi basıncının artmasıyla bant aralığının önce arttığı daha sonra azaldığı ve tavlama sonrası filmlerin bant aralığında ciddi bir artış olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anandan, S., Lee, G.-J., Chen, P.-K., Fan C., Wu J. J. (2010) "Removal of Orange II Dye in Water by Visible Light Assisted Photocatalytic Ozonation Using Bi_2O_3 and $\text{Au/Bi}_2\text{O}_3$ Nanorods", **Industrial & Engineering Chemistry Research**, 49(20)
- Atkins and Jones P.L.(1998) "Temel Kimya 1", Oxford University, University of Northern Colorado, **Bilim Yayincılık**, Ankara.
- Bagde, G.D., Sartale, C.D., Lokhande, C.D. (2003) "Deposition and annealing effect on lanthanum sulfide thin films by spray pyrolysis", **Thin Solid Films**, 445, 1-6.
- Bhande, S. S., Mane, R. S., Ghule, A. V., & Han, S.-H. (2011). "A bismuth oxide nanoplate-based carbon dioxide gas sensor", **Scripta Materialia**, 65(12), 1081–1084.
- Chopra, K., Paulson, P. and Dutta, V. (2004) "Thin- Film Solar Cells: An Overview", **Progress in Photovoltaics**, 12, 69-92.
- Ernest M. Levin and Robert S. R. (1964) "Polymorphism of Bismuth Sesquioxide. 1. Pure Bi_2O_3 journal of research of the National Bureau of Standards-A", **Physics and Chemistry**, 68A, No.2
- Fan, H. T., Pan, S. S., Teng, X. M., Ye, C., Li, G. H., Zhang, L. D. (2006) " δ - Bi_2O_3 thin films prepared by reactive sputtering: Fabrication and characterization", **Thin Solid Films**, 513(1-2), 142–147.
- Fox, M. (2001) "Optical Properties of Solids", **Oxford University Press**, 305, Newyork.
- Fu, H., Pan, C., Yao, W., & Zhu, Y. (2005) "Visible-Light-Induced Degradation of Rhodamine B by Nanosized Bi_2WO_6 ", **The Journal of Physical Chemistry**, 109(47), 22432–22439.
- Gomez, C. L. and Rodil, S. E. (2017) "High stability and ac-conductivity of cubic fluorite- Bi_2O_3 films synthesized by magnetron sputtering", **Solid State Ionics**, 309, 100–109.
- Gui, L., Ling, Y., Li, G., Wang, Z., Wan, Y., Wang, R., Zhao, L. (2016) "Enhanced sinterability and conductivity of $\text{BaZr}_{0.3}\text{Ce}_{0.5}\text{Y}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ by addition of bismuth oxide for proton conducting solid oxide fuel cells", **Journal of Power Sources**, 301, 369–375.
- Gujar, T. P., Shinde, V. R., Lokhande, C. D., Mane, R. S., & Han, S.-H. (2005) "Bismuth oxide thin films prepared by chemical bath deposition (CBD) method: annealing effect", **Applied Surface Science**, 250(1-4), 161–167.
- Guo, Ying, Alan L. Porter, and Lu Huang., (2009), "Nanotechnology enhanced thin-film solar cells: analysis of global research activities with future prospects." **Proceedings of 18th International Conference for the International Association of Management of Technology**, Orlando, FL.

- Harwig, H. A. and Gerards, A. G. (1978) “Electrical properties of the α , β , γ , and δ phases of bismuth sesquioxide”, *Journal of Solid State Chemistry*, 26(3), 265–274.
- Köç, P. (2016) “RF-Magnetron Sıçratma Yöntemi İle Cam Alt Taşlar Üzerine ZrO_2 İnce Filmlerin Oluşturulması ve Elde Edilen İnce Filmlerin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum
- Leontie, L., Caraman, M., Visinoiu, A., & Rusu, G. I. (2005) “On the optical properties of bismuth oxide thin films prepared by pulsed laser deposition”, *Thin Solid Films*, 473(2), 230–235.
- Li, L. and Yan B. (2009) “ CeO_2 – Bi_2O_3 nanocomposite: Two step synthesis, microstructure and photocatalytic activity”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 355(13)
- Li, J., Mao, N., Li, X., Chen, F., Li, Y., Jiang, K., Chu, J. (2020). Controllable fabrication of Bi_2O_3 nanoparticles by atomic layer deposition on TiO_2 films and application in photodegradation., *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 204, 110218.
- Lunca Popa, P., Sønderby, S., Kerdsonpanya, S., Lu, J., Arwin, H., & Eklund, P. (2017) “Structural, morphological, and optical properties of Bi_2O_3 thin films grown by reactive sputtering”, *Thin Solid Films*, 624, 41–48.
- Malathy, P., Vignesh, K., Rajarajan, M., & Suganthi, A. (2014) “Enhanced photocatalytic performance of transition metal doped Bi_2O_3 nanoparticles under visible light irradiation”, *Ceramics International*, 40(1), 101–107.
- Malmros, G., (1970) “The crystal structure of α - Bi_2O_3 ”, *Acta chemica scandinavica*, 24, 384-396.
- Medina, J. C., Bizarro, M., Gomez, C. L., Depablos-Rivera, O., Mirabal-Rojas, R., Monroy, B. M. Rodil, S. E. (2016) “Sputtered bismuth oxide thin films as a potential photocatalytic material”, *Catalysis Today*, 266, 144–152.
- Meng, L., Xu, W., Zhang, Q., Yang, T., & Shi, S. (2018) “Study of nanostructural bismuth oxide films prepared by radio frequency reactive magnetron sputtering”, *Applied Surface Science*, 472, 165-171.
- Merhan Muğlu G., (2018) “Geçiş metal oksit tabanlı katodik elektrokromik aygıt uygulamaları”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum
- Rasheed, M., & Barillé, R. (2017) “Comparison the optical properties for Bi_2O_3 and NiO ultrathin films deposited on different substrates by DC sputtering technique for transparent electronics”, *Journal of Alloys and Compounds*, 728, 1186–1198.
- Sarıtaş S., (2017) “Zn, Ni ve Co katkılı demir oksit ince filmlerinin yapısal, elektriksel ve manyetik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum

- Shi, Y., Feng, S., Cao, C. (2000) “Hydrothermal synthesis and characterization of Bi_2MoO_6 and Bi_2WO_6 ”, ***Materials Letters***, 44(3-4), 215–218.
- Shimano, K. (1998) “Bismuth oxide thin film as new electrochromic material”, ***Solid State Ionics***, 113-115(1-2), 415–419.
- Sillén, Krist L.G.Z. (1941) 103, 274.
- Singh, S., Sharma, R. (2018) “ Bi_2O_3 /Ni- Bi_2O_3 system obtained via Ni-doping for enhanced PEC and photocatalytic activity supported by DFT and experimental study”, ***Solar Energy Materials and Solar Cells***, 186, 208–216.
- Sirota, B., Reyes-Cuellar, J., Kohli, P., Wang, L., McCarroll, M. E., Aouadi, S. M. (2012) “Bismuth oxide photocatalytic nanostructures produced by magnetron sputtering deposition”, ***Thin Solid Films***, 520(19), 6118–6123.
- Solís-Casados, D. A., Escobar-Alarcón, L., Arrieta-Castañeda, A., & Haro-Poniatowski, E. (2016) “Bismuth–titanium oxide nanopowders prepared by sol–gel method for photocatalytic applications”, ***Materials Chemistry and Physics***, 172, 11–19.
- Vila, M., Díaz-Guerra, C., & Piqueras, J. (2012) “Laser irradiation-induced α to δ phase transformation in Bi_2O_3 ceramics and nanowires”, ***Applied Physics Letters***, 101(7)
- Yakout, S. M. (2019) “New efficient sunlight photocatalysts based on Gd, Nb, V and Mn doped α - Bi_2O_3 phase”, ***Journal of Environmental Chemical Engineering***, 103644.
- Zhang, T., Zeng, X., Xia, Y., Zhang, H., Sun, B., Wang, H., & Zhao, Y. (2019) “Morphology evolution and photocatalytic applications of W-doped Bi_2O_3 films prepared using unique oblique angle co-sputtering technology”, ***Ceramics International***, 45, 21768-21974.
- Zhang, L., Fang, X., Ye, C. (2007) “Controlled growth of nanomaterials”, ***World Scientific***, China
- Zhu, G., Que, W., & Zhang, J. (2011) “Synthesis and photocatalytic performance of Ag-loaded β - Bi_2O_3 microspheres under visible light irradiation”, ***Journal of Alloys and Compounds***, 509(39)

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Erzincan-Merkez’de doğdu. Lise öğrenimini Hacı Ali Akın Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü kazandı ve 2017 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2018 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi’nde Elektrik Elektronik dalında yüksek lisansa başladı.

Yayınlar

Nagehan Şahin, Yunus Akaltun, Emre Gür, Sevda Sarıtaş, (2020) “RF magnetron sızdırma yöntemi kullanılarak Bi₂O₃ ince film büyütmede alt taş ve güç değişikliğinin filmlerin yapısal özelliklerine etkisi”, ***2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology***, 1050-1055