

RF Manyetik Sıçratma Yöntemiyle Üretilen Bakır Oksit, Bakır Nitrit ve Bakır
Oksinitrit İnce Filmlerin Bazı Kristal Yapı ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi

Birol Geçici

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Nisan 2018

Investigation of Some Crystal Structure and Optical Properties of Copper Oxide, Copper Nitride and Copper-oxynitride Thin Films Produced with The Method of RF Magnetron Sputtering System

Birol Geçi

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

April 2018

RF Manyetik Sıçratma Yöntemiyle Üretilen Bakır Oksit, Bakır Nitrit ve Bakır
Oksinitrit İnce Filmlerin Bazı Kristal Yapı ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi

Biol Geçi

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalı
Kathal Fiziği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şadan Korkmaz

Bu tez çalışması ESOGÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından
201419D16 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Nisan 2018

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Birol Geçici'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "RF Manyetik Sıçratma Yöntemiyle Üretilen Bakır Oksit, Bakır Nitrit ve Bakır Oksinitrit İnce Filmlerin Bazı Kristal Yapı ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Şadan Korkmaz

İkinci Danışman :-

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şadan Korkmaz

Üye : Prof. Dr. Suat Pat

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Özbaş

Üye : Doç. Dr. Şenol Aybek

Üye : Doç Dr. Metin Kul

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

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Şadan Korkmaz danışmanlığında hazırlamış olduğum “RF Manyetik Sıçratma Yöntemiyle Üretilen Bakır Oksit, Bakır Nitrit ve Bakır Oksinitrit İnce Filmlerin Bazı Kristal Yapı ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 19/04/2018

Biröl Geçici

İmza

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı, RF Sıçratma yöntemi ile cam alttaş üzerine reaktif/taşıyıcı gaz oranlarını değiştirerek bakır oksit, bakır nitrit ve bakır oksinitrit ince filmleri üretmek, karakterizasyonlarını yaparak kullanım alanlarının temelini oluşturmaktır. Alttaş malzeme olarak yalıtkan ve şeffaf materyallerden olan cam kullanılmıştır. İnce film üretimleri her alttaş için tek katman olarak 14 ayrı deney olarak gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri reaktif gaz/gazlar ve taşıyıcı gaz oranları hariç tüm üretimler için sabit tutulmuştur. Reaktif gaz oranları bakır oksit ve bakır nitrit için %10, 30, 50, 70 ve 90 olarak belirlenmiştir. Bakır oksinitrit için iki reaktif gaz oranı da %15, 25, 35 ve 45 olarak belirlenmiştir. Üretilen bakır oksit, bakır nitrit ve bakır oksinitrit ince filmlerin yapısal, yüzeysel ve optiksel özellikleri uygun ölçüm teknikleri ile belirlenmiştir. İnce film tabakaların kalınlıkları Filmetrics F20 cihazı tarafından 85-200 nm arasında ölçülmüştür. XRD ölçümleri sonucunda üretilen ince filmlerin kristal yapıları tespit edilmiştir. Tauc yöntemi kullanılarak optiksel yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve doğrudan band geçişli oldukları görülmüştür. Üretilen ince filmlerin yasak enerji aralıkları en düşük 1,49 eV ile en yüksek 1,78 eV. arasında değişmektedir. Atomik kuvvet mikroskobu yüzey özellikleri incelendiğinde üretimlerin pürüzsüz ve simetrik yapıda oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuO, Cu₄O₃, CuN₃, RF manyetik sıçratma, optiksel özellikler, yapısal özellikler, yüzeysel özellikler.

SUMMARY

The aim of this thesis, it is to produce copper oxide, copper nitride and copper-oxynitride thin films on glass substrates by using RF magnetron sputtering method and to form the fundamental for usage areas by making characterizations. Glass was used as a substrate which is insulator and transparent. For fabrication of thin films, the only single layer was employed for each substrate, 14 experiments for each substrate carried out. All experimental parameters keep constant for all fabricated films except the gas ratio of reactive gas/gasses and buffer gas. The gas ratios for copper oxide and copper nitride were considered %10, 30, 50, 70 and 90. For copper-oxynitride both of two reactive gas ratios were considered as %15, 25, 35 and 45. The morphological, surface and optical properties of the thin films have been determined by suitable measurement techniques. The thickness values of the thin film layers were measured between 85–200 nm by Filmetrics F20 device. The crystallite structure of the produced thin films were defined through XRD measurement results. The optical band gap values of the films were estimated using Tauc method and direct band transition in the samples has been observed. In the prepared thin films, the calculated band gap values were changed between 1.49 eV to 1.78 eV. According to atomic force microscope for the surface properties, the low roughness structure was detected for thin films deposited on glass substrates.

Keywords: CuO, Cu₄O₃, CuN₃, RF magnetron sputter, optical properties, morphological properties, surface properties.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca yaklaşımları ve önerileri ile beni yönlendiren saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şadan KORKMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. ESOGÜ Fizik Bölümünden Prof.Dr. Suat PAT'a ders ve tez aşaması boyunca sağladığı tüm imkânlar, bilgi ve yöntem destekleri için çok teşekkür ederim. Yüksek Lisans çalışmalarım esnasında bütün çalışmalarda destek veren arkadaşım Soner ÖZEN'e ayrıca teşekkür ederim. Tez dönemimde "201419D16" no'lu BAP projesi kapsamında çalışmamı destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimimde ve hayatımın her anında yanımda olan biricik eşim Ülkü GEÇİCİ'ye, kızlarım Begüm Melek ve Bilge Umay'a, madden ve manen yalnız bırakmayan canım anneme, babama ve kardeşlerime, eğitim sürecinde çocuklarımızla ilgilenen eşimin anne ve babasına destekleri için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM	4
3.1. Radyo Frekansı (RF) Magnetron Sıçratma Tekniği	4
3.2. Bakır Oksit İnce Filmlerin Üretilmesi	5
3.3. Bakır Nitrit İnce Filmlerin Üretilmesi	6
3.4. Bakır Oksinitrit İnce Filmlerin Üretilmesi	7
3.5. İnce Filmlerin Analiz Yöntemleri	7
3.5.1. XRD (X-ışını Kırınım Cihazı)	7
3.5.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	8
3.5.3. İnterferometrik Ölçüm Cihazı	9
3.5.4. UV-Vis Spektrometre Cihazı	10
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	11
4.1. Bakır Oksit Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	11
4.1.1. Bakır Oksit Filmlerin Kalınlık Analizleri	11
4.1.2. Bakır Oksit Filmlerin XRD Grafikleri	12
4.1.3. Bakır Oksit Filmlerin AFM Analizleri	17
4.1.4. Bakır Oksit Filmlerin Optiksel Özellikleri	20
4.2. Bakır Nitrit Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	27
4.2.1. Bakır Nitrit Filmlerin Kalınlık Analizleri	27
4.2.2. Bakır Nitrit Filmlerin XRD Grafikleri	28
4.2.3. Bakır Nitrit Filmlerin AFM Analizleri	32
4.2.4. Bakır Nitrit Filmlerin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. Bakır Oksinitrit Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi.....	42
4.3.1. Bakır Oksinitrit Filmlerin Kalınlık Analizleri.....	42
4.3.2. Bakır Oksinitrit Filmlerin XRD Grafikleri.....	43
4.3.3. Bakır Oksinitrit Filmlerin AFM Analizleri	46
4.3.4. Bakır Oksinitrit Filmlerin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi.....	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. RF magnetron sıçratma sisteminin şematik gösterimi.....	4
3.2. Sıçratma sonrası bakır hedef.....	5
3.3. Kristal düzlemlerinden x-ışınları saçılması	8
3.4. Atomik kuvvet mikroskobuna ait şematik gösterim.....	9
4.1. 1 numaralı Numunenin XRD grafiği	12
4.2. 2 numaralı Numunenin XRD grafiği	13
4.3. 3 numaralı Numunenin XRD grafiği	14
4.4. 4 numaralı Numunenin XRD grafiği	15
4.5. 5 numaralı Numunenin XRD grafiği	16
4.6. 1 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	17
4.7. 2 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	18
4.8. 3 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	18
4.9. 4 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	19
4.10. 5 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	20
4.11. 1 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	21
4.12. 1 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	21
4.13. 2 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	22
4.14. 2 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	22
4.15. 3 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	23
4.16. 3 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	23
4.17. 4 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	24
4.18. 4 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	25
4.19. 5 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	26
4.20. 5 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	26
4.21. 6 numaralı Numunenin XRD grafiği	28
4.22. 7 numaralı Numunenin XRD grafiği	29
4.23. 8 numaralı Numunenin XRD grafiği	30
4.24. 9 numaralı Numunenin XRD grafiği	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.25. 10 numaralı Numunenin XRD grafiği.....	32
4.26. 6 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	33
4.27. 7 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	33
4.28. 8 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	34
4.29. 9 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	35
4.30. 10 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	35
4.31. 6 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	36
4.32. 6 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	37
4.33. 7 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	38
4.34. 7 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	38
4.35. 8 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	39
4.36. 8 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	39
4.37. 9 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	40
4.38. 9 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	40
4.39. 10 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	41
4.40. 10 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	41
4.41. 11 numaralı Numunenin XRD grafiği.....	43
4.42. 12 numaralı Numunenin XRD grafiği.....	44
4.43. 13 numaralı Numunenin XRD grafiği.....	45
4.44. 14 numaralı Numunenin XRD grafiği.....	46
4.45. 11 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	47
4.46. 12 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	47
4.47. 13 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	48
4.48. 14 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü	49
4.49. 11 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	50
4.50. 11 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	50
4.51. 12 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	51
4.52. 12 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.53. 13 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	53
4.54. 13 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	53
4.55. 14 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği.....	54
4.56. 14 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği.....	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Bakır Oksit İnce Film Üretim Parametreleri Tablosu	6
3.2. Bakır Nitrit İnce Film Üretim Parametreleri Tablosu	6
3.3. Bakır Oksinitrit İnce Film Üretim Parametreleri Tablosu.....	7
4.1. Bakır oksit ince filmlerin kalınlık değerleri	11
4.2. Bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralıkları	27
4.3. Bakır Nitrit İnce Filmlerin Kalınlık Değerleri.....	28
4.4. CuN ₃ ince filmlerin yasak enerji aralıkları	42
4.5. Bakır oksinitrit ince filmlerin kalınlık değerleri.....	43
4.6. Bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Soğurma
d	Film kalınlığı
E	Elektrik alan
E_g	Yasak enerji aralığı
eV	Elektron volt
h	Planck sabiti
T%	Geçirgenlik
α	Lineer soğurma katsayısı
θ	XRD’de gelen ışın ile yansıtıcı düzlem arasındaki açı
λ	Dalgaboyu
ν	Frekans

Kısaltmalar

Açıklama

2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
CuGaN	Bakır galyum nitrat
CuInGaSe ₂	Bakır indiyum galyum selenit
CuN ₃	Bakır nitrit
CuO	Bakır oksit
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
dk.	Dakika
ESOGÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Ga	Galyum
GaAs	Galyum arsenik
GaCuN	Galyum bakır nitrat
GaN	Galyum nitrat
ITO	İndiyum kalay oksit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
LED	Işık yayan diyot
MHz	Megahertz
N	Atomik azot
nm	Nanometre
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
RF	Radyo frekans
Rq	Karekök ortalama yüzey pürüzlülüğü
UV-Vis	Morötesi/Görünür
vd	ve diğerleri
VIS-NIR	Görünür ışık spektrumu – yakın infrared
XRD	X- Işını kırınımı
µm	Mikrometre

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yarıiletken teknolojileri günümüzde ince filmlerin en büyük uygulama alanı olmuştur. Entegre devreleri, transistörler, ışık yayan diyotlar (LED), lazerler, ekranlar bu teknoloji ile yapılmaktadır. Bu teknolojinin bazı ürünlerinin arasında güneş pilleri, gece görüş dürbünleri gibi optik aygıtlar ve araçlar da bulunmaktadır. Optik ve manyetik kayıt cihazları, fiziksel ve kimyasal aşınmaya dirençli sert ve dekoratif kaplamalar da ince film teknolojisinin en yaygın kullanım alanları arasındadır (Demirci, 2006). Daha kolay geniş kullanım alanına sahip malzemelerin elde edilebilmesi ince filmler üzerine çalışmaların yoğunlaşmasıyla gerçekleşebilir. Örneğin, elmas 50000 psi basınçta ve 2000° C sıcaklıkta sentezlenirken, katodik ark plazma tekniğiyle 200°C'de 10- 100 eV'luk karbon iyonları ile elmas film yapılabilir (Aksoy, 2006). Metal ve metal oksit nano-parçacıkları geniş kullanım alanları ve gösterdikleri teknolojik özellikler nedeniyle oldukça ilgi çekmektedir. Partikül büyüklüğü nano boyutlara indikçe, yüzey alanının artmasıyla da beraber parçacıklar çok iyi düzeyde elektronik, optik, termal, manyetik özellikler göstermektedir. Bakır gösterdiği benzersiz, termal, manyetik, optik ve katalitik özellikler nedeniyle birçok sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle düşük maliyetinden ötürü elektrik/elektronik sanayinde ayrı bir öneme sahiptir. Bakır nano-parçacıklarının katkı maddesi olarak yağlayıcılarda, dolgu maddesi olarak polimerlerde, mürekkeplerde, metalik kaplamalar ve baskı devre kartlarında kullanılması öngörülmekte ve uygulanmaktadır. Bunların dışında katalitik özelliklerinden ötürü katalizör olarak da kullanılmaktadır (Nasibulin vd., 2005; Choi vd., 2009; Lee vd., 2008). p-CuO, CuGaN, GaCuN, CuInGaSe₂ (CIGS) gibi ince filmlerin çoğu araştırmacıları cezbetmesi ve yeni araştırmaların yapılabilecek olması nedeniyle bakırın oksijen ve azotlu bileşiklerinin ince film üretimleri önemli hale gelmiştir (Nowakowska-Langier vd., 2017; Hsu vd., 2013; Park vd., 2012; Abbad vd., 2013).

Bu tez çalışması ile RF Manyetik Sıçratma yöntemi ile bakır oksit ve bakır nitrit için %10, 30, 50, 70 ve 90, bakır oksinitrit için ise hem oksijen hem azot için %15, 25, 35 ve 45 oranlarında gaz karışımları kullanılarak bakırın oksitli, nitritli ve hem oksijen hem nitritli bileşikleri ince film olarak cam üzerine büyütülmüştür. Oluşturulan ince filmlerin; yapısal, optiksel ve yüzeysel özelliklerinin incelenmesi ile teknolojik kullanımlar için uygunluğu araştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Metal oksitler çeşitli pratik uygulamaları nedeniyle çok dikkat çekmiştir. Nikel oksit yakıt hücreleri (Song vd., 2013), elektrokromik film (Sialvi vd., 2013), manyetik materyal (Yuan vd.,2013), termoelektrik materyaller (Shin ve Murayama, 1999) ve gaz sensörleri (Fasaki vd., 2013) gibi çeşitli uygulamalardaki ilgi çekici özelliklerinden dolayı en çok çalışılan malzemelerden olmuştur. Son yıllarda en çok çalışılan diğer bir malzeme olan İndiyum kalay oksit (ITO), görünür bölgedeki yüksek optik geçirgenliği ve düşük özdirenci gibi benzersiz özelliklerinden dolayı geniş uygulama alanlarına sahiptir. ITO ince filmleri OLED, LCD, Güneş pili, plazma TV (PDP), geçirgen ısı yansıtıcı ve elektrokromik camlar gibi birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır. ITO kaplamalar yakın infrared bölgesindeki serbest taşıyıcı yoğunluğuna ve oksidasyon derecesine bağlı olarak VIS-NIR yüksek optik geçirgenliklere sahip olur. ITO ayrıca yüksek dejenere olmuş n-tipi yarı iletken ve yasak enerji aralığı 3.5 eV civarındadır (Bel Hadj Tahar vd., 1998). Birçok yöntemle ITO kaplamalar üretilebilmektedir. Bunlar, elektron demet fiziksel buhar depolama (PVD), plazma destekli reaktif buharlaştırma, kimyasal buhar depolama (CVD), laser buharlaştırma ve DC –RF manyetik sıçratma teknikleridir. (Rauf, 1993; Gallagher, 1993; Coutal, 1996). ITO kaplamaların elektriksel ve optik karakteristiklerini optimize etmek için, bu teknikler ile yapılan kaplamalardan sonra ısıl işleme tabi tutulurlar. ITO kristalizasyon sıcaklığı $T > 200$ °C. Isıl işlem ITO kaplı filmlerin optik geçirgenliğini artırır ve kusurları azaltır. Filmin elektriksel iletkenliği azaldıkça serbest taşıyıcı yoğunluğu da azalır (Rauf, 1993).

Bakır oksit tabanlı materyaller de Nikel oksit ve ITO ince filmler gibi birçok teknolojik alanda kullanılmaktadır. CuO ve Cu₂O materyaller p-tipi yarı iletken olarak bilinirler ve p-n eklem diyotlarda kullanılırlar. Bunların yarı iletken uygulamalarından başka, bu materyaller homojen olmayan katalizlerde, katıhal gaz sensörlerinde ve mikrodalga dielektrik materyallerde kullanılmaktadır. Özel antenlerde alıcı olarak güç kaynaklarında, fotovoltaiik uygulamalarda, lityum bataryaların elektrot malzemesi olarak ayrıca ince film transistörlerinde kullanılırlar. Çok çeşitli üretim yöntemleriyle büyütülebilmesi, zehirsiz yapıda bulunması ve üretiminin endüstriyel ve üretilebilir olması araştırmacıları cezbetmektedir. Özellikle bakır oksit ince filmler oksidasyon ve indirgenme

reaksiyonlarında yüksek aktiviteye sahiptir. Bakır oksitler CuO , Cu_2O , Cu_3O_2 ve Cu_4O_3 yapısında bulunurlar. p-tipi iletkenliğe sahiptirler ve band aralıkları 1,2-2,6 eV aralığındadır (Kim vd.,2013; Alabi vd., 2013; Bertran vd., 2003; Morales vd., 2004; Morales vd., 2005;Ho, 2016;Mugwang'a vd., 2012).

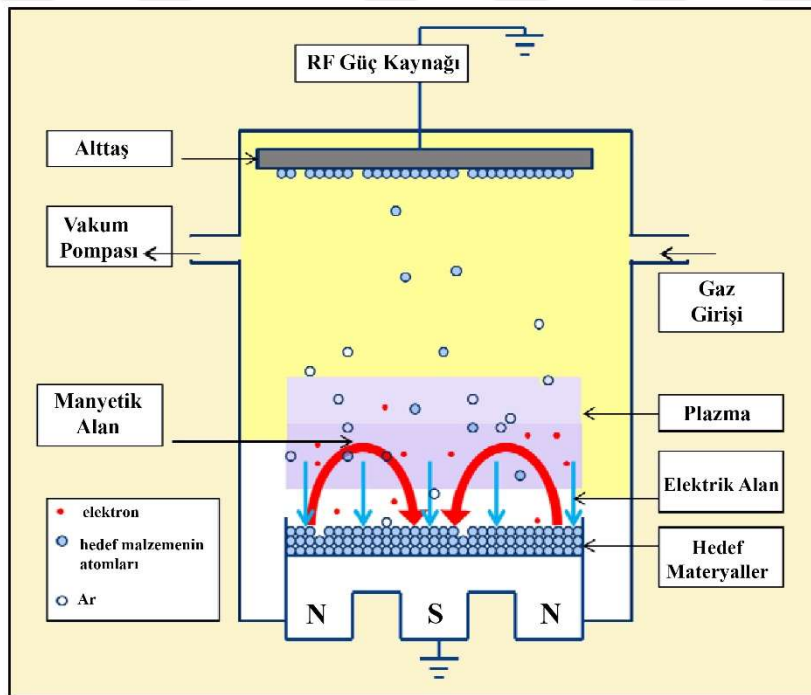
Bazı geçiş metal nitritler, yüksek erime noktaları, yüksek sertlik ve yüksek esneklik modülleri gibi fiziksel, mekanik ve elektriksel özelliklerinden dolayı endüstriyel uygulamalara sahiptir. Bakırın nitritli bileşikleri Cu_3N , Cu_4N , CuN_3 ve $\text{Cu}(\text{N}_3)_2$ yapısında bulunurlar (Lotfi-Kaljahi ve Savaloni, 2013; Blucher vd.,1989). CuN_3 ince filmlerin yasak enerji aralıkları genellikle 0,88-2,39 eV aralığındadır (Zhu vd., 2008;Zhang vd., 2015). Son yıllarda bakır nitrit ince filmlerin mikroelektronik cihazlar ve optik veri depolamadaki olası uygulamaları nedeniyle üretilmesinde dikkate değer bir özen gösterilmiştir (Li vd., 2006).

Bakır oksinitrit, ilk kez 1998 yılında deklare edilmiş ve bakırın azot ve oksijen bileşimiyle oluşturulmuş üçlü fazıdır. Bakır oksit ve bakır nitritli bileşiklerin oluşturulması amaçlanmıştır (Von Richthofen vd., 1998).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Radyo Frekansı (RF) Magnetron Sıçratma Tekniği

Fiziksel buhar depolama (Physical Vapor Deposition; PVD) sistemlerinden bir tanesi Radyo Frekansı (RF) sıçratma (sputter) ya da RF manyetik sıçratma sistemidir. Bu sistem ile istenilen kaplamalar ve yüzey işlemlerini nano düzeyde yapmak mümkündür. Düşük basınç ve oldukça düşük basınçlarda sistem çalışabilirken, nispeten daha yüksek basınçlarda da bu sistem çalışabilir.



Şekil 3.1. RF magnetron sıçratma sisteminin şematik gösterimi (Bosco vd.,2012)

Tipik RF sıçratma sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1'deki gibidir. Oldukça yüksek frekanslar gerektiren RF güç kaynakları mevcut olsa da kullanmış olduğumuz güç kaynağının frekansı 13,56 MHz.'dir. Manyetik alan sabit mıknatıslar vasıtasıyla sağlanır ve 100 gauss civarındadır. Çalışma odasının basıncı çalışılmak istenen düzeye düşürülür. Afinitesi yüksek elektronegatif gazlar kullanılarak reaktif plazma süreci de kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Reaktif olarak kullanılacak gaz ile argon gazı çalışma odasına verilir. Elektronlar manyetik alan çizgilerinin yörüngelerine girerek burada hapsolürlar. RF güç

kaynağı kullanılarak alternatif voltaj uygulandığında ivmelenen elektronlar ortamda bulunan argon atomlarıyla çarpışarak argon atomlarını iyonlaştırır. RF güç kaynağı vasıtasıyla anottan katoda doğru elektrik alan oluşur. Bu elektrik alan sayesinde elektronlar ve iyonlaşmış pozitif yüklü argon atomları (Ar^+) katot üzerinde bulunan negatif kutuplu hedef materyal+ üzerine hızla çarparak hedefte bulunan atomların bir kısmını manyetik alan çizgileri altındaki bölgede sıçratırlar. Sıçratılan atomlar veya bileşikler anotta bulunan alttaş üzerine biriktirilir. Bileşik, sıçratılan malzeme ile reaktif gazın elementleri tarafından oluşturulur. Reaksiyon genellikle alttaşa veya hedefin kendisinde meydana gelir. Atomlar veya bileşikler yoğunlaşarak ince bir film oluşturur.



Şekil 3.2. Sıçratma sonrası bakır hedef

Radyo frekans magnetron sıçratma işlemi sonrası kullanılan bakır hedefin resmi Şekil 3.2.'de verilmiştir.

3.2. Bakır Oksit İnce Filmlerin Üretilmesi

Bakır oksit ince filmler RF manyetik sıçratma yöntemi kullanılarak Çizelge 3.1'deki üretim parametrelerinde cam üzerine üretilmişlerdir. Bu üretim esnasında 2 inç'lik bakır

hedefler ve taşıyıcı gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Hedef olarak bakır, gaz olarak ise değişik oranlarda argon ve oksijen karışımı kullanılmıştır. Yapılan ön çalışmalarda en uygun RF gücü değeri 200 W tespit edildiğinden, 200 W RF gücü kullanılmıştır. Filmlerin mikro-yapısal, optik ve yüzey özelliklerinin değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 3.1. Bakır Oksit İnce Film Üretim Parametreleri Tablosu

Numune No.	P(Torr)	Güç (W)	Süre (dk.)	Reaktif Gaz (O ₂) Oranı %	Taşıyıcı Gaz(Ar) Oranı %
1	0,4	200	60	10	90
2	0,4	200	60	30	70
3	0,4	200	60	50	50
4	0,4	200	60	70	30
5	0,4	200	60	90	10

3.3.Bakır Nitrit İnce Filmlerin Üretilmesi

Bakır nitrit ince filmler RF manyetik sıçratma yöntemi kullanılarak Çizelge 3.2.'deki üretim parametrelerinde cam üzerine üretilmişlerdir. Bu üretim esnasında 2 inç'lik bakır hedefler ve taşıyıcı gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Değişken parametre olarak bakır hedef kullanılmış ve gaz olarak değişik oranlarda argon ve azot karışımı kullanılmıştır. Yapılan ön çalışmalarda en uygun RF gücü değeri 200 W tespit edildiğinden, 200 W RF gücü kullanılmıştır. Filmlerin mikro-yapısal özellikleri, optik özellikleri, yüzey özelliklerinin değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 3.2. Bakır Nitrit İnce Film Üretim Parametreleri Tablosu

Numune No.	P(Torr)	Güç (W)	Süre (dk.)	Reaktif Gaz (N) Oranı %	Taşıyıcı Gaz(Ar) Oranı %
6	0,4	200	60	10	90
7	0,4	200	60	30	70
8	0,4	200	60	50	50
9	0,4	200	60	70	30
10	0,4	200	60	90	10

3.4. Bakır Oksinitrit İnce Filmlerin Üretilmesi

Bakır oksinitrit ince filmler RF manyetik sıçratma yöntemi kullanılarak Çizelge 3.3.'teki üretim parametrelerinde cam üzerine üretilmişlerdir. Bu üretim esnasında 2 inç'lik bakır hedefler ve taşıyıcı gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Hedef olarak bakır hedef kullanılmış ve gaz olarak değişik oranlarda argon, oksijen ve azot karışımı kullanılmıştır. Yapılan ön çalışmalarda en uygun RF gücü değeri 200 W tespit edildiğinden, 200 W RF gücü kullanılmıştır. Filmlerin mikro-yapısal özellikleri, optik özellikleri, yüzey özelliklerinin değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 3.3. Bakır Oksinitrit İnce Film Üretim Parametreleri Tablosu

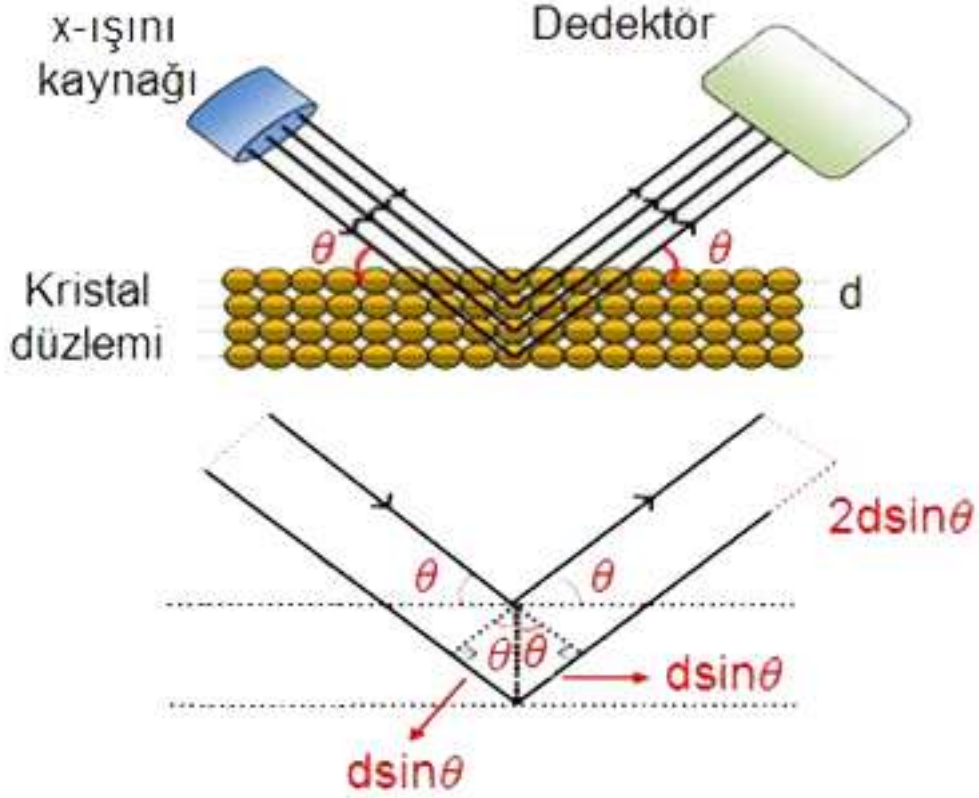
Numune No.	P(Torr)	Güç (W)	Süre (dk.)	Reaktif Gaz-1 (O ₂) Oranı %	Reaktif Gaz-2 (N) Oranı %	Taşıyıcı Gaz(Ar) Oranı %
11	0,4	200	60	15	15	70
12	0,4	200	60	25	25	50
13	0,4	200	60	35	35	30
14	0,4	200	60	45	45	10

3.5. İnce Filmlerin Analiz Yöntemleri

3.5.1. XRD (X-ışını kırınım cihazı)

Kristal atomlarının arasındaki mesafeyi ve geometrik düzeni belirlemekte kullanılan bir yöntemdir. Bir kristal üzerine gelen X-ışınları, madde elektronları arasındaki etkileşme neticesinde saçılır. Eğer x-ışınları bir kristaldeki düzenli ortam tarafından saçılırsa, saçılmayı yapan merkezler arasındaki uzaklık x-ışınının dalga boyu ile aynı mertebeden olduğu için saçılan ışınlar sönümleyici ya da güçlendirici girişim yaparlar. Bu durumda kırınım meydana gelir. Örneğin; X-ışınlarının eşit aralıklarla sıralanmış paralel örgü düzlemleri üzerine θ açısıyla geldiğini varsayalım. Bu durumda ardışık iki düzlemden yansıyan ışınlar arasındaki yol farkı $2d\sin\theta$ olur. Burada “ d ” düzlemler arası mesafedir. Yapıcı girişim oluşması için, bu yol farkları dalga boyunun tam katları şeklinde olmalıdır ($n=0, 1, 2, 3, \dots$). Denklem 3.1’de verilen eşitlik Bragg yasası olarak bilinir (Kittel ,2005;Park vd.,2013; Hsu vd.,2013).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3.1)$$



Şekil 3.3. Kristal düzlemlerinden x-ışınları saçılması

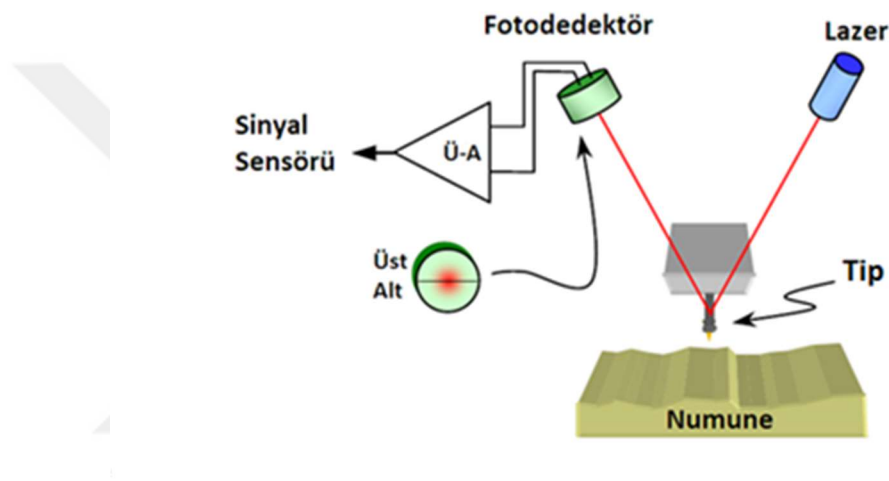
Şekil 3.3.'te kristal düzlemlerinden x-ışınları kırınımı (XRD) alttaş üzerine büyütülen ince filmlerin karakterizasyonu için kullanılan bir tekniktir. Şekil 3.3 Yıldırım,2014'ten alınmıştır.

3.5.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

AFM, bir angstromdan 100-150 mikrona kadar yüzey topografisini ölçebilen bir cihazdır. AFM 1986'da Binnig, Quate ve Gerber tarafından icat edilmiştir (Binnig vd., 1986; Johnson, 2005; Çörekci, 2008).

Atomik kuvvet mikroskobu numunenin yüzeyi üzerinde hareket ettirilen nano boyutlu bir tip ile yüzeydeki atomlara uygulanan kuvveti algılayarak yüzeyin görüntüsünü elde eden sistemdir.

Atomik kuvvet mikroskobu ile incelenecek numune yüzeyinde üzerinde materyalin kapladığı alan, ortalama yüksekliği, pürüzlülüğü ve kapladığı alan gibi bilgilere ulaşılabilmektedir. Yüzey topolojisinin bazı uzaysal özellikleri istatistiksel açıdan incelenerek histogram analizi aracılığıyla belirlenebilmektedir. AFM'nin en önemli özelliği, alışılmış elektron mikroskopisi tekniklerinde bulunan özel örnek hazırlanması, vakum v.b. şartları hazırlamaya gerek olmadan, incelenen örnek yüzeyinin moleküler veya atomik seviyede üç boyutlu görüntüsünü verebilmesidir. Atomik kuvvet mikroskobuna ait şematik gösterim Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Atomik kuvvet mikroskobuna ait şematik gösterim (Q-Scope™ 250/400 Nomad™ kullanıcı kılavuzu)

3.5.3. İnterferometrik Ölçüm Cihazı

İnterferometre ince film karakteristiklerini numuneden gelen yansıyan ve geçen ışık vasıtasıyla ölçer ve daha sonra bu ışığın dalgaboyu aralığında analizini yapar. Dalga benzeri özelliklerinden dolayı ince filmin alt ve üst yüzeylerinden yansıyan ışığa ait yansımalar faz içi olabileceğinden eklenir veya faz dışı ise çıkartılır. Yansımaların faz içi veya faz dışı olup olmaması yada arada bir yerde olması, filmin kalınlığı ile birlikte ışığın dalga boyuna ve özelliklerine bağlıdır. Üretilen ince film numunenin yansıma ölçümleri, kırılma indisi, pürüzlülüğü gibi özellikleri bilinen özellikleri yazılıma tanıtılarak fiber optik kablolar aracılığıyla Filmeasure programına aktarılarak belirlenir. (Filmetrics F20 kullanıcı kılavuzu, 2005).

3.5.4. UV-Vis Spektrometre Cihazı

Bir UV-Vis (görünür bölge ve mor ötesi) spektrometresi bir monokromatör (dalga boyu seçicisi), ışık kaynağı ve dedektörden oluşur. Optik sinyal, dedektörde elektrik sinyaline dönüşerek bir galvanometre ya da kaydedici ile ölçülür.

Spektrometrede, lambadan gelen ışık, yöneltici aynanın ızgara üzerine doğrulttuğu demetin olduğu yerdeki monokromatörün giriş yarığına odaklanmıştır. Izgara ışık demetinin yönlendirici ayna tarafından monokromatörün çıkış yarığına odaklanmış demetin bir kısmını spektrum üretmek için dağıtır. Burada ışık demeti istenmeyen ikinci derece radyasyonu devre dışı bırakmaya yarayan filtrelerden birinin üzerinden geçerek numuneye doğru gelir. Numuneden geçen ışık demeti silikon fotodiyot dedektör üzerine gelir ve dedektörün dijital görüntüleme sisteminde görüntülenmek üzere elektrik sinyali üretmesine sebep olur (UV-4802 UV-Vis Spektrofotometre kullanıcı kılavuzu).

UV-Vis spektrometresi kullanılarak elde edilen verilerle soğurma ve geçirgenlik grafikleri çizilir. Tauc yöntemi olarak denklem 3.4'te soğurma grafiği değerleri kullanılarak Tauc yöntemi ile $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafikleri çizilir. Bu grafiklerde lineer kısımların doğrultusunun $(\alpha h\nu)^2=0$ noktasında $h\nu$ eksenini kestiği nokta optiksel yasak enerji aralığı (E_g) olarak belirlenmiştir.

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{1}{T}\right)}{d} \quad (3.2)$$

$$\alpha = 2,303 \left(\frac{A}{d}\right) \quad (3.3)$$

$$\alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^n \quad (3.4)$$

Burada; α optiksel soğurma katsayısı, T geçirgenlik, d film kalınlığı, A soğurma katsayısı, h Planck sabiti, ν kullanılan fotonun frekansı, n ise izinli doğrudan geçişler için 1/2, izinli dolaylı geçişler için ise 2, izinsiz geçişler için ise 3/2 değerini alan bir sabittir. (Tauc vd., 1966)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bakır Oksit Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Oksijen oranları %10, 30, 50, 70 ve 90 olarak değiştirilerek üretilen bakır oksit ince filmlerin interferometrik ölçüm cihazı, X-ışını kırınım cihazı, atomik kuvvet mikroskobu ve UV-Vis Spektrometre cihazı ile yapılan ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Bakır Oksit Filmlerin Kalınlık Analizleri

Oksijen oranları sırasıyla %10, 30, 50, 70 ve 90 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmlerin kalınlık değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.

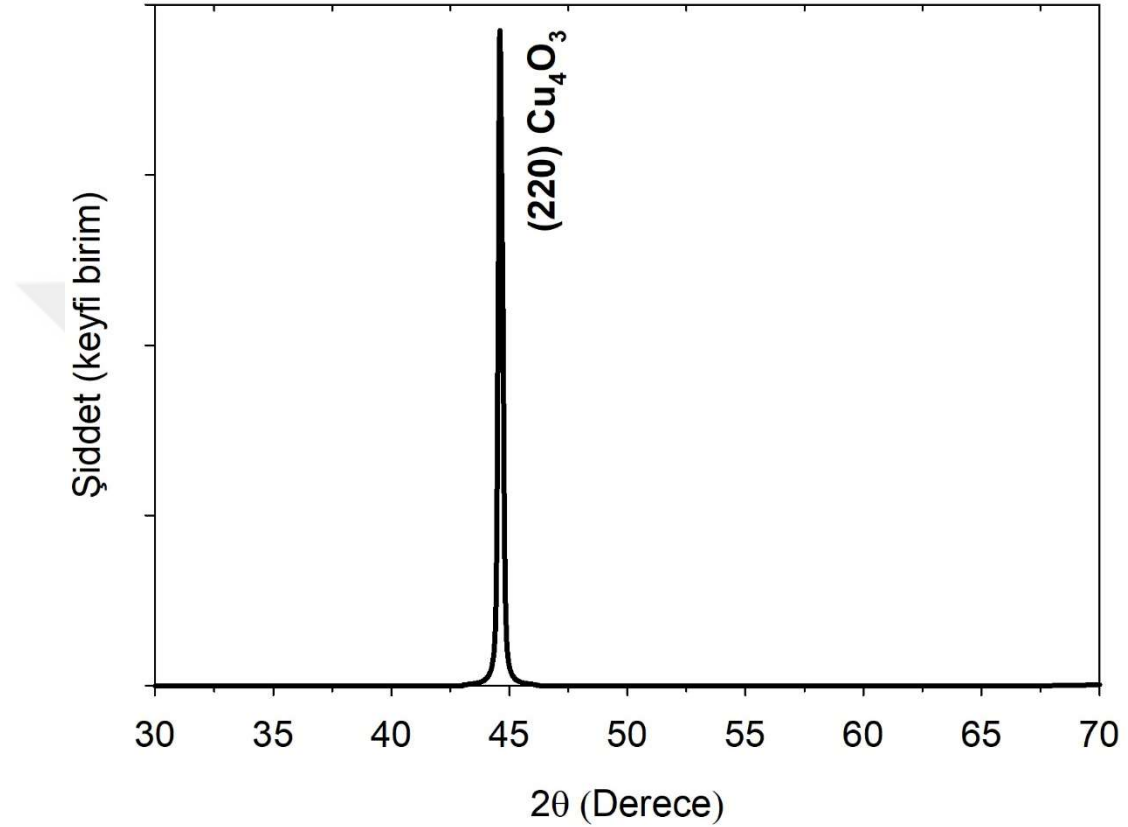
Çizelge 4.1. Bakır oksit ince filmlerin kalınlık değerleri

Numune No.	Kalınlık (nm)
1	95
2	120
3	85
4	120
5	175

Üretilen ince filmlerin kalınlıkları Filmetrics F20 cihazı ile 400-1000 nm aralığında yansıma ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Belirlenen kalınlık değerleri 85 nm ile 175 nm arasındadır.

4.1.2. Bakır Oksit Filmlerin XRD Grafikleri

Oksijen oranı %10 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.

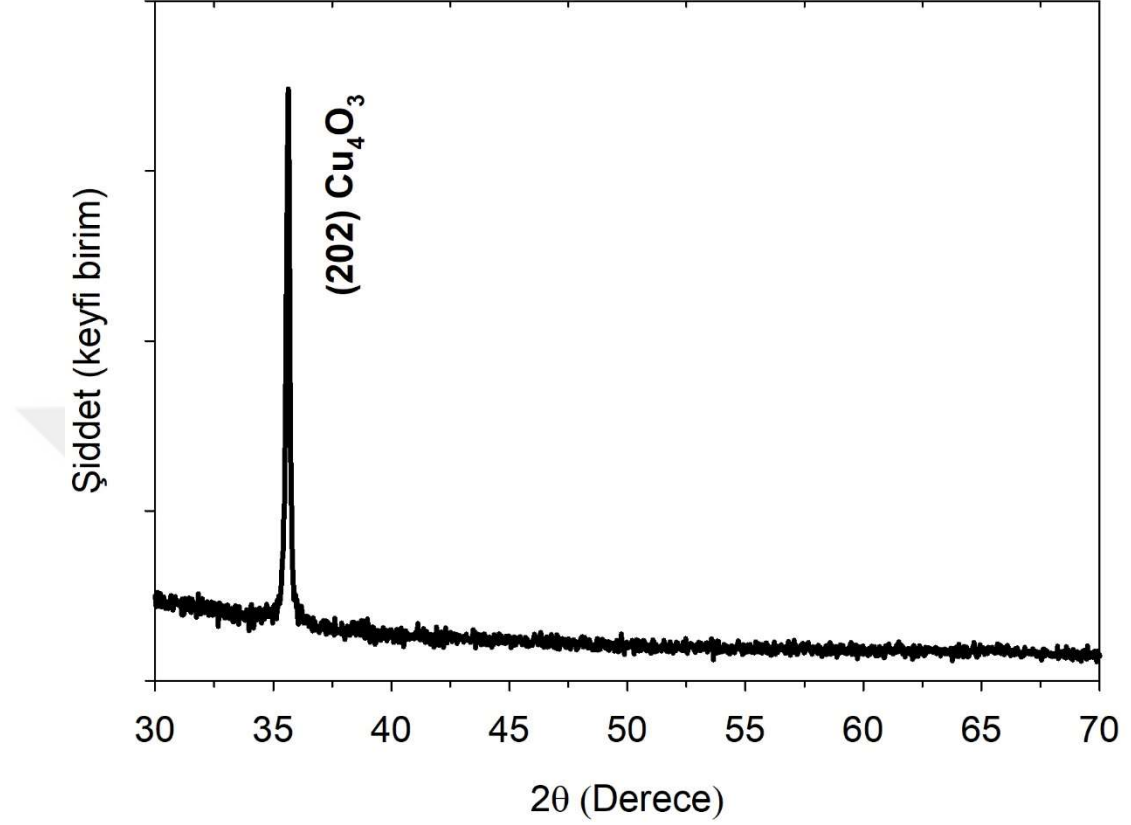


Şekil 4.1. 1 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Empreyan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.1.’de 1 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (220) yönelimli Cu_4O_3 (JCPDS 83-1665) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin tetragonal kristal yapıda olduğu görülmüştür (Murali ve Subrahmanyam, 2016)

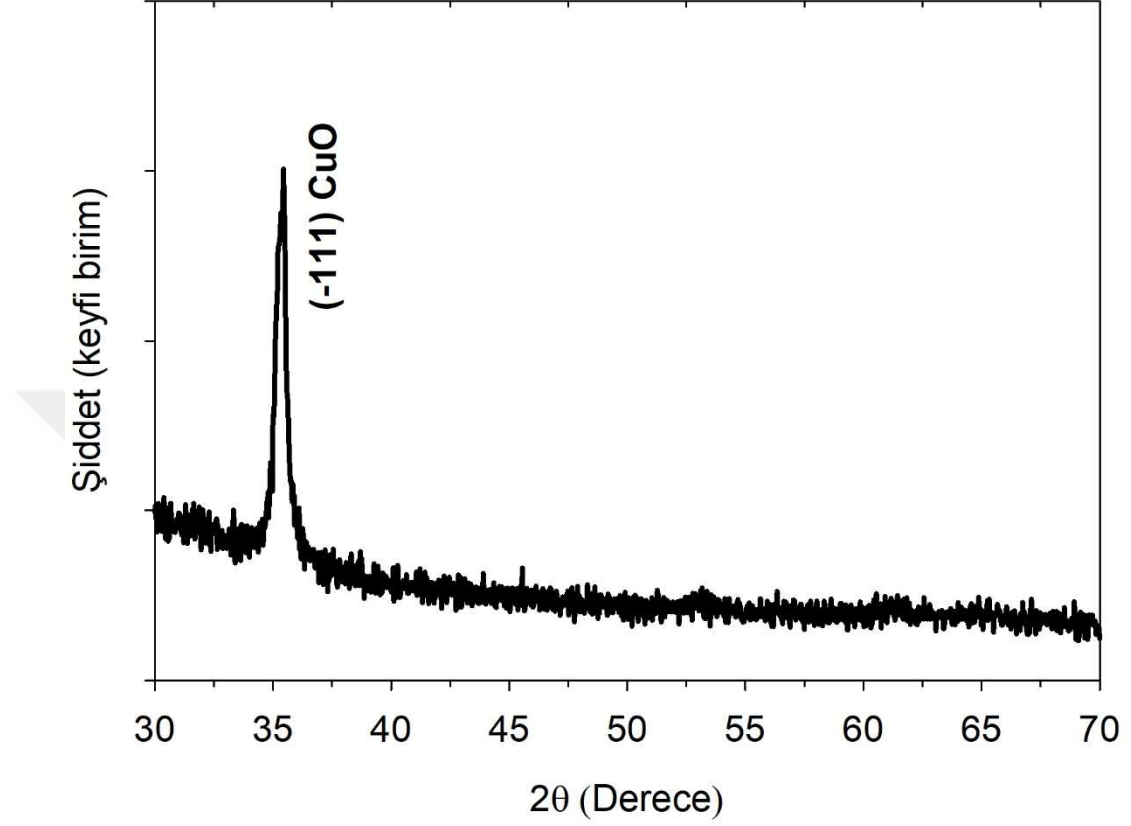
Oksijen oranı %30 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.2.’de 2 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli Cu_4O_3 (JCPDS 83-1665) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin tetragonal kristal yapıda olduğu görülmüştür (Geçici vd., 2016).

Oksijen oranı %50 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.

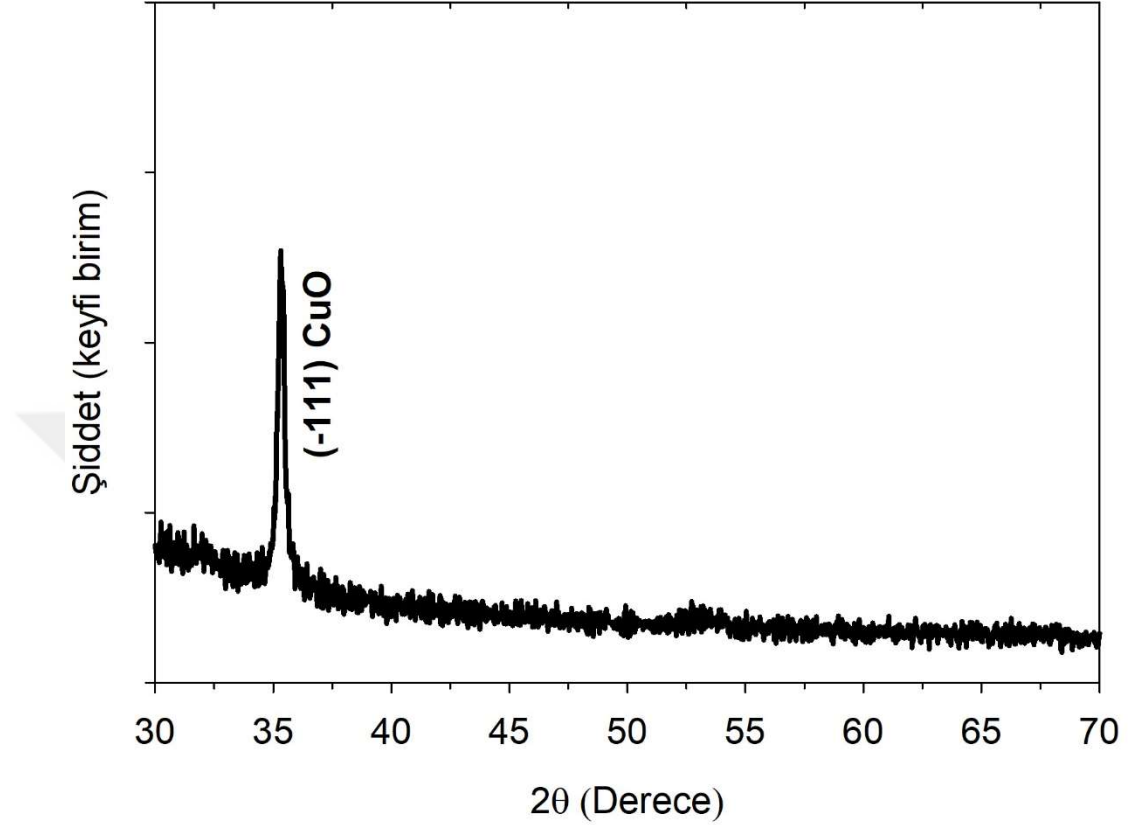


Şekil 4.3. 3 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Empreyan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.3.'te 3 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (-111) yönelimli CuO (JCPDS 89-5895) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin monoklinik kristal yapıda olduğu görülmüştür (Felix vd., 2015).

Oksijen oranı %70 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.

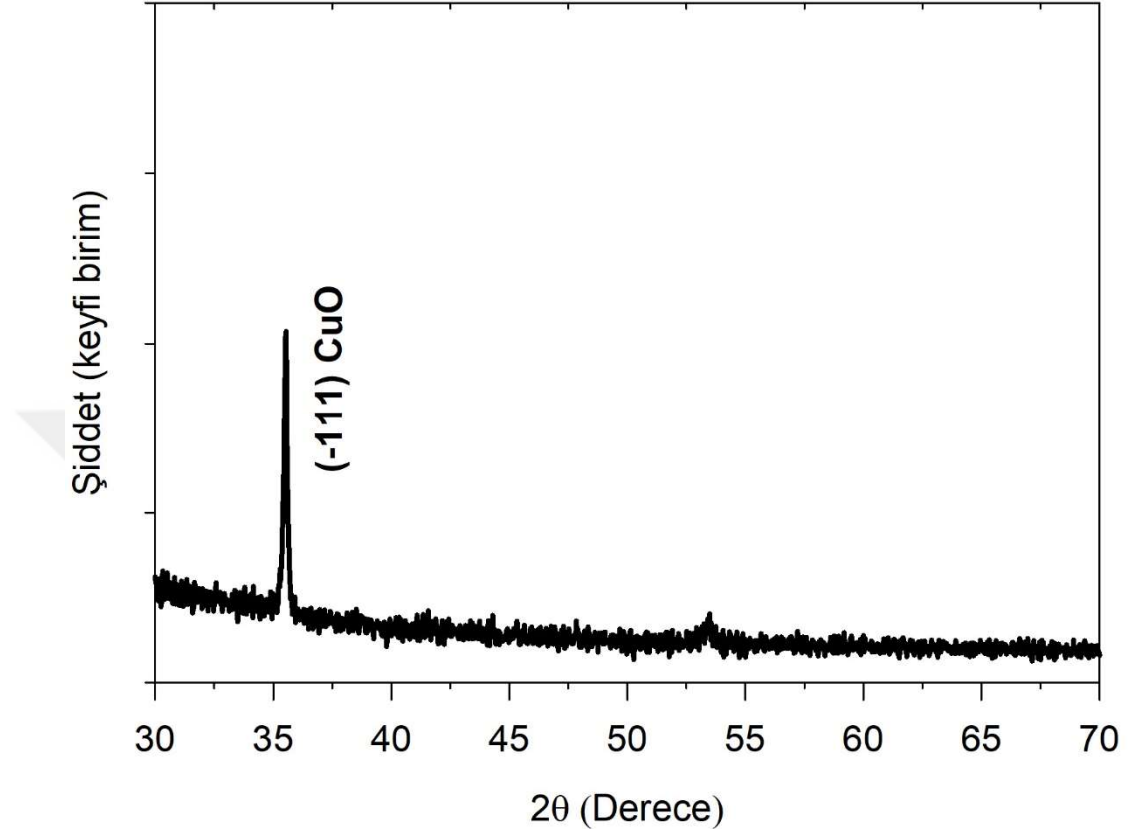


Şekil 4.4. 4 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.4.'te 4 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (-111) yönelimli CuO (JCPDS 89-5895) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin monoklinik kristal yapıda olduğu görülmüştür (Felix vd., 2015).

Oksijen oranı %90 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



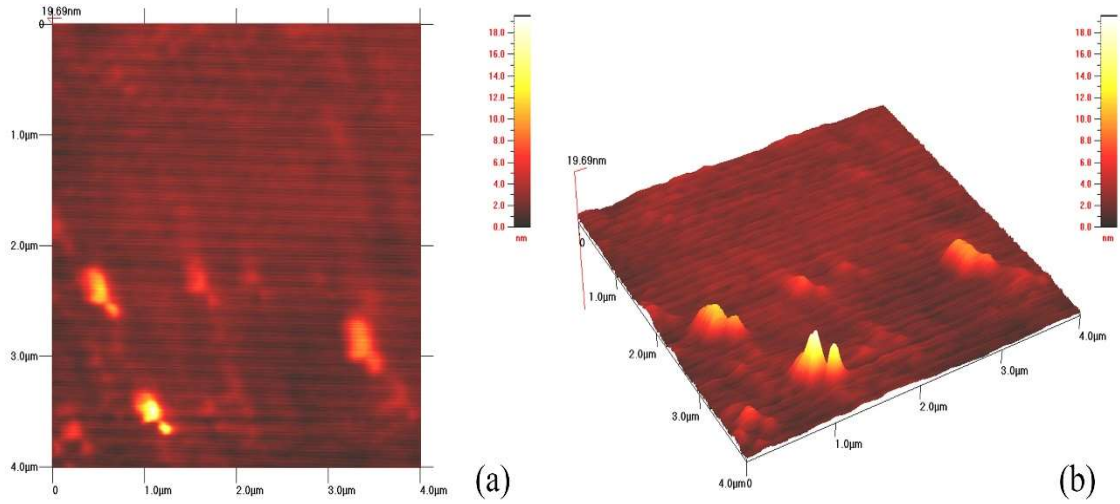
Şekil 4.5. 5 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.5.'te 5 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (-111) yönelimli CuO (JCPDS 89-5895) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin monoklinik kristal yapıda olduğu görülmüştür (Felix vd., 2015).

4.1.3. Bakır Oksit Filmlerin AFM Analizleri

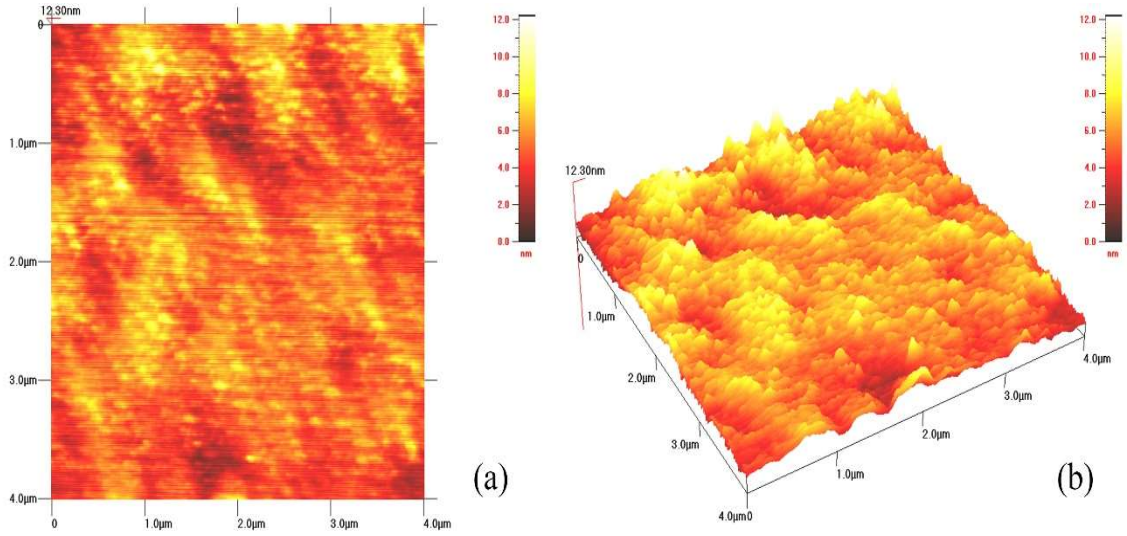
Oksijen oranı %10 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.6 (a) ve Şekil 4.6 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.6. 1 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.6.'da Çizelge 3.1.'de üretim parametreleri verilen 1 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 19 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde R_a pürüzlülük değeri 0,66 nm ve R_q pürüzlülük değeri 1,01 nm olarak ölçülmüştür.

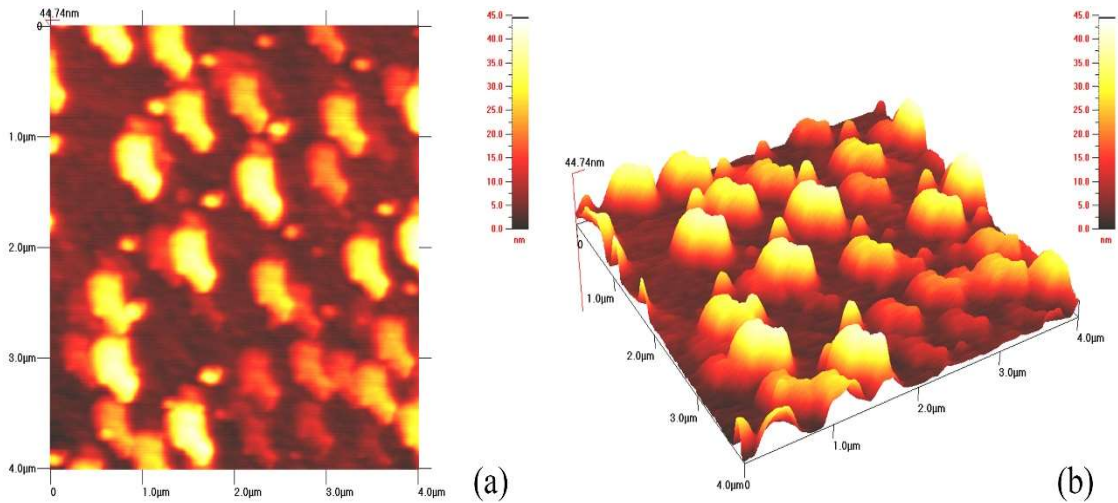
Oksijen oranı %30 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.7 (a) ve Şekil 4.7 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 2 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.7.'de Çizelge 3.1.'de üretim parametreleri verilen 2 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4 μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 12 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 0,89 nm ve Rq pürüzlülük değeri 1,11 nm olarak ölçülmüştür.

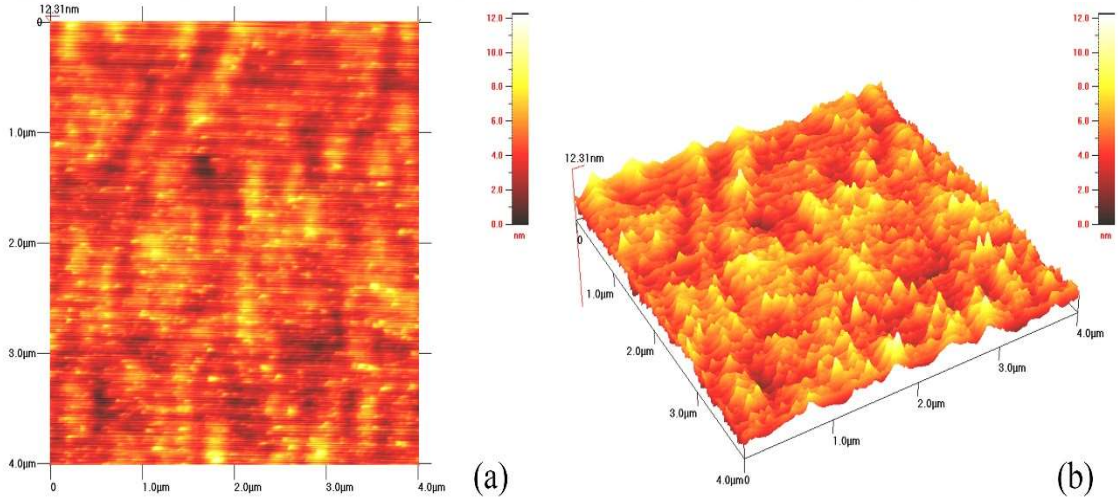
Oksijen oranı %50 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.8 (a) ve Şekil 4.8 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.8 3 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.8.'de Çizelge 3.1.'de üretim parametreleri verilen 3 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 44 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde R_a pürüzlülük değeri $7,63 \text{ nm}$ ve R_q pürüzlülük değeri $9,29 \text{ nm}$ olarak ölçülmüştür.

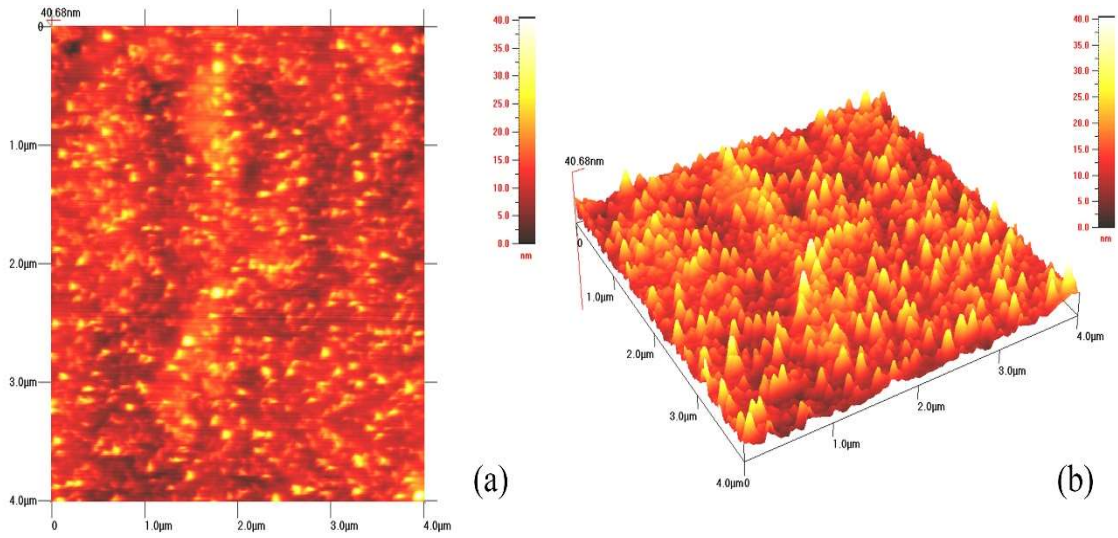
Oksijen oranı %70 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.9 (a) ve Şekil 4.9 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.9. 4 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.9.'da Çizelge 3.1.'de üretim parametreleri verilen 4 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 12 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde R_a pürüzlülük değeri $0,84 \text{ nm}$ ve R_q pürüzlülük değeri $1,05 \text{ nm}$ olarak ölçülmüştür.

Oksijen oranı %90 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.10 (a) ve Şekil 4.10 (b)'de verilmiştir.

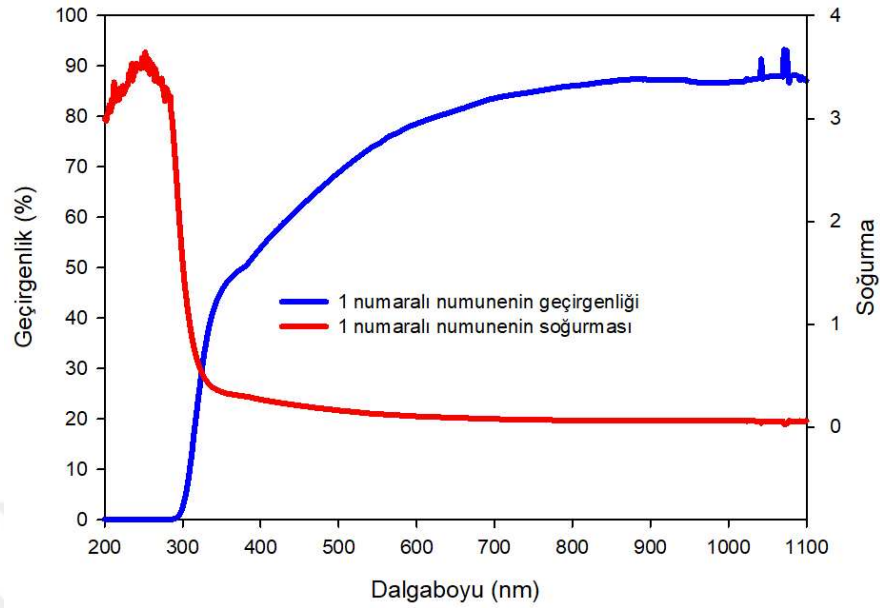


Şekil 4.10. 5 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

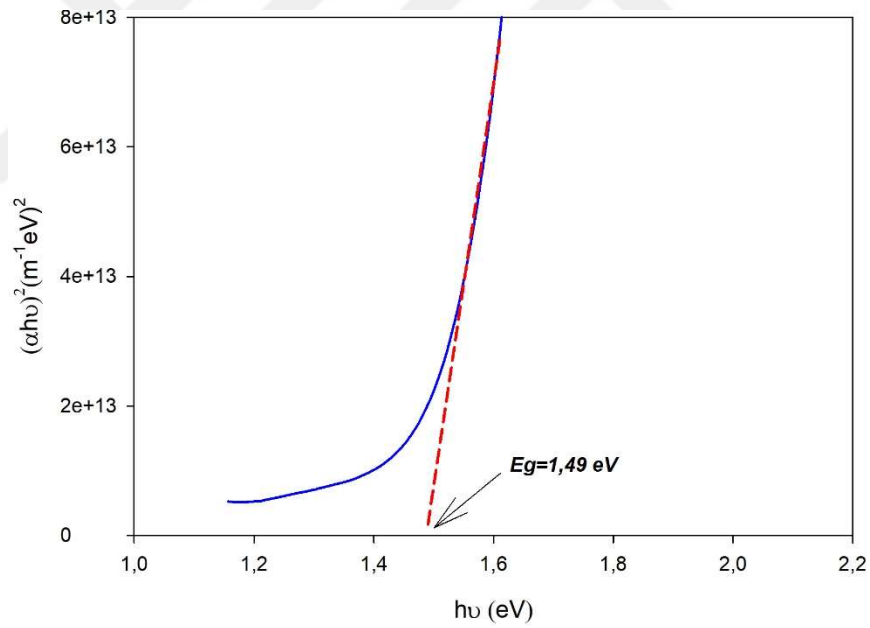
Şekil 4.10.'da Çizelge 3.1'de üretim parametreleri verilen 5 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4 μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 40 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 3,31 nm ve Rq pürüzlülük değeri 4,15 nm olarak ölçülmüştür.

4.1.4. Bakır Oksit Filmlerin Optiksel Özellikleri

Oksijen oranı %10 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.11'de ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir.



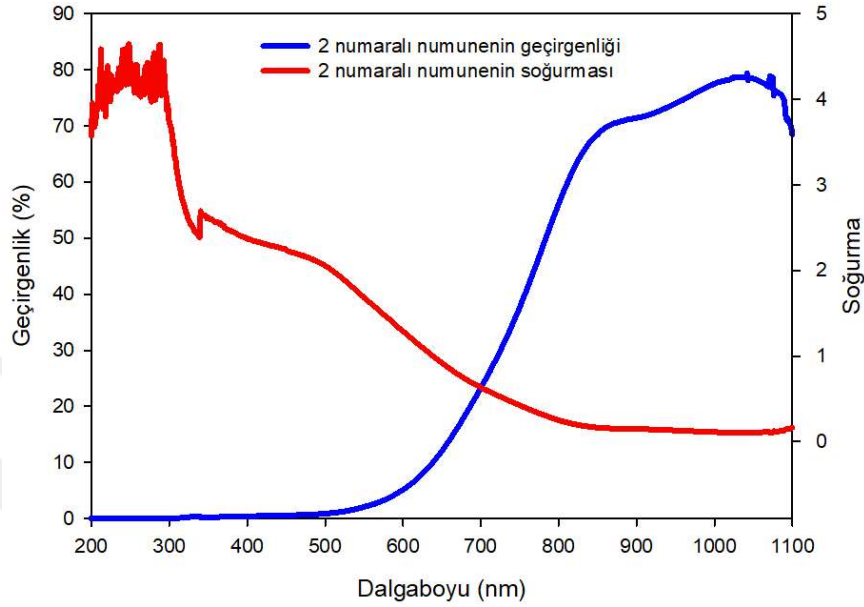
Şekil 4.11. 1 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



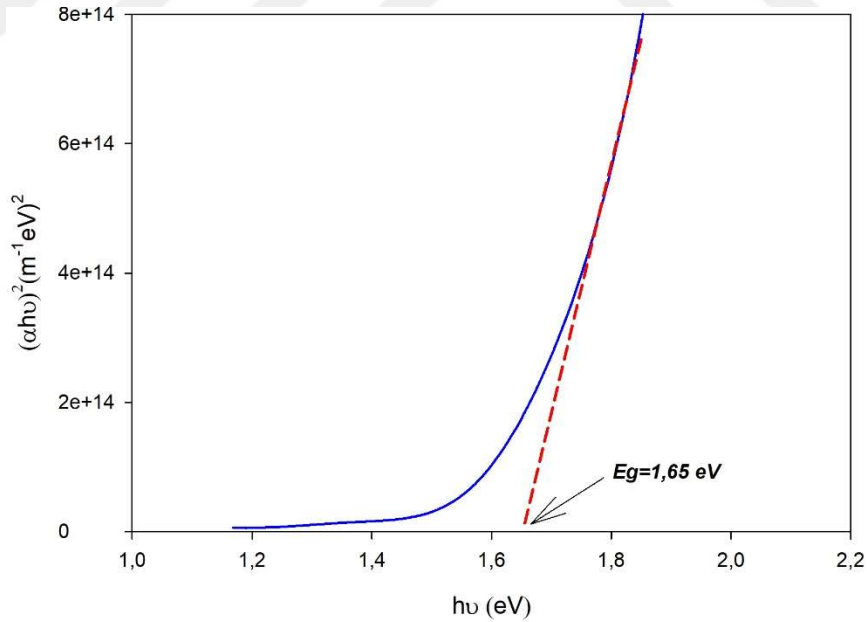
Şekil 4.12. 1 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği

Şekil 4.11.'de yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen 1 numaralı numuneye ait ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.12.'de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının hv eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,49 eV olarak saptanmıştır.

Oksijen oranı %30 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.13'te ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.13. 2 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği

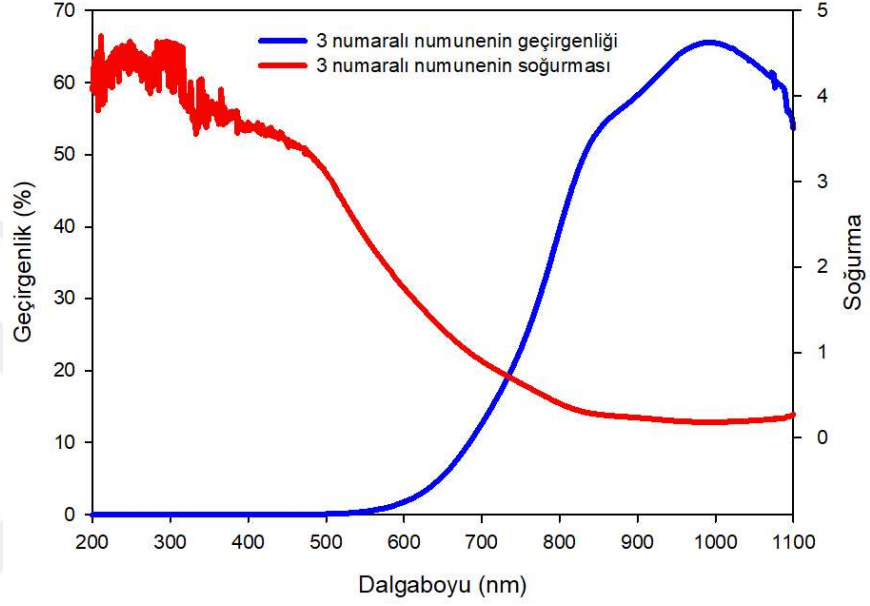


Şekil 4.14. 2 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

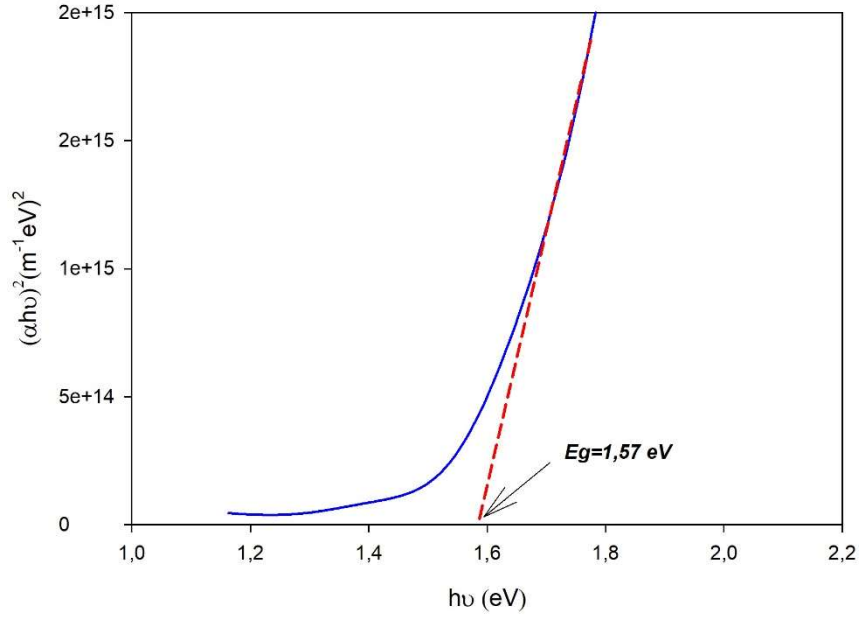
Şekil 4.13.'te yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.14.'te

grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin linear kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,65 eV olarak saptanmıştır.

Oksijen oranı %50 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.15'te ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



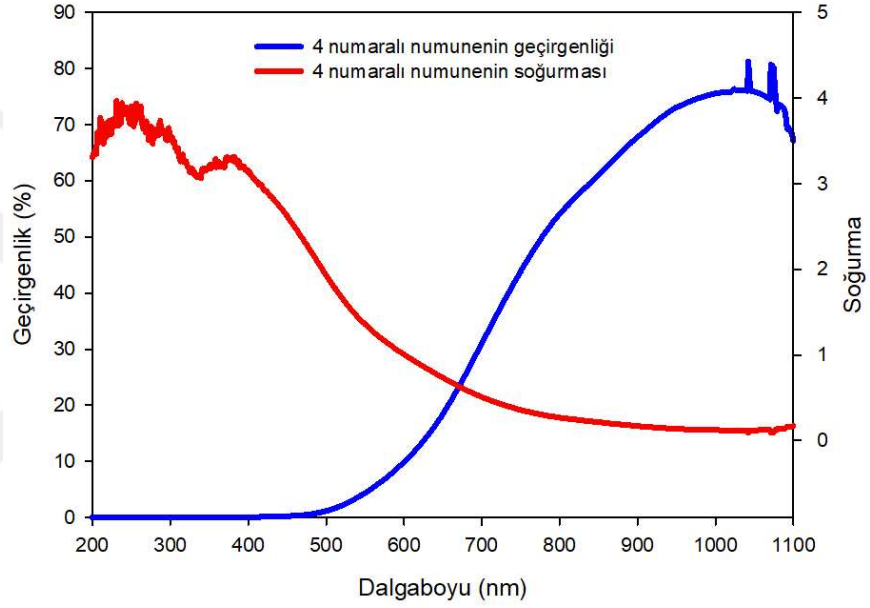
Şekil 4.15. 3 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



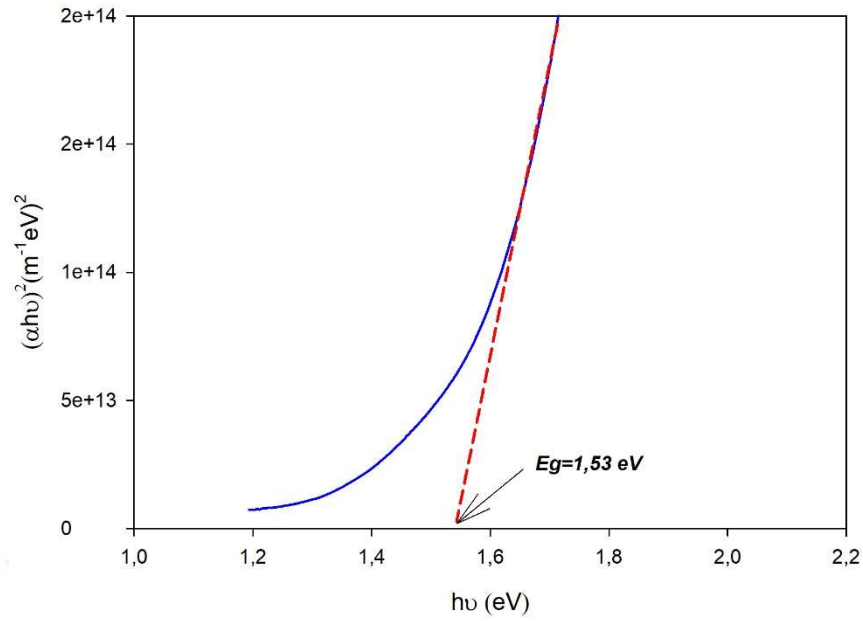
Şekil 4.16. 3 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.15'te yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.16.'da grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin linear kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,57 eV olarak saptanmıştır.

Oksijen oranı %70 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.17'de ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir.



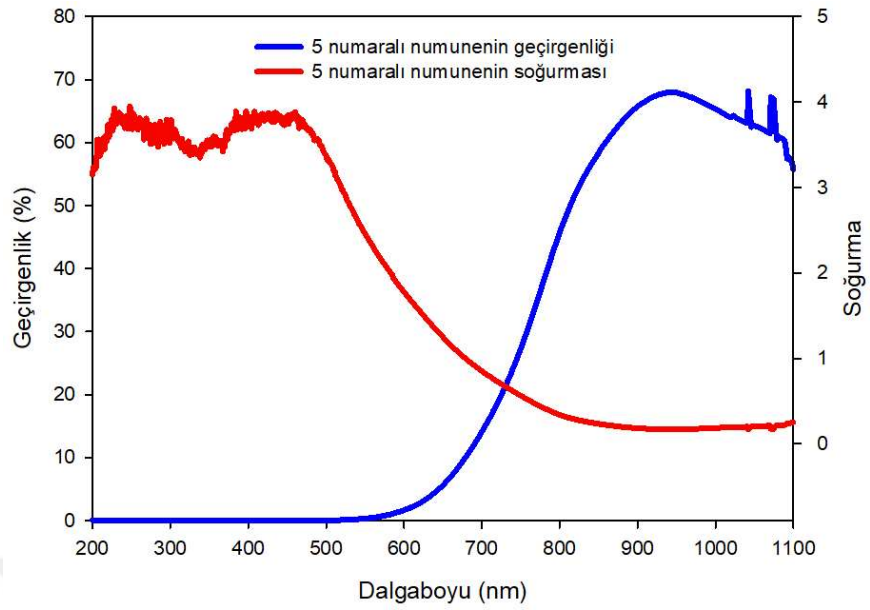
Şekil 4.17. 4 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



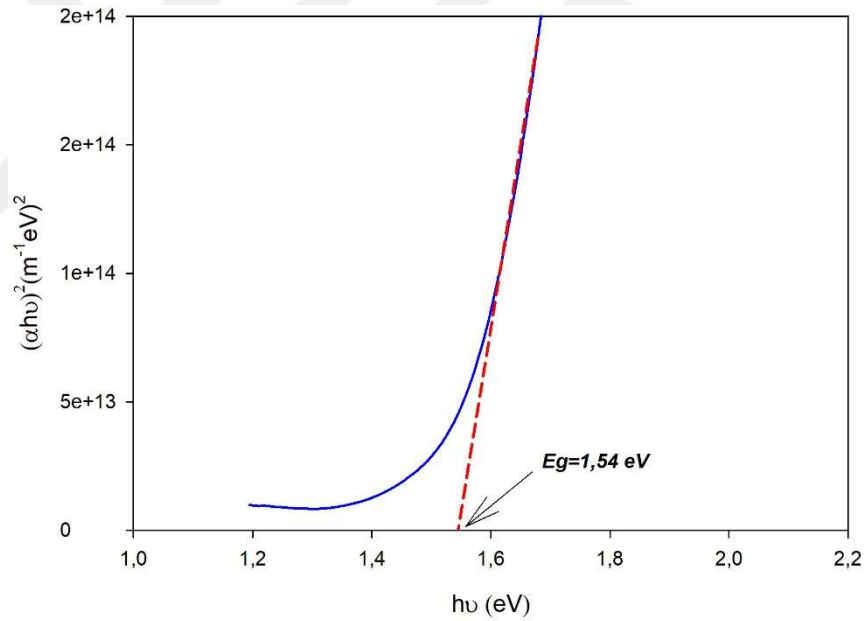
Şekil 4.18. 4 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.17.'de yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.18.'de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin linear kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,53 eV olarak saptanmıştır.

Oksijen oranı %90 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.19'da ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.19. 5 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



Şekil 4.20. 5 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.19.'da yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam altaşlar üzerine üretilen bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.20.'de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,54 eV olarak saptanmıştır.

Oksijen oranları sırasıyla %10, 30, 50, 70 ve 90 olarak seçilerek büyütülen bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralığı değerleri ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Bakır oksit ince filmlerin yasak enerji aralıkları

Numune No	E_g (eV)
1	1,49
2	1,65
3	1,57
4	1,53
5	1,54

Çizelge 3.1’de gösterilen numunelere ait $(\alpha h\nu)^2 \sim hv$ değişim grafikleri çizilerek Tauc metodu ile band aralığı hesaplanmıştır. Band aralığı değerleri Çizelge 4.2’de verilmektedir. Monoklinik kristal yapıdaki CuO ince filmler ile tetragonal yapıdaki Cu₄O₃ ince filmlerin band aralığı değerleri 1,21 ile 2,6 eV arasında değiştiği bilinmektedir. Hesaplanan değerler literatür ile uyumludur (Mugwang’a vd., 2013;Geçici vd., 2015).

Bu tez çalışmasında bakır nitrit ince filmlerin yasak enerji aralığı hesaplamalarında tetragonal yapıdaki (220) yönelimli Cu₄O₃ ince filmler, monoklinik yapıdaki (-111) yönelimli CuO ince filmlerle tetragonal yapıdaki (202) yönelimli Cu₄O₃ ince filmler arasında dikkate değer bir fark gözlenmemiştir.

4.2. Bakır Nitrit Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Azot oranları %10, 30, 50, 70 ve 90 olarak değiştirilerek üretilen bakır nitrit ince filmlerin interferometrik ölçüm cihazı, X-ışını kırınım cihazı, atomik kuvvet mikroskobu ve UV-Vis Spektrometre cihazı ile yapılan ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Bakır Nitrit Filmlerin Kalınlık Analizleri

Azot oranları sırasıyla %10, 30, 50, 70 ve 90 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmlerin kalınlık değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

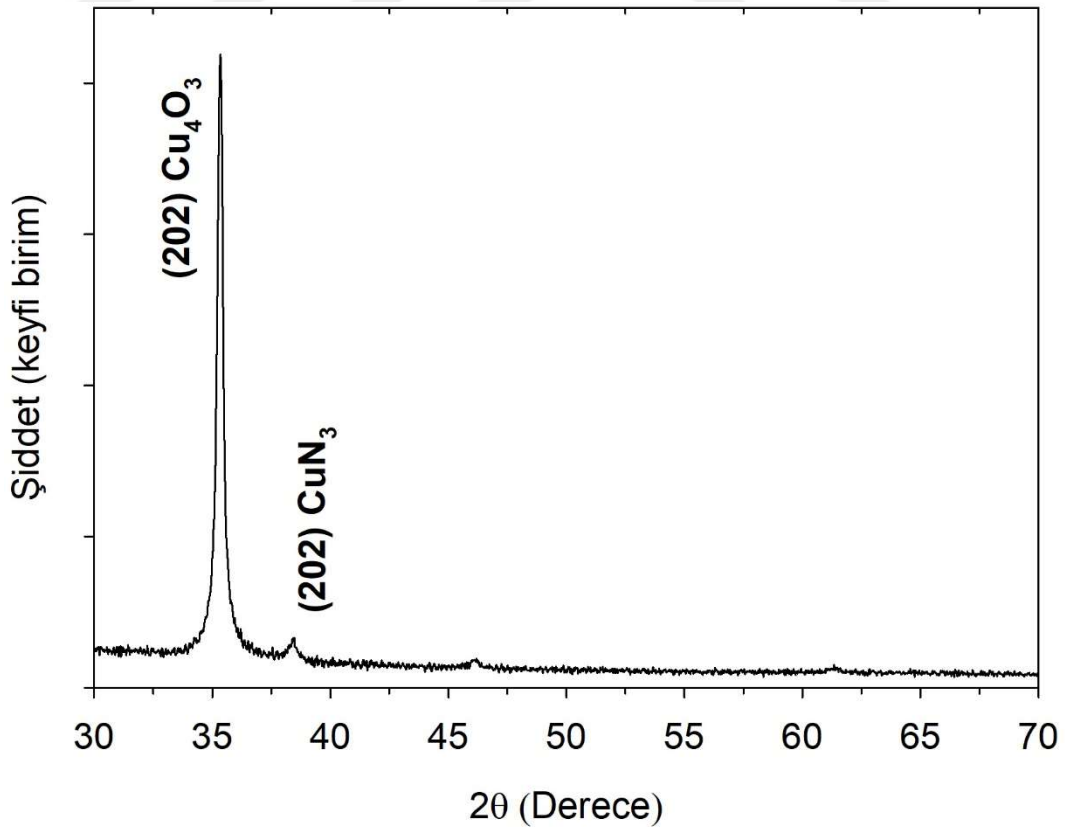
Çizelge 4.3 Bakır Nitrit İnce Filmlerin Kalınlık Değerleri

Numune No	Kalınlık (nm)
6	120
7	185
8	155
9	110
10	120

Üretilen ince filmlerin kalınlıkları Filmetrics F20 cihazı ile 400-1000 nm aralığında yansıma ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Belirlenen kalınlık değerleri 110 nm ile 185 nm arasındadır.

4.2.2. Bakır Nitrit Filmlerin XRD Grafikleri

Azot oranı %10 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir.

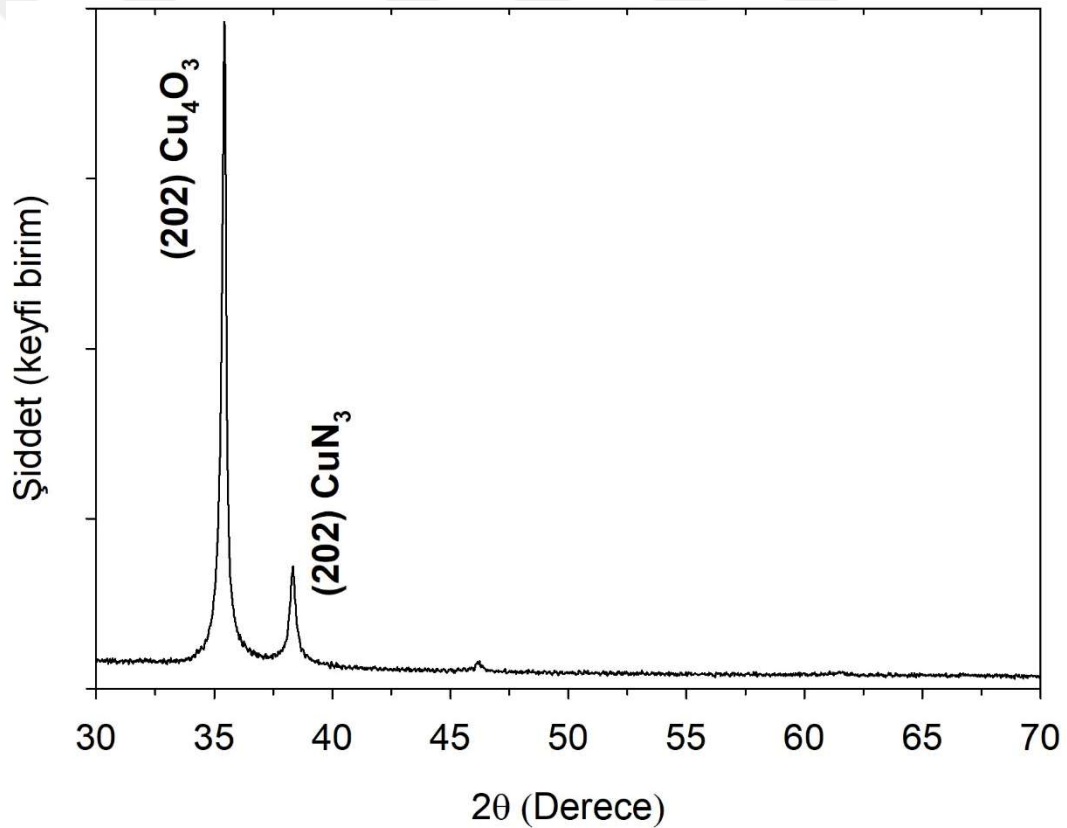


Şekil 4.21. 6 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılarak PANalytical Empreyan cihazında $30^\circ < 2\Theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.21’de 6 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli tetragonal yapıda CuN_3 (JCPDS 85-903) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin çoklu kristal yapıda olduğu görülmüştür (Lotfi-Kaljahi ve Savaloni, 2013).

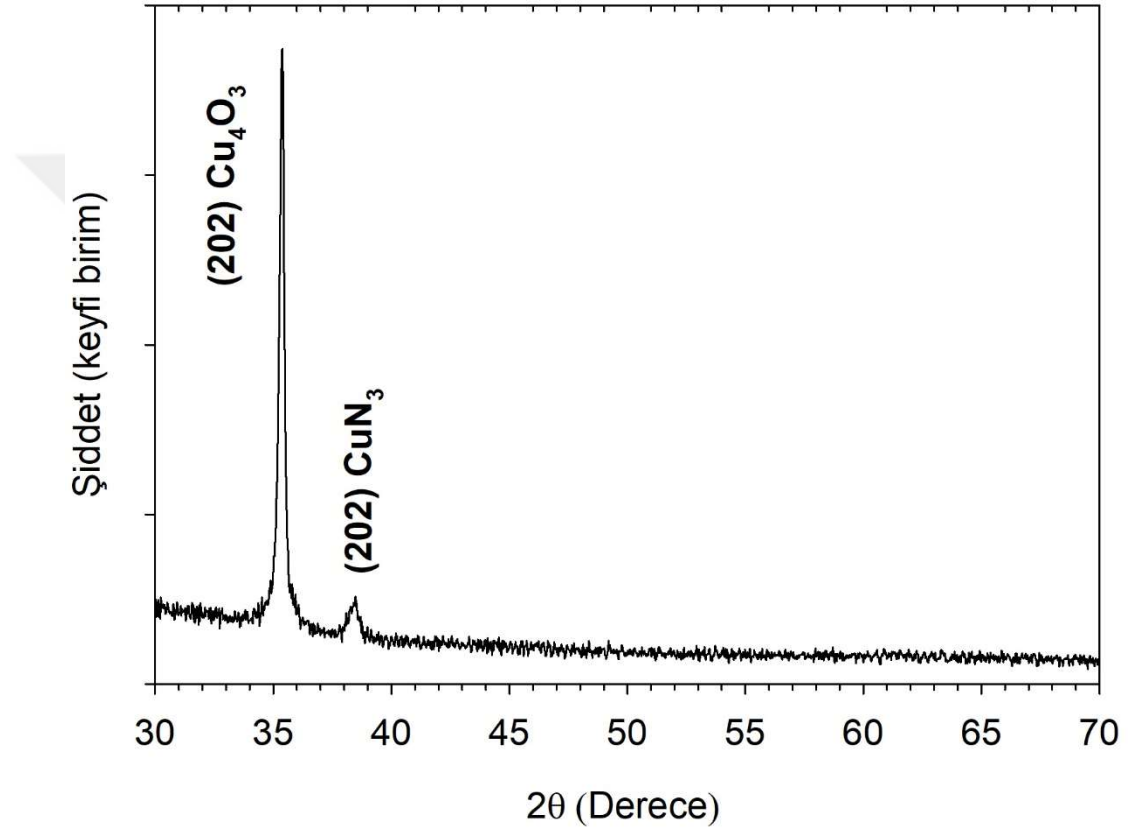
Azot oranı %30 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir.



RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılarak PANalytical Empreyan cihazında $30^\circ < 2\Theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.22’de 7 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli tetragonal yapıda CuN_3 (JCPDS 85-903) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin çoklu kristal yapıda olduğu görülmüştür (Lotfi-Kaljahi ve Savaloni, 2013).

Azot oranı %50 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.23’te verilmiştir.

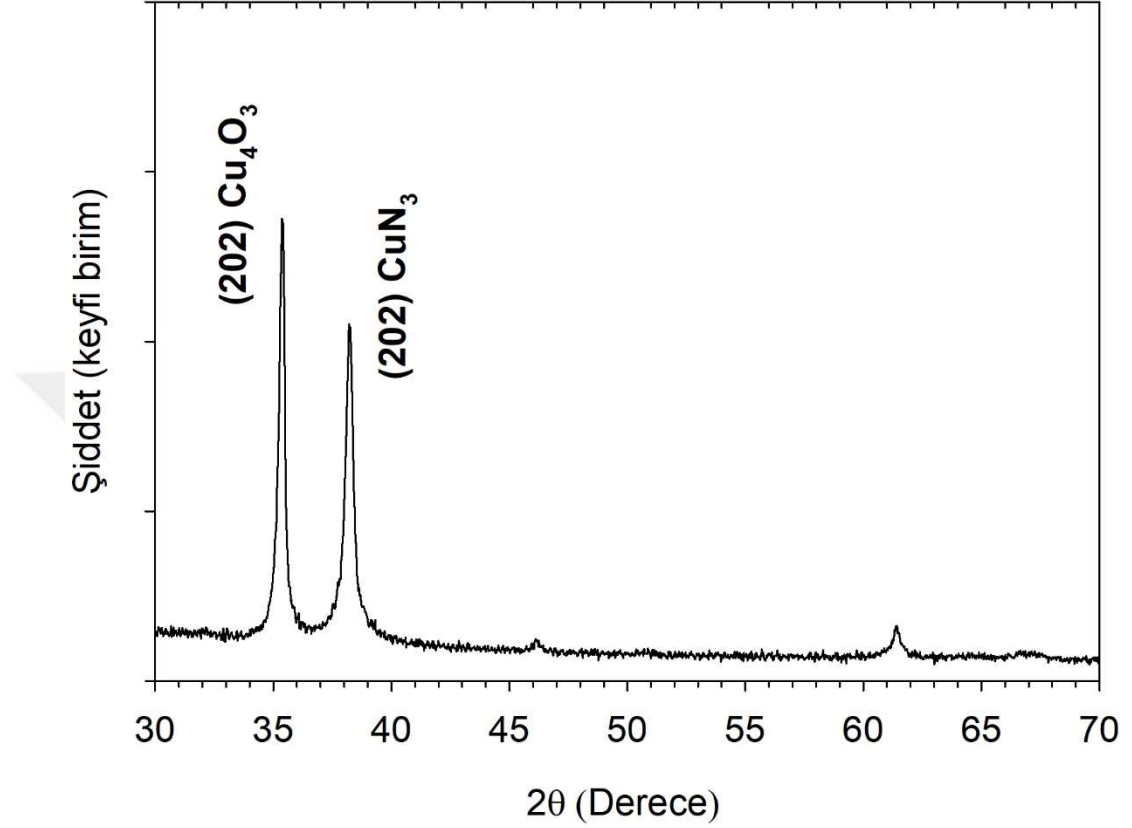


Şekil 4.23. 8 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.23’te 8 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli tetragonal yapıda CuN_3 (JCPDS 85-903) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin çoklu kristal yapıda olduğu görülmüştür (Lotfi-Kaljahi ve Savaloni, 2013).

Azot oranı %70 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir.

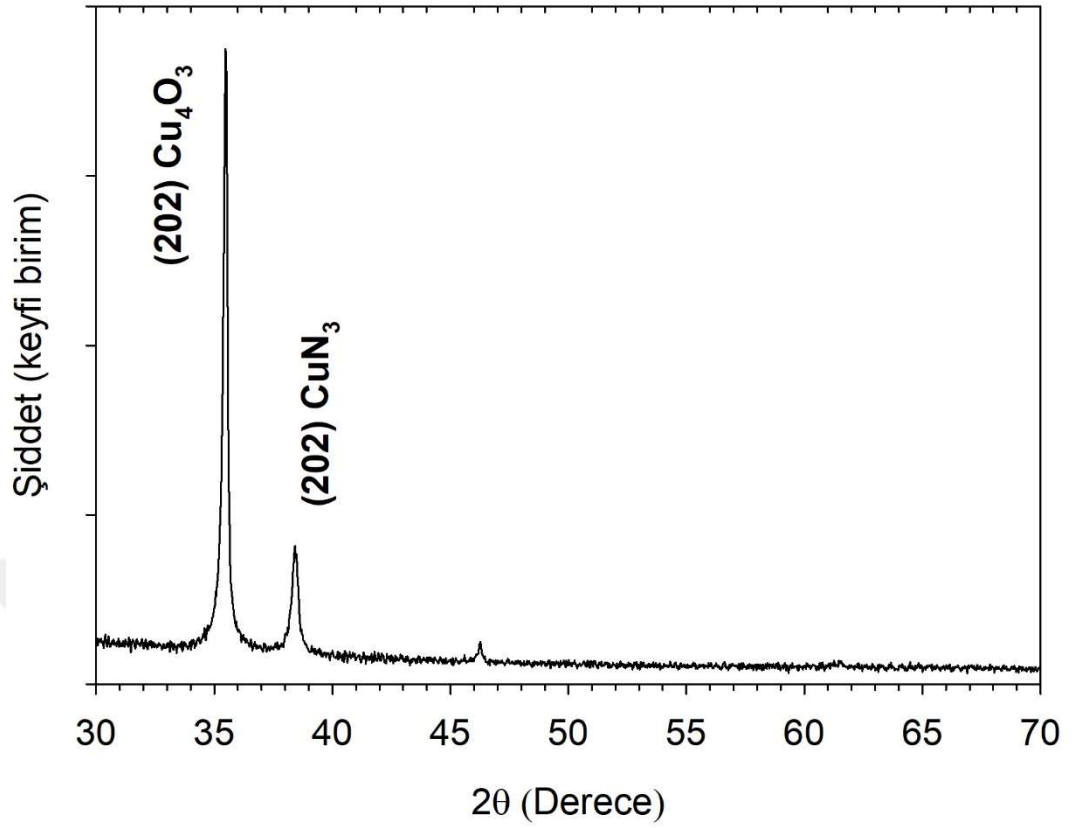


Şekil 4.24. 9 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Empreyan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.24'te 9 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli tetragonal yapıda CuN_3 (JCPDS 85-903) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin çoklu kristal yapıda olduğu görülmüştür (Lotfi-Kaljahi ve Savaloni, 2013).

Azot oranı %90 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



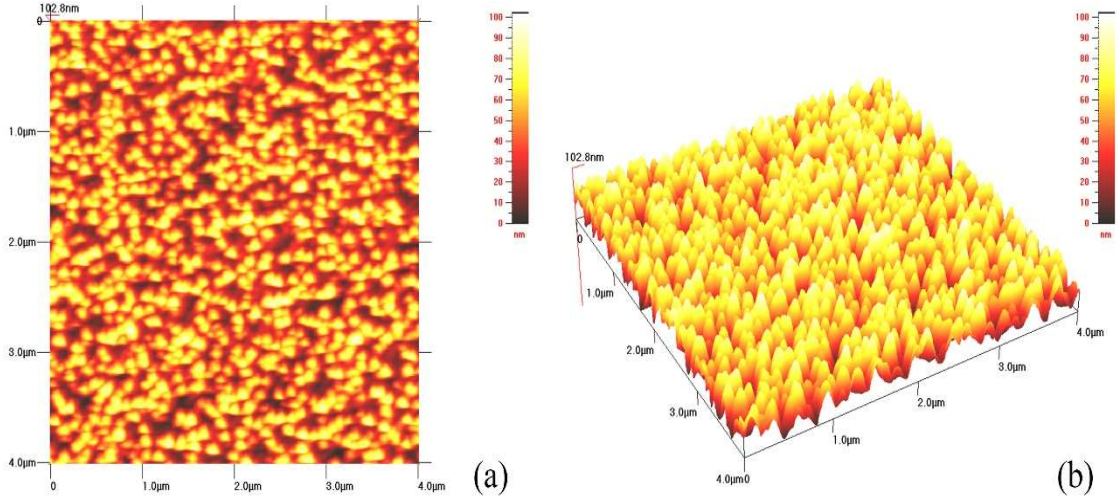
Şekil 4.25. 10 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Empreyan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.25.'te 10 numaralı Numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli tetragonal yapıda CuN_3 (JCPDS 85-903) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin çoklu kristal yapıda olduğu görülmüştür (Lotfi-Kaljahi ve Savaloni, 2013).

4.2.3. Bakır Nitrit Filmlerin AFM Analizleri

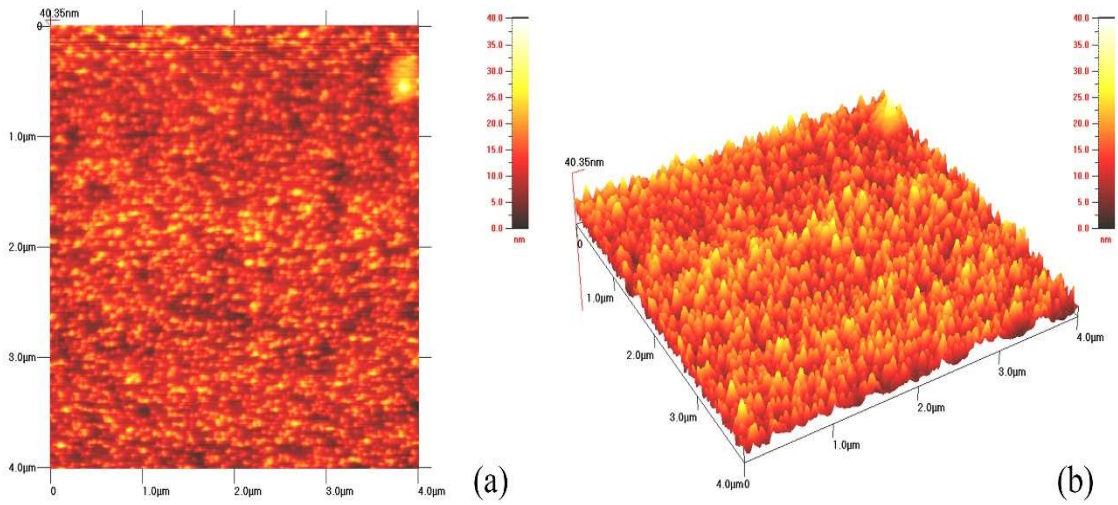
Azot oranı %10 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.26 (a) ve Şekil 4.26 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.26. 6 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.26.'da Çizelge 3.2'de üretim parametreleri verilen 6 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4 μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 102 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 16,2 nm ve Rq pürüzlülük değeri 19,1 nm olarak ölçülmüştür.

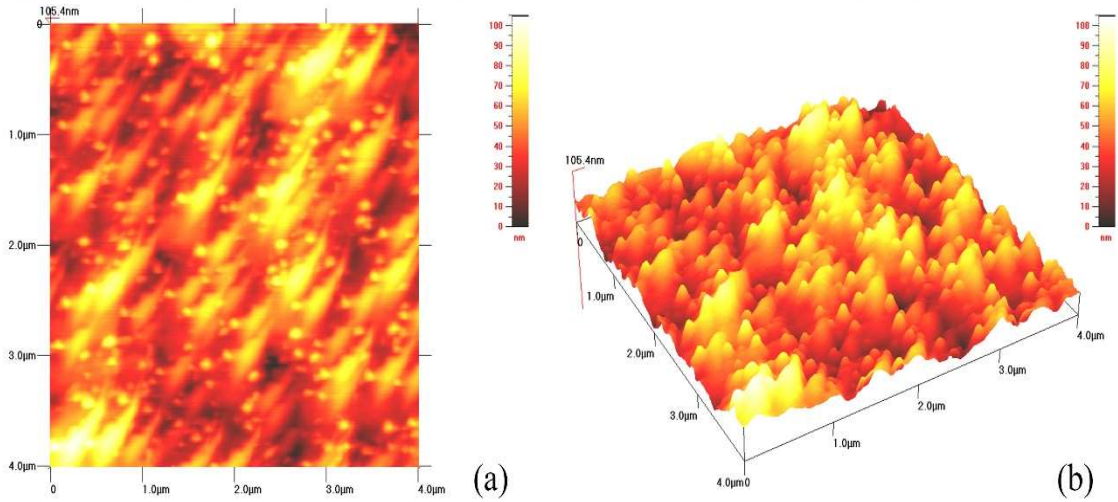
Azot oranı %30 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.27 (a) ve Şekil 4.27 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.27. 7 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.27.'de Çizelge 3.2'de üretim parametreleri verilen 7 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4 μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 40 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 2,93 nm ve Rq pürüzlülük değeri 3,79 nm olarak ölçülmüştür.

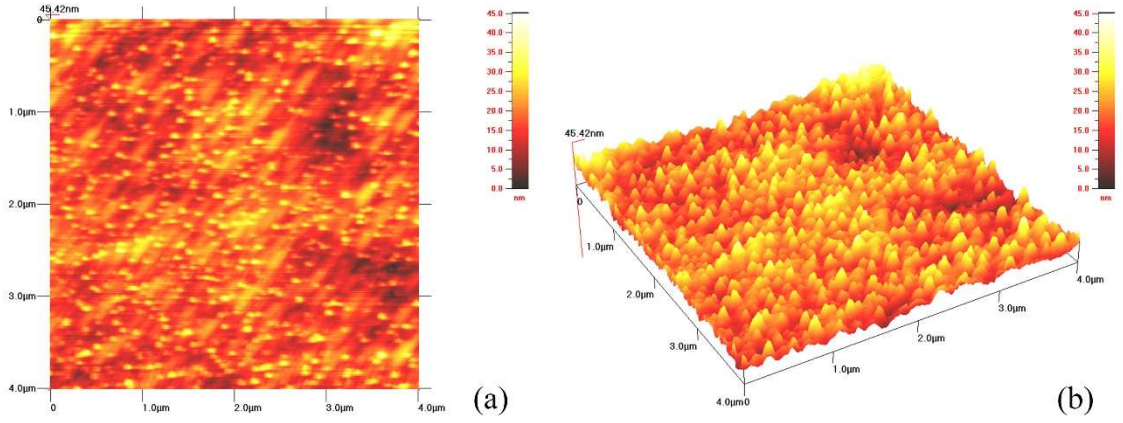
Azot oranı %50 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.28 (a) ve Şekil 4.28 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.28. 8 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.28.'de Çizelge 3.2'de üretim parametreleri verilen 8 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4 μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 105 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 12,3 nm ve Rq pürüzlülük değeri 15,1 nm olarak ölçülmüştür.

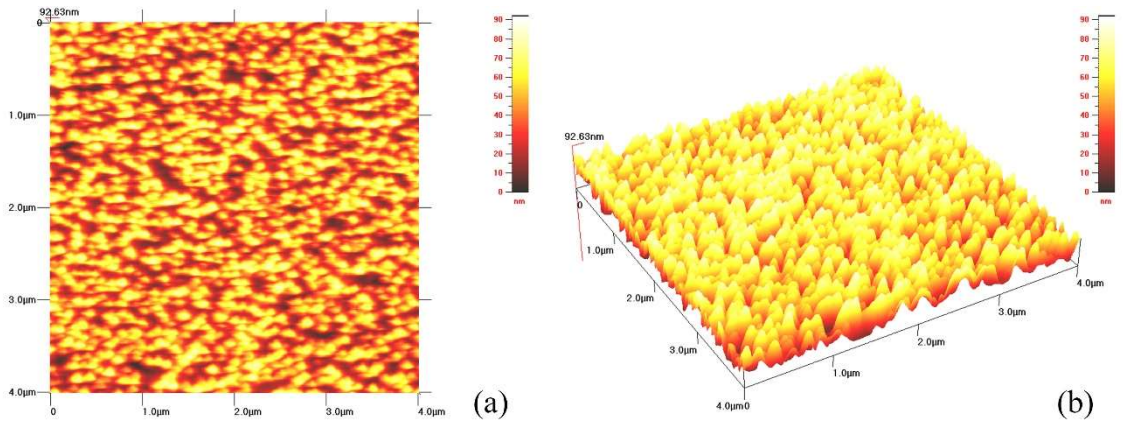
Azot oranı %70 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.29 (a) ve Şekil 4.29 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.29. 9 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.29.'da Çizelge 3.2'de üretim parametreleri verilen 9 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 45 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 3,80 nm ve Rq pürüzlülük değeri 4,80 nm olarak ölçülmüştür.

Azot oranı %90 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.30 (a) ve Şekil 4.30 (b)'de verilmiştir.



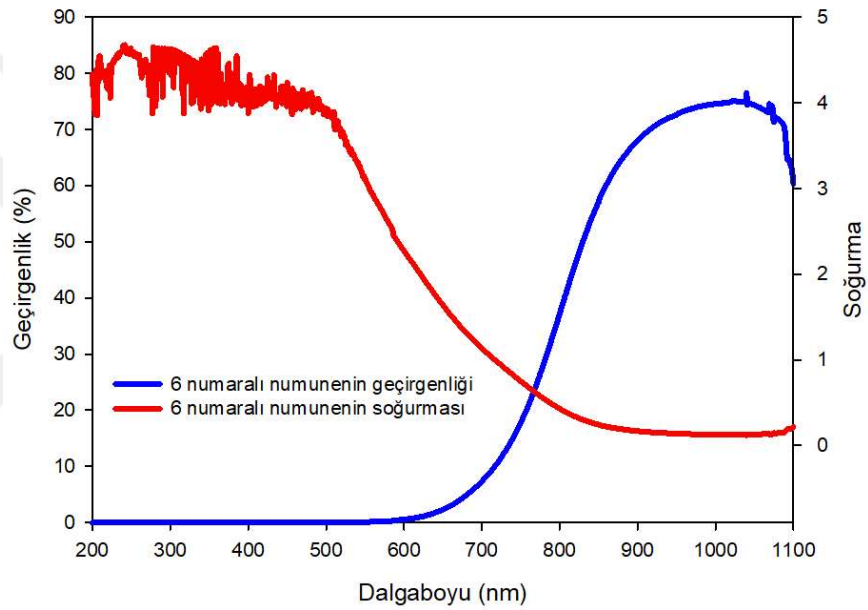
Şekil 4.30. 10 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.30.'da Çizelge 3.2'de üretim parametreleri verilen 10 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin

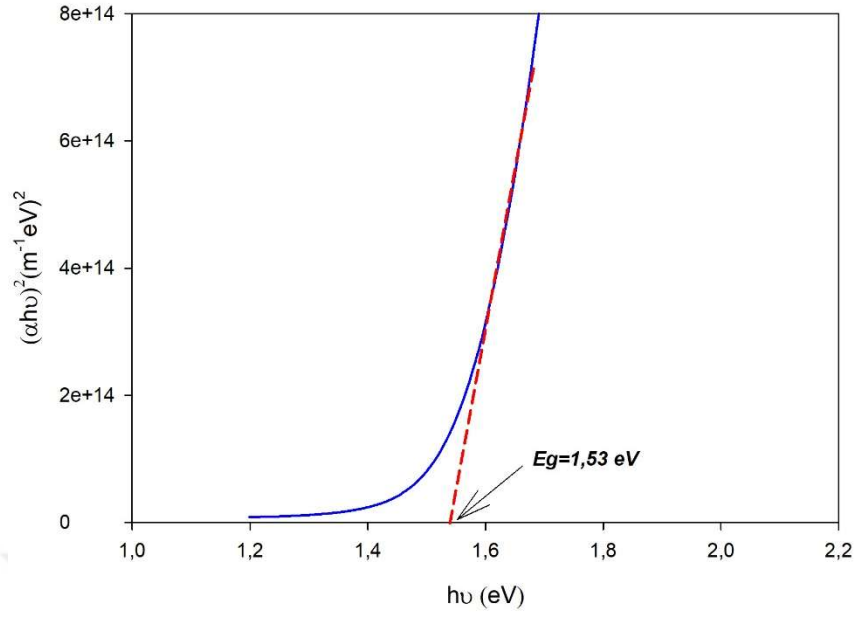
üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 92 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 12,9 nm ve Rq pürüzlülük değeri 15,5 nm olarak ölçülmüştür.

4.2.4. Bakır Nitrit Filmlerin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi

Azot oranı %10 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.31’de ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir.



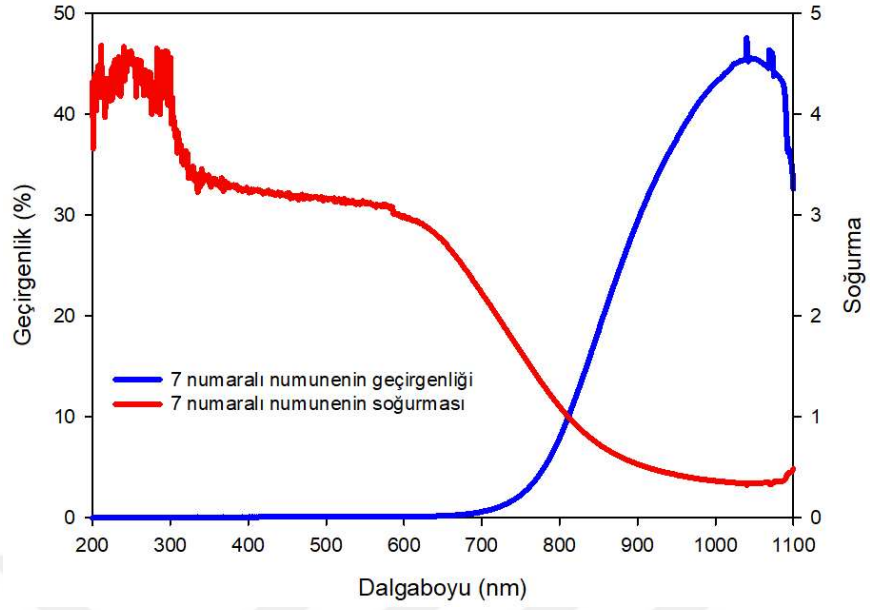
Şekil 4.31. 6 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



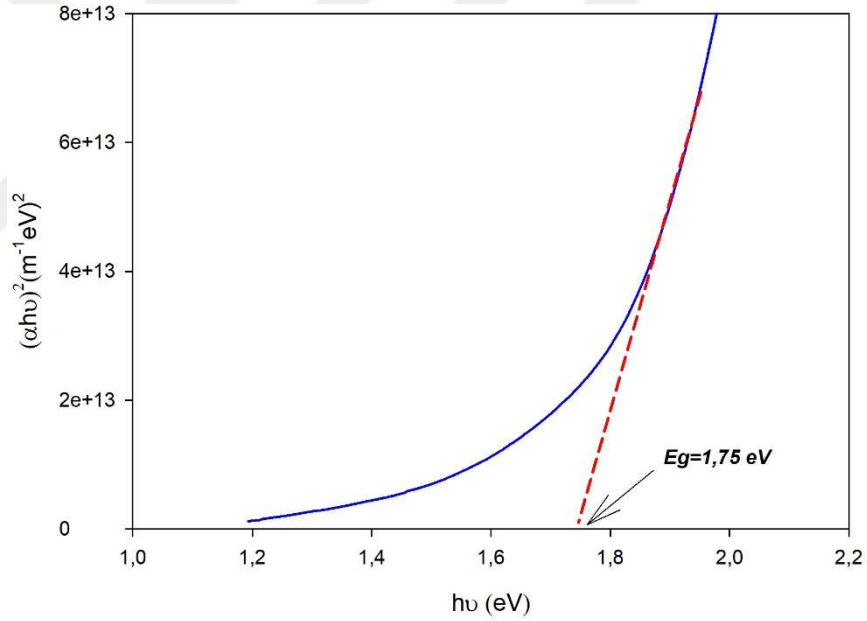
Şekil 4.32. 6 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği

Şekil 4.31.'de yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır nitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.32.'de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının hv eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,53 eV olarak saptanmıştır.

Azot oranı %30 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.33'te ve $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir.



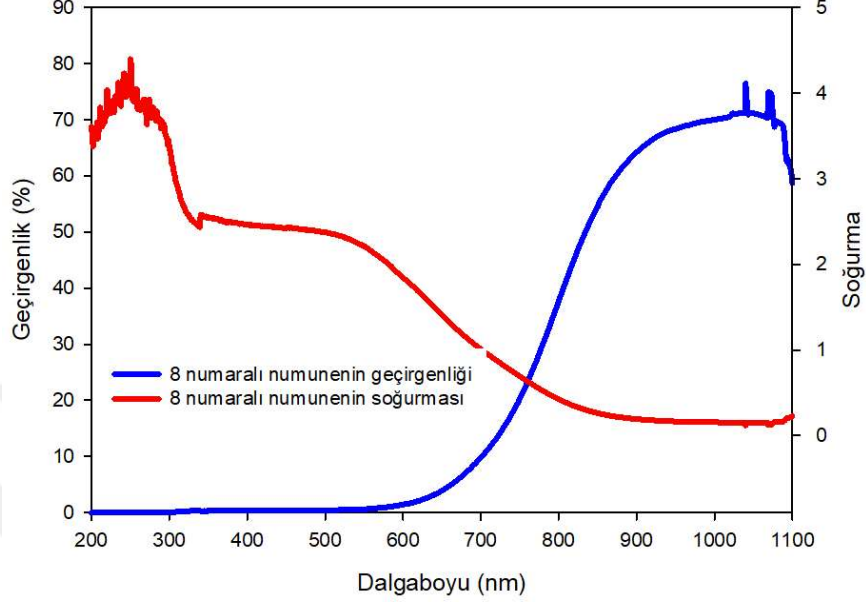
Şekil 4.33. 7 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



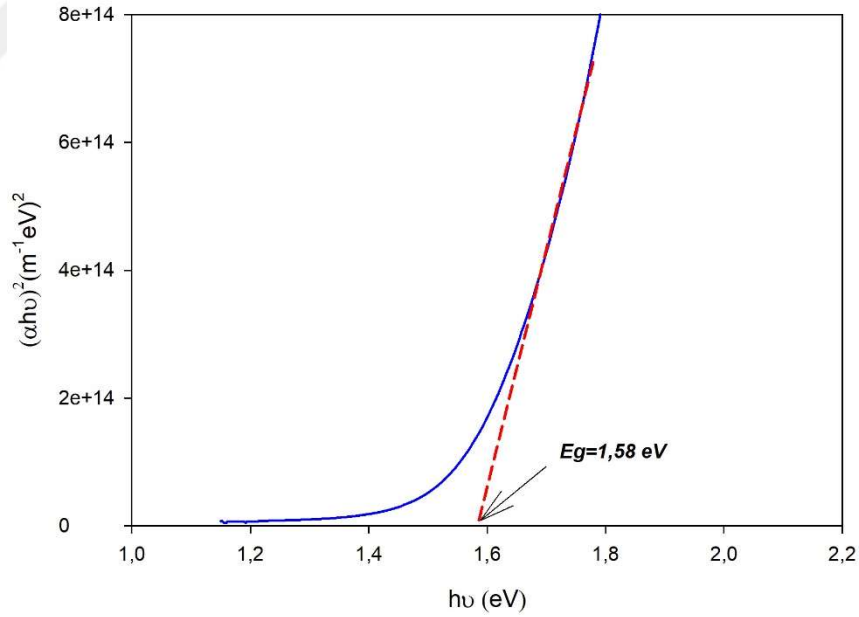
Şekil 4.34. 7 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği

Şekil 4.33'te yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır nitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.34'te grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,75 eV olarak saptanmıştır.

Azot oranı %50 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.35'te ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir.



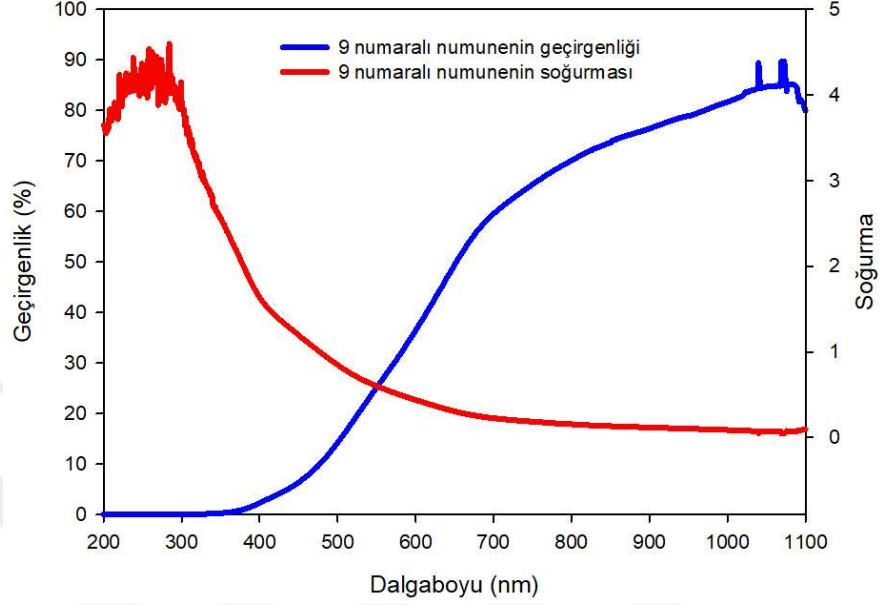
Şekil 4.35. 8 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



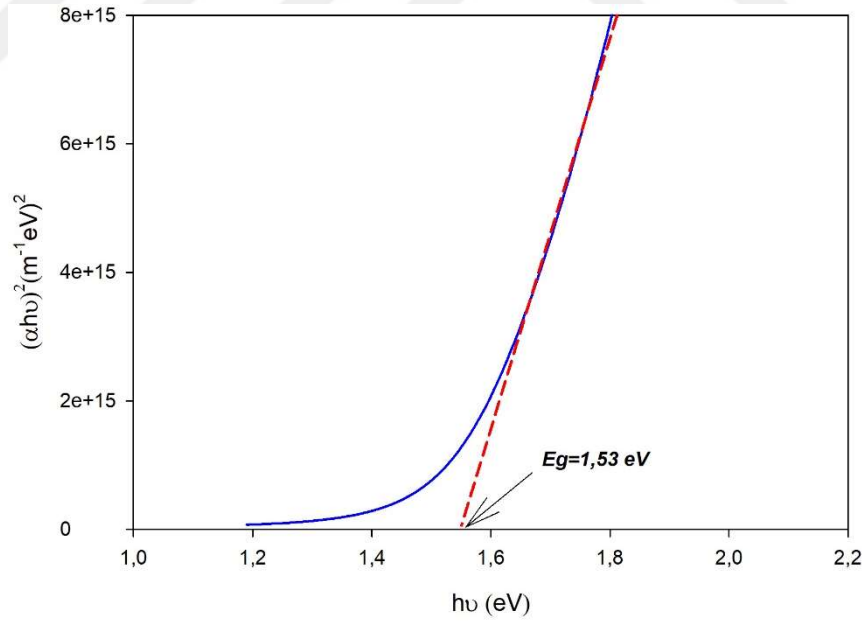
Şekil 4.36. 8 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.35'te yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır nitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.36'da grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,58 eV olarak saptanmıştır.

Azot oranı %70 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.37’de ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.38’de verilmiştir.



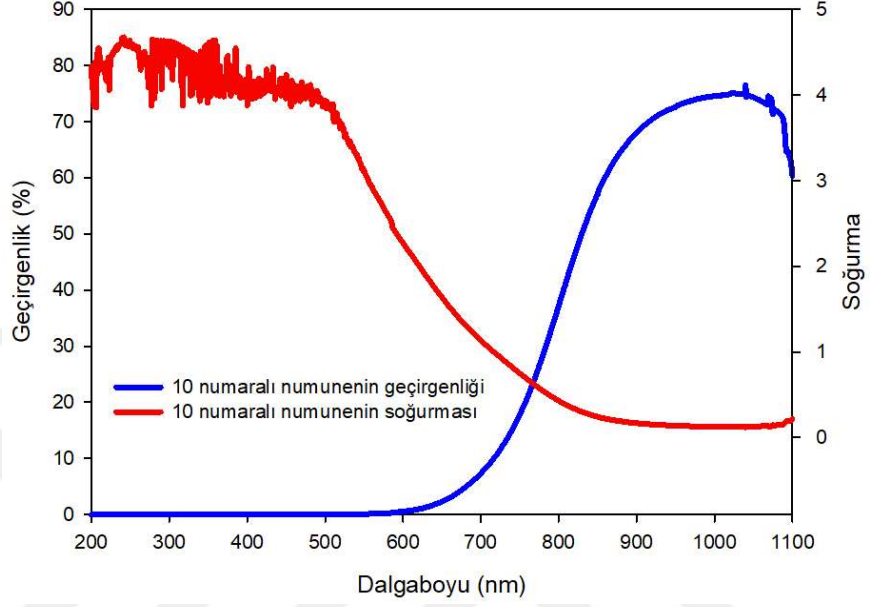
Şekil 4.37. 9 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



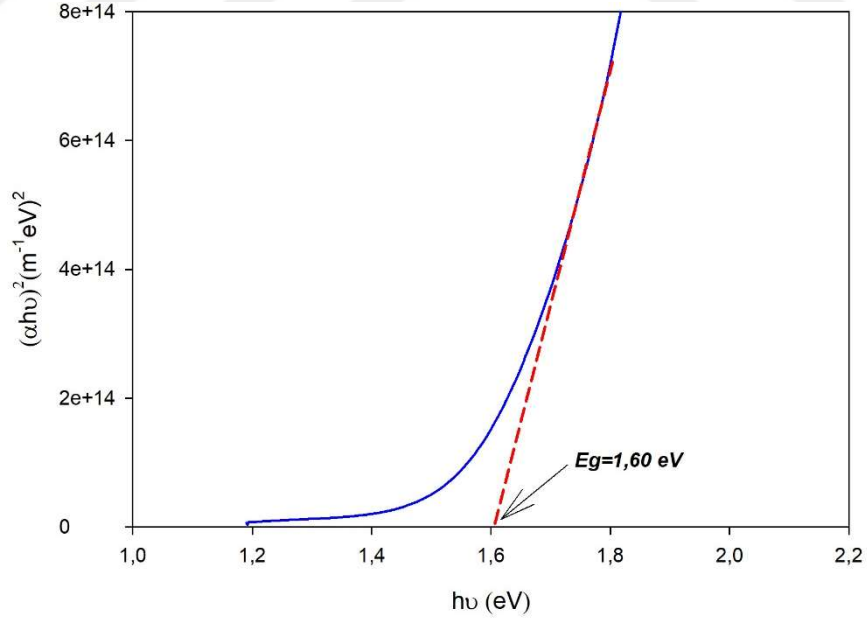
Şekil 4.38. 9 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.37’de yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen Bakır Nitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.38’de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,53 eV olarak saptanmıştır.

Azot oranı %90 olarak seçilerek büyütülen bakır nitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.39'da ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.40'ta verilmiştir.



Şekil 4.39. 10 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



Şekil 4.40. 10 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.39'da yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır nitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.40'ta

grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının hv eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,60 eV olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.4. CuN₃ ince filmlerin yasak enerji aralıkları

Numune No	E _g (eV)
6	1,53
7	1,75
8	1,58
9	1,53
10	1,60

Çizelge 3.2.'de gösterilen numunelere ait $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafikleri çizilerek Tauc metodu ile band aralığı hesaplanmıştır. Band aralığı değerleri Çizelge 4.4'te verilmektedir. Tetragonal kristal yapıdaki CuN₃ ince filmlerin band aralığı değerleri 0,88 ile 2,39 eV arasında değiştiği bilinmektedir. Hesaplanan değerler literatür ile uyumludur (Zhu, 2008; Zhang, 2015).

Bu tez çalışmasında bakır nitrit ince filmlerin yasak enerji aralığı hesaplamalarında tetragonal yapıdaki (202) yönelimli CuN₃ ince filmlerde dikkate değer bir fark gözlenmemiştir.

4.3. Bakır Oksinitrit Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Oksijen ve azot oranları %15, 25, 35 ve 45 olarak değiştirilerek üretilen bakır oksinitrit ince filmlerin interferometrik ölçüm cihazı, X-ışını kırınım cihazı, atomik kuvvet mikroskobu ve UV-Vis Spektrometre cihazı ile yapılan ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Bakır Oksinitrit Filmlerin Kalınlık Analizleri

Azot ve oksijen oranları sırasıyla %15, 25, 35 ve 45 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmlerin kalınlık değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

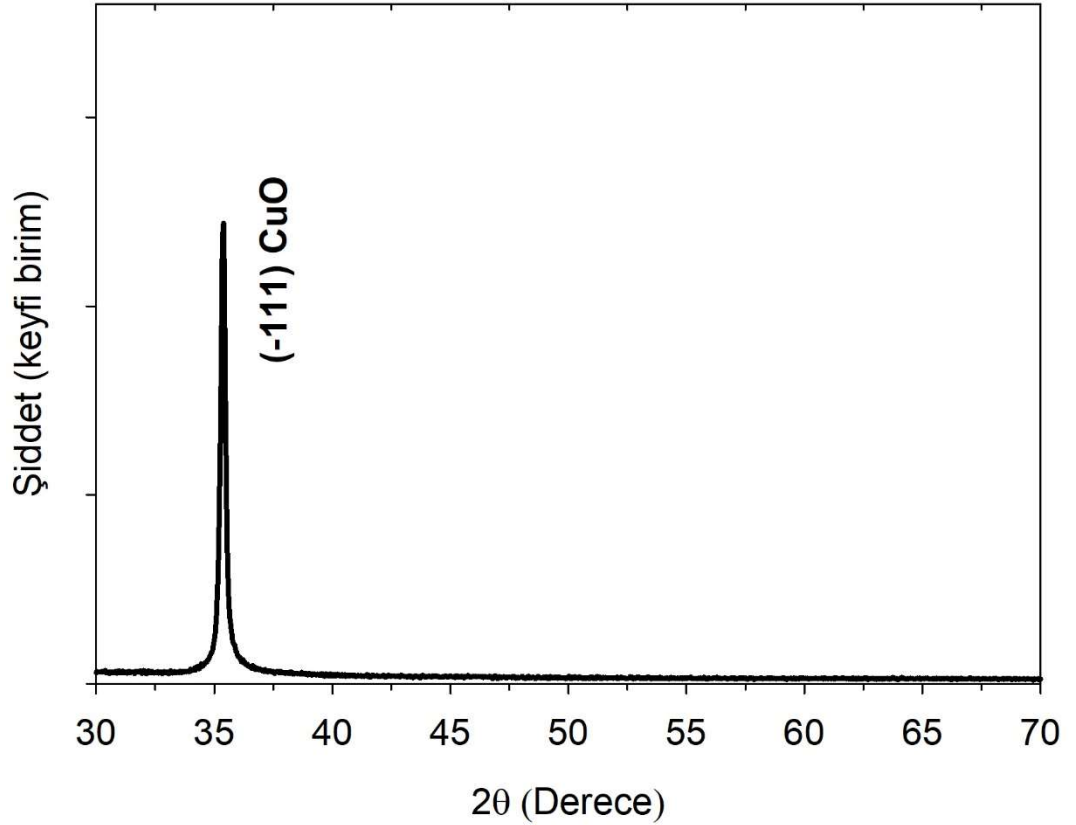
Çizelge 4.5 Bakır oksinitrit ince filmlerin kalınlık değerleri

Numune No.	Kalınlık (nm)
11	185
12	190
13	200
14	180

Üretilen ince filmlerin kalınlıkları Filmetrics F20 cihazı ile 400-1000 nm aralığında yansıma ölçümü yapılarak belirlenmiştir. Belirlenen kalınlık değerleri 180 nm ile 200 nm arasındadır.

4.3.2. Bakır Oksinitrit Filmlerin XRD Grafikleri

Azot ve oksijen oranı %15 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.41’de verilmiştir.

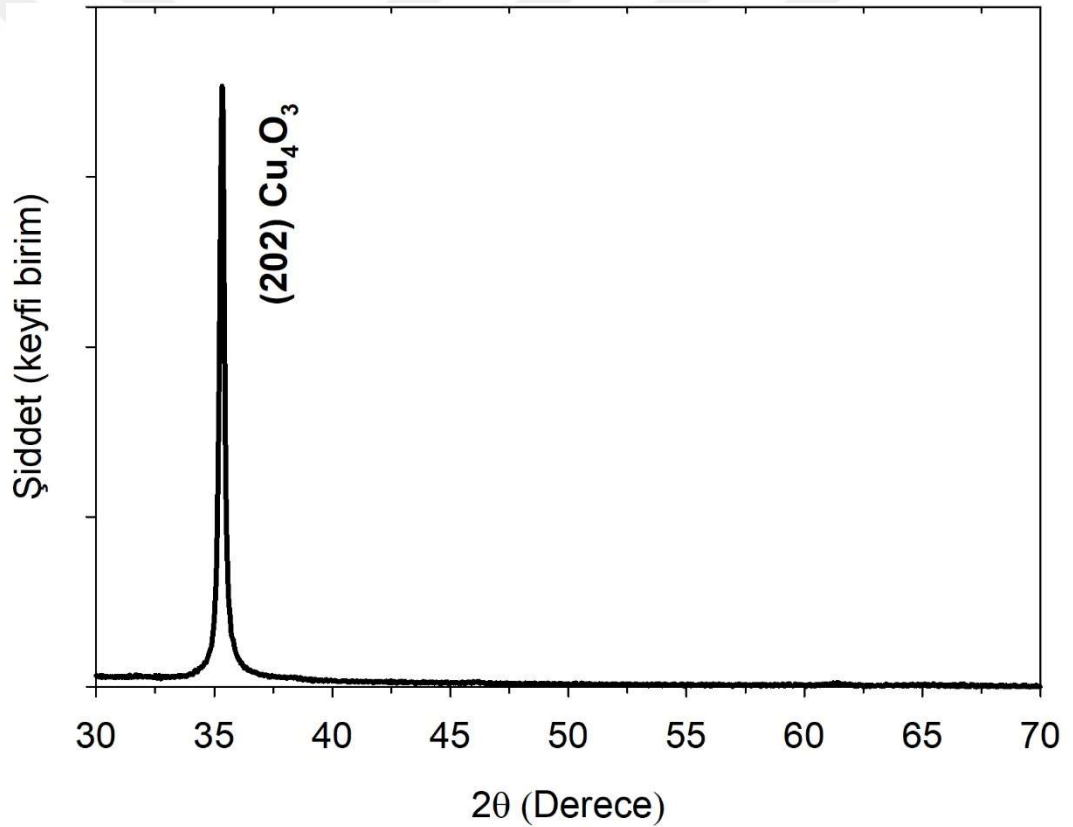


Şekil 4.41. 11 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.41'de 11 numaralı Numuneye ait parametrelerde üretilen (-111) yönelimli CuO (JCPDS 89-5895) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin monoklinik kristal yapıda olduğu görülmüştür (Felix vd., 2015).

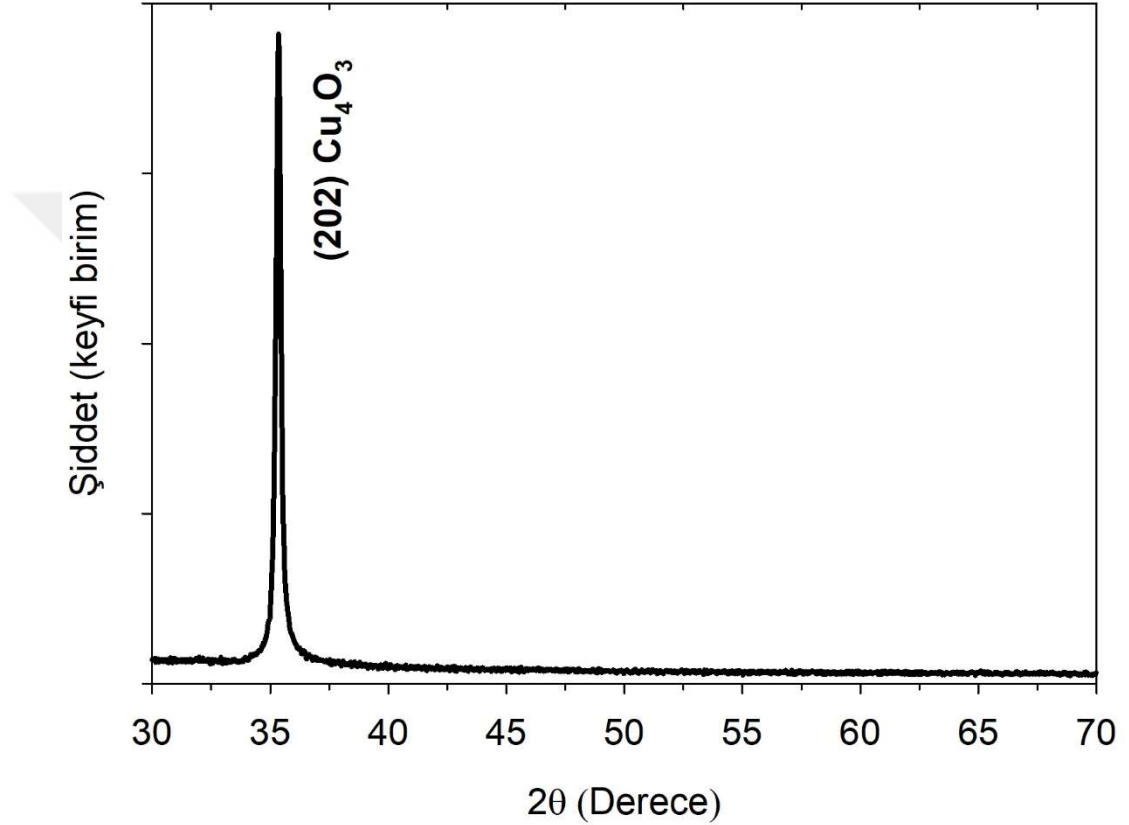
Azot ve oksijen oranı %25 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.42'de verilmiştir.



RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.42.'de 12 numaralı Numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli Cu_4O_3 (JCPDS 83-1665) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin tetragonal kristal yapıda olduğu görülmüştür (Geçici vd., 2016).

Azot ve oksijen oranı %35 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.43'te verilmiştir.

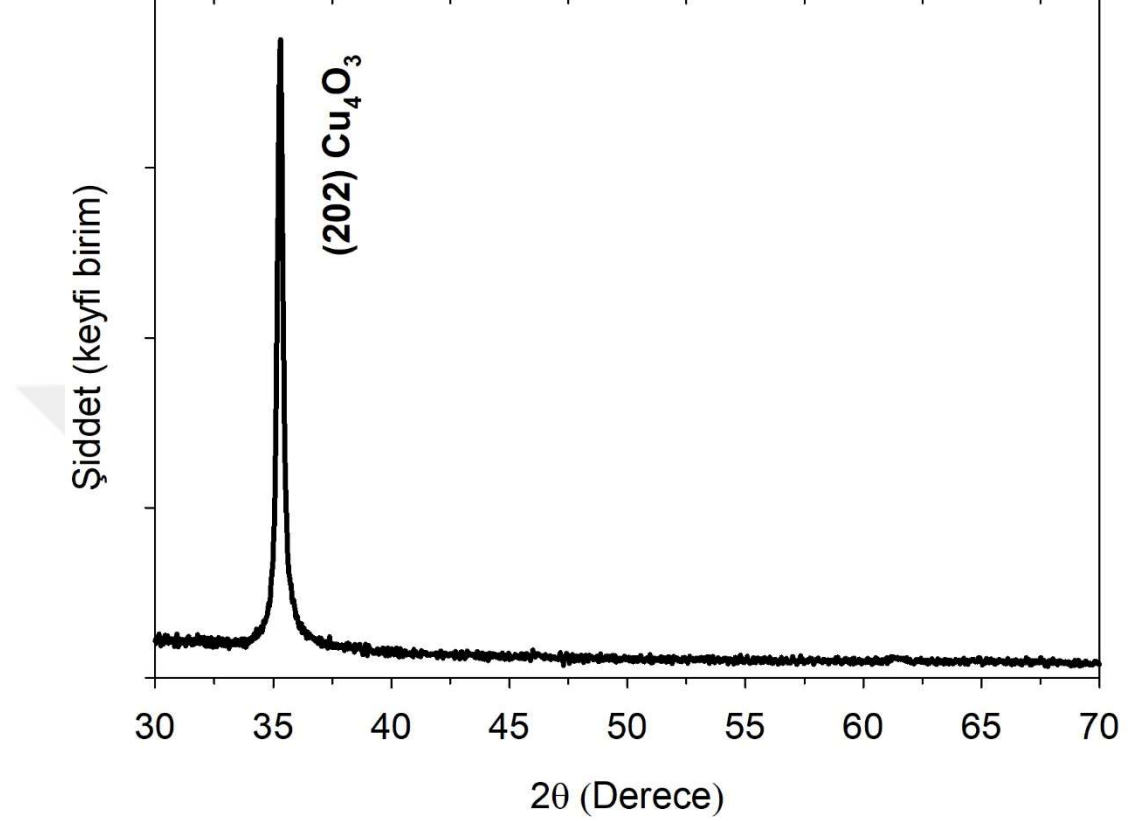


Şekil 4.43. 13 numaralı Numunenin XRD grafiği

RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip CuK_α ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.43.'te 13 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli Cu_4O_3 (JCPDS 83-1665) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin tetragonal kristal yapıda olduğu görülmüştür (Geçici vd., 2016).

Azot ve oksijen oranı %45 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin XRD grafiği Şekil 4.44.'te verilmiştir.

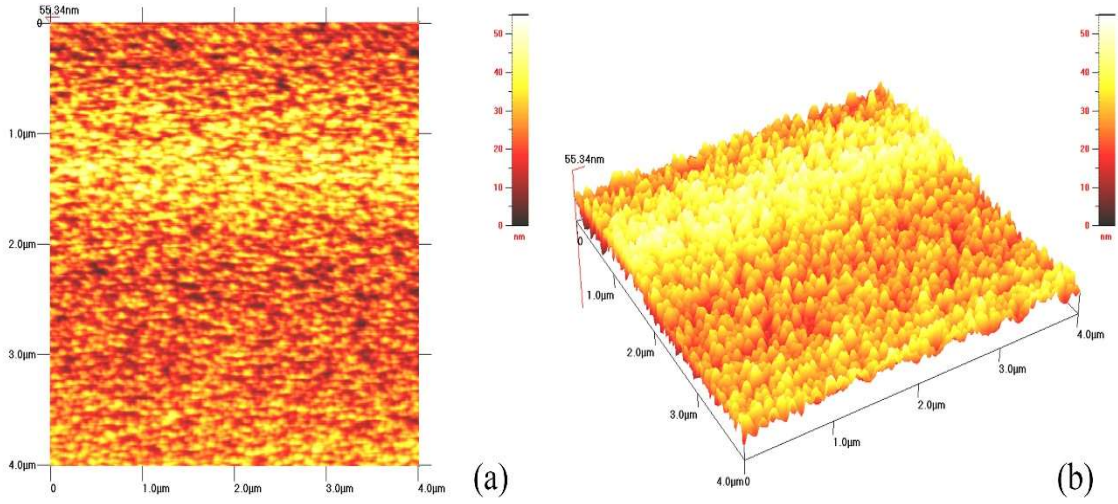


RF manyetik sıçratma yöntemi ile üretilen ince filmlerin XRD analizleri $\lambda=0,01540\text{nm}$ dalga boyuna sahip $\text{CuK}\alpha$ ışınları kullanılarak PANalytical Emprayan cihazında $30^\circ < 2\theta < 70^\circ$ aralığında kırınım desenleri alınarak saptanmıştır.

Şekil 4.44'te 14 numaralı numuneye ait parametrelerde üretilen (202) yönelimli Cu_4O_3 (JCPDS 83-1665) ince filmin XRD analizi verilmiştir. Üretilen ince filmlerin tetragonal kristal yapıda olduğu görülmüştür (Geçici vd., 2016).

4.3.3. Bakır Oksinitrit Filmlerin AFM Analizleri

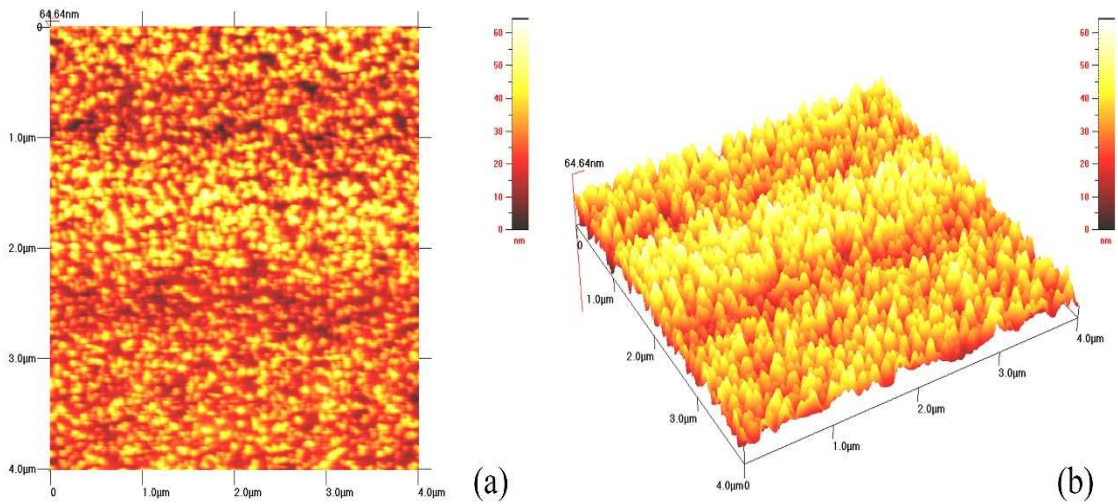
Azot ve oksijen oranı %15 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.45 (a) ve Şekil 4.45 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.45. 11 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.45.'te Çizelge 3.3.'te üretim parametreleri verilen 11 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4 μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 55 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 5,50 nm ve Rq pürüzlülük değeri 6,64 nm olarak ölçülmüştür.

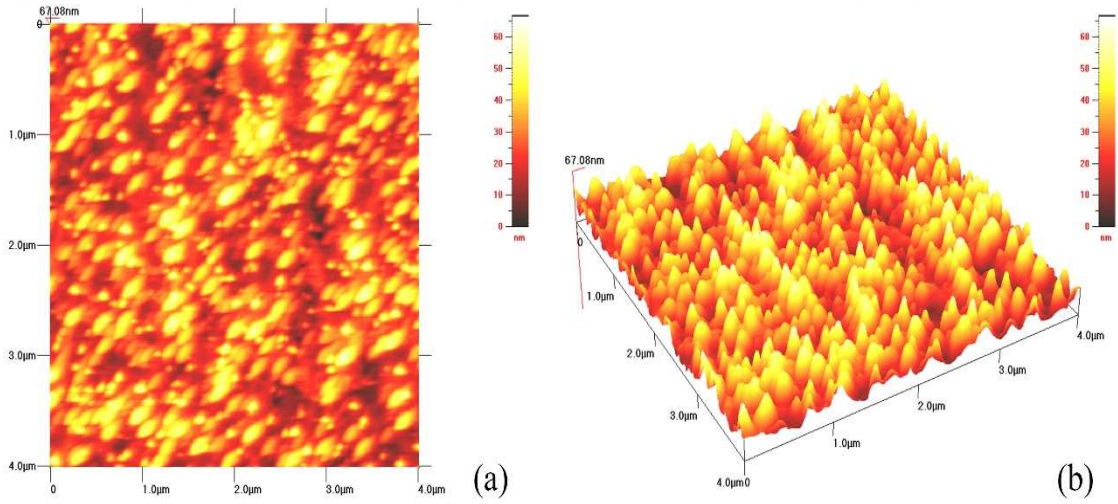
Azot ve oksijen oranı %25 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.46 (a) ve Şekil 4.46 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.46. 12 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.46.'da Çizelge 3.3.'te üretim parametreleri verilen 12 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$ faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum $64\ \text{nm}$ olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri $6,66\ \text{nm}$ ve Rq pürüzlülük değeri $8,04\ \text{nm}$ olarak ölçülmüştür.

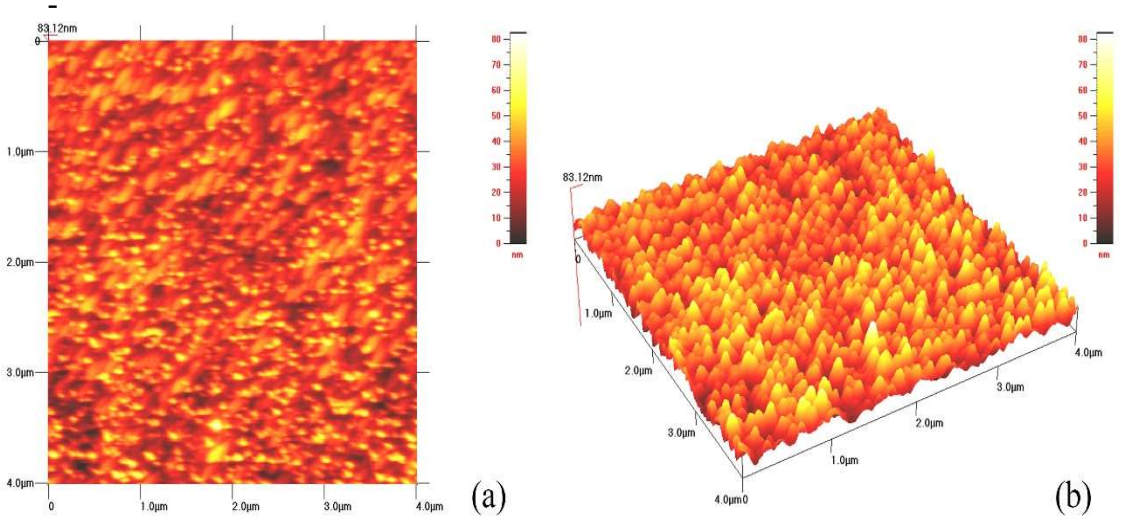
Azot ve oksijen oranı %35 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.47 (a) ve Şekil 4.47 (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.47. 13 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

Şekil 4.47.'de Çizelge 3.3.'te üretim parametreleri verilen 13 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu $4\ \mu\text{m} \times 4\ \mu\text{m}$ faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum $67\ \text{nm}$ olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri $9,02\ \text{nm}$ ve Rq pürüzlülük değeri $10,09\ \text{nm}$ olarak ölçülmüştür.

Azot ve oksijen oranı %45 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin 2 boyutlu ve 3 boyutlu AFM görüntüsü Şekil 4.48 (a) ve Şekil 4.48 (b)'de verilmiştir.

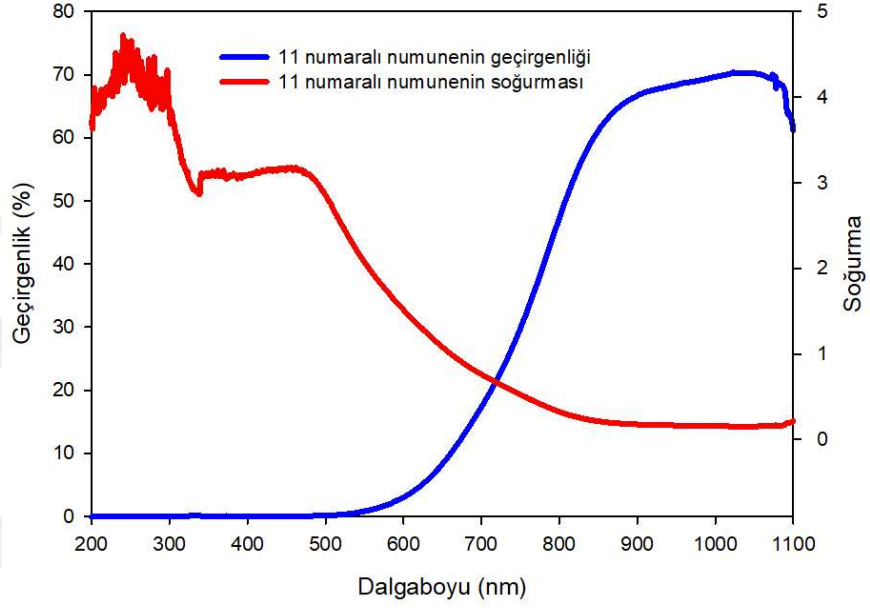


Şekil 4.48. 14 numaralı numunenin (a) 2 boyutlu AFM ve (b) 3 boyutlu AFM görüntüsü

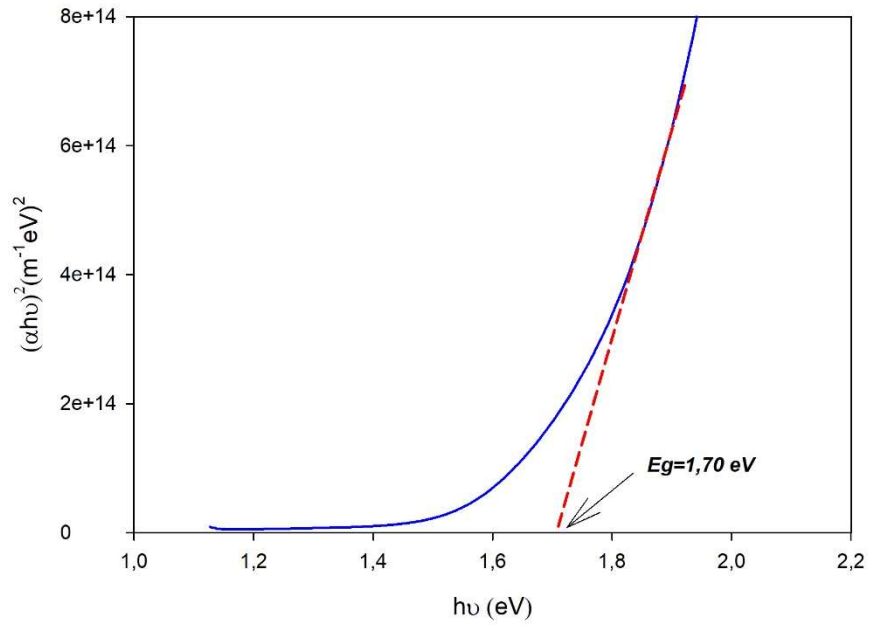
Şekil 4.48.'de Çizelge 3.3.'te üretim parametreleri verilen 14 numaralı numunenin 2 boyutlu ve 3 boyutlu 4 μm x 4μm faz görüntüleri verilmektedir. Faz görüntüleri incelendiğinde genel olarak filmin homojen, düzgün, küçük taneli yapıda ve yüzeyin üzerinde oluşan tepe noktalarıyla çukurların arasındaki yüksekliğin maksimum 83 nm olduğu görülmektedir. Scan Atomic SPM cihazı ile yapılan ölçümde Ra pürüzlülük değeri 8,01 nm ve Rq pürüzlülük değeri 9,68 nm olarak ölçülmüştür.

4.3.4. Bakır Oksinitrit Filmlerin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi

Azot ve oksijen oranı %15 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.49'da ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.50'de verilmiştir.



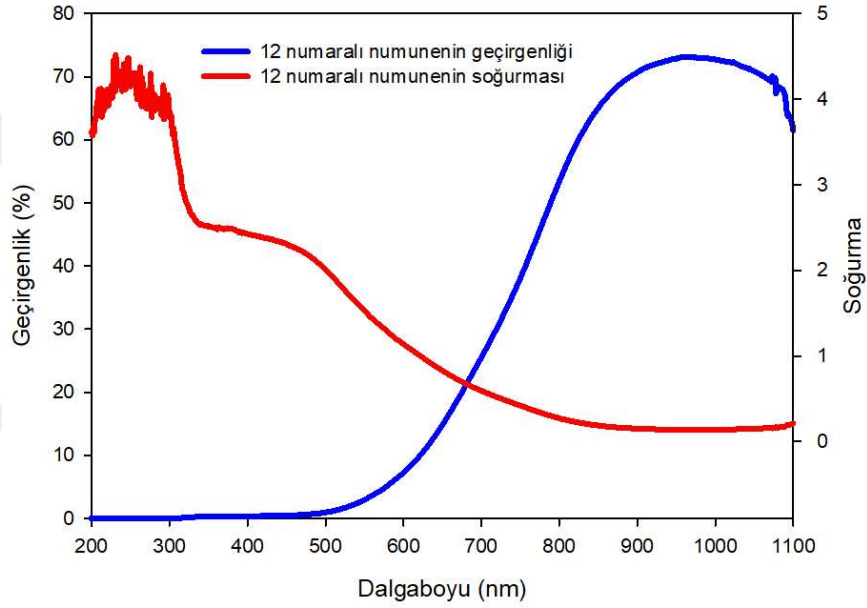
Şekil 4.49. 11 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



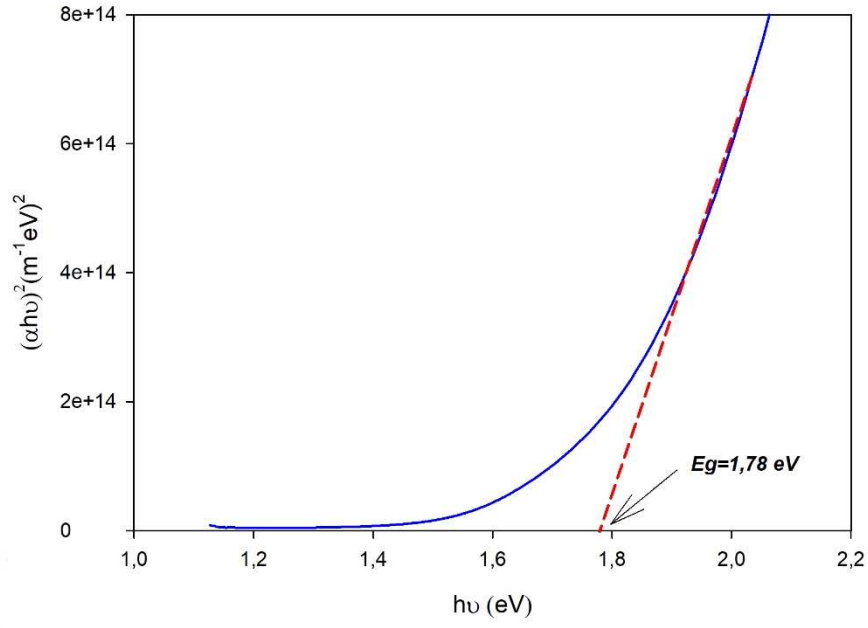
Şekil 4.50. 11 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.49.'da yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.50.'de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin linear kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,70 eV olarak saptanmıştır.

Azot ve oksijen oranı %25 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.51'de ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.52'de verilmiştir.



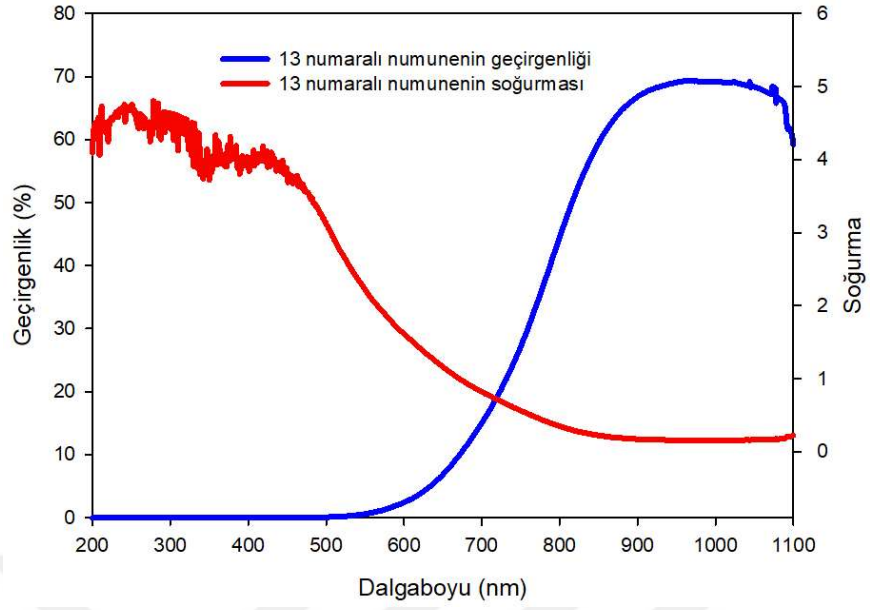
Şekil 4.51. 12 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



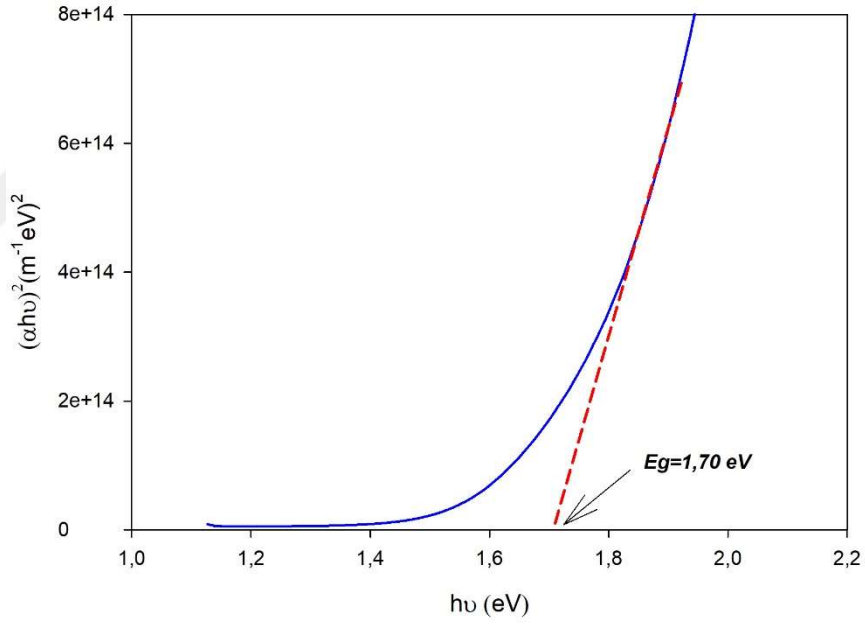
Şekil 4.52. 12 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.51’de yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.52’de grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,78 eV olarak saptanmıştır.

Azot ve oksijen oranı %35 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.53’te ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.54’te verilmiştir.



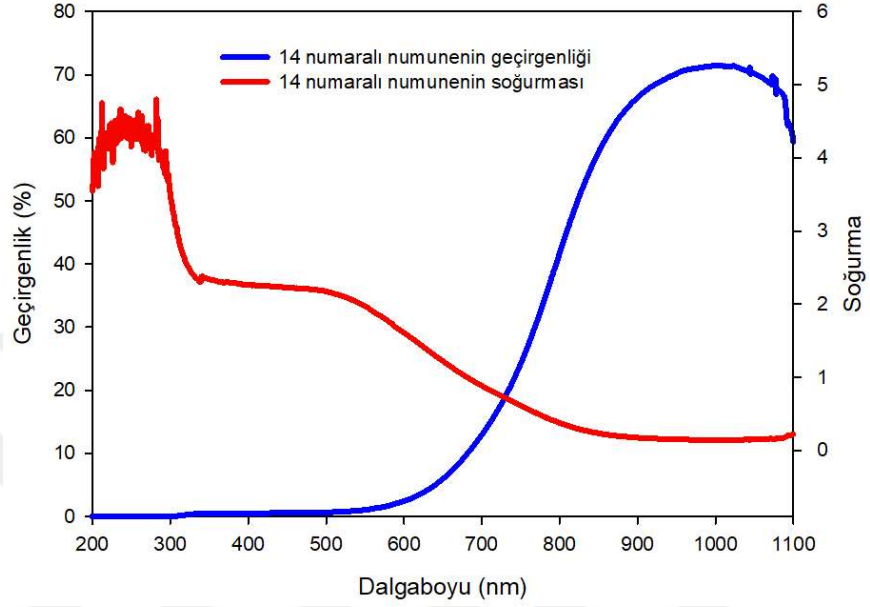
Şekil 4.53. 13 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



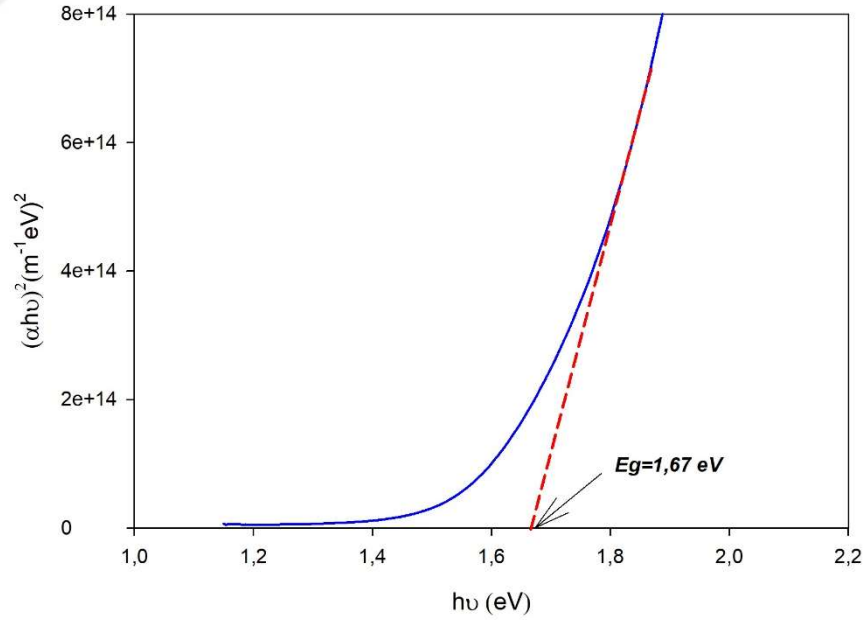
Şekil 4.54. 13 numaralı numunenin $(\alpha hv)^2 \sim hv$ değişim grafiği

Şekil 4.53.'te yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.54.'te grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,70 eV olarak saptanmıştır.

Azot ve oksijen oranı %45 olarak seçilerek büyütülen bakır oksinitrit ince filmin geçirgenlik ve soğurma grafiği Şekil 4.55'te ve $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.56'da verilmiştir.



Şekil 4.55. 14 numaralı numunenin geçirgenlik ve soğurma grafiği



Şekil 4.56. 14 numaralı numunenin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiği

Şekil 4.55.'te yer alan soğurma grafiğinin değerleri kullanılarak cam alttaşlar üzerine üretilen bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları belirlenmiştir ve Şekil 4.56'da

grafikleri verilmiştir. Tauc eğrisinin lineer kısmının hv eksenini sıfır noktasında kestiği değerler cam üzerine üretim için 1,67 eV olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.6 Bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıkları

Numune No	E_g (eV)
11	1,70
12	1,78
13	1,70
14	1,67

Çizelge 3.3.'te gösterilen numunelere ait $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafikleri çizilerek Tauc metodu ile band aralığı hesaplanmıştır. Band aralığı değerleri Çizelge 4.6'da verilmektedir. Monoklinik kristal yapıdaki CuO ince filmler ile tetragonal yapıdaki Cu_4O_3 ince filmlerin band aralığı değerleri 1,21 ile 2,6 eV arasında değiştiği bilinmektedir. Hesaplanan değerler literatür ile uyumludur (Mugwang'a vd., 2013; Geçici vd., 2015).

Bu tez çalışmasında bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralığı hesaplamalarında 11 numaralı monoklinik yapıdaki (-111) yönelimli CuO ince film ile diğer 12,13 ve 14 numaralı tetragonal yapıdaki (202) yönelimli Cu_4O_3 ince filmler arasında dikkate değer bir fark gözlenmemiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bakır hedef kullanılarak bakırın oksitli, nitritli ve hem oksit hem nitritli bileşikleri cam alttaş üzerine ince filmler büyütülmeye çalışılmıştır. Çalışma basıncı 0,4 torr'da sabit tutulmuş, RF gücü olarak standart 200W ve çalışma süresi standart 60 dakika olarak seçilmiştir. Üretilen ince filmlerin yapısal, yüzeysel ve optiksel özellikleri incelenmiştir.

Bakır ve oksijenin bileşimiyle bakır oksit ince film oluşturabilmek için Çizelge 3.1.'de verilen parametrelere göre yapılan üretimde X-ışını kırınım cihazı ile yapılan analizde 1 numaralı numunede (220) yönelimli tetragonal yapıda bulunan Cu_4O_3 piki, 2 numaralı numunede (202) yönelimli tetragonal yapıda bulunan Cu_4O_3 ince filmlerin piki, 3,4 ve 5 numaralı numunelerde ise (-111) yönelimli monoklinik yapıda bulunan CuO gözlenmiştir. Bakır nitrit ince filmler oluşturabilmek için Çizelge 3.2'de verilen parametrelere göre yapılan üretimde bakır nitrit ince filmlere ait numunelerde (202) yönelimli tetragonal CuN_3 ince filminin pikiyle birlikte yine (202) yönelimli tetragonal Cu_4O_3 piki görülmüştür. Çalışma odasında oksijen bulunmadan Cu_4O_3 ve CuO piklerinin gözlenmesinin nedeni çalışma odasından çıkarılırken numunenin üzerine biriktirilen bakırların atmosferle temasıyla oksitlenmesinden olabileceğini düşünmekteyiz. Bakırın hem oksitli hem nitritli bileşikleriyle ince film oluşturabilmek için Çizelge 3.3'de verilen parametrelere göre yapılan üretimde 11 numaralı numunede (-111) yönelimli monoklinik yapıda bulunan CuO piki, 12,13 ve 14 numaralı numunelerde (202) yönelimli tetragonal Cu_4O_3 piki gözlenirken bakırın nitritli herhangi pikine rastlanmamıştır. Oksijenin afinitesinin azota göre yüksek olması, reaktif gaz olarak hem oksijen hem de azotun aynı oranda verilmesi nedeniyle oksijen bakır atomlarıyla kristal yapı oluştururken azot miktarının az gelmesi nedeniyle kristal yapı oluşturamadığını düşünmekteyiz.

Üretilen numunelerin yüzeysel özellikleri atomik kuvvet mikroskobu ile incelendiğinde 1 numaralı bakır oksit ince filminin cam üzerine homojen yayıldığı, iğne şekilli büyümeye başladığı gözlemlenmiştir. 2,4 ve 5 numaralı bakır oksit ince filmlerin iğne şekilli büyümeye sahip ve pürüzlülük değerlerinin düşük olduğu, taşıyıcı gaz ile reaktif gaz oranı 1/1 olan 3 numaralı numunenin adacık tipi büyümeye sahip olduğu ve pürüzlülük

değerinin düşük olmasına karşın bakır oksit filmler içinde pürüzlülük değeri en yüksek olan numune olduğu gözlenmiştir. Bakır nitrit ince filmlerde ise 6,7,9 ve 10 numaralı bakır nitrit ince filmler cam üzerine homojen yayıldığı, iğne şekilli büyümeye sahip olduğu görülmüştür. Taşıyıcı gaz ile reaktif gaz oranı 1/1 olan 8 numaralı numunenin adacık tipi büyümeye sahip olduğu ve pürüzlülük değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bakıroksinitrit ince filmlerin yüzeysel özellikleri incelendiğinde 11,12,13 ve 14 numaralı numunelerin iğne şekilli büyümeye sahip olduğu pürüzlülük değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir.

Numunelerin optiksel özellikleri UV-Vis spektrometresi ile incelenmiş, soğurma ve geçirgenlik grafikleri verilmiştir. Bakır oksit ince filmlerin soğurma ve geçirgenlik grafikleri incelendiğinde 2,3 ve 4 numaralı numunelerin 200-500 nm. dalga boyu aralığında, 1 numaralı numunenin 200-300 nm. dalga boyu aralığında, 5 numaralı numunenin ise 200-580 nm dalga boyu aralığında düşük geçirgenlik yüksek soğurmaya sahip olduğu, 2,3 ve 4 numaralı numunelerin 500-1100 nm dalga boyu aralığında en fazla %65-81 arasında geçirgenlik yüzdesine sahip olduğu, 1 numaralı numunenin 300-1100 nm. dalga boyu aralığında en fazla %87, 5 numaralı numunenin ise en fazla % 67 geçirgenlik yüzdesine sahip olabildiği gözlenmiştir. Bakır oksit numunelerinde oksijen oranı arttıkça geçirgenlik yüzdesi daha yüksek dalga boylarında yükselmeye başladığı gözlenmiştir. Bakır nitrit ince filmlerin soğurma ve geçirgenlik grafikleri incelendiğinde 6,8 ve 10 numaralı numunelerin 200-600 nm. dalga boyu aralığında, 7 numaralı numunenin 200-700 nm. dalga boyu aralığında, 9 numaralı numunenin ise 200-400 nm dalga boyu aralığında düşük geçirgenlik yüksek soğurmaya sahip olduğu, 6,8 ve 10 numaralı numunelerin 600-1100 nm dalga boyu aralığında %65-81 arasında geçirgenlik yüzdesine sahip olduğu, 8 numaralı numunenin 700-1100 nm. dalga boyu aralığında en fazla %46, 9 numaralı numunenin ise 400-1100 nm. dalga boyu aralığında en fazla % 84 geçirgenlik yüzdesine sahip olabildiği gözlenmiştir. Bakır oksinitrit ince filmler incelendiğinde 11,12,13 ve 14 numaralı numunelerin hepsinin benzer özelliklere sahip olduğu, 200-550 nm. dalga boyu aralığında düşük geçirgenlik yüksek soğurmaya sahip olduğu, 550-1100 nm dalga boyu aralığında ise %69-73 geçirgenlik değerine çıkabildiği gözlenmiştir.

Soğurma değerlerine göre belirlenen optiksel yasak enerji aralıkları incelendiğinde bakır oksit ince filmlerin 1,49-1,65 eV., bakır nitrit ince filmlerin 1,53-1,75 eV, bakır oksinitrit ince filmlerin ise 1,67-1,78 eV aralığında olduğu gözlenmiştir. Bakır oksit ince

filmler, bakır nitrit ince filmler ve bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıklarının bazı numunelerin kristal yapılarının değişmesine rağmen önemli bir değişikliğın olmadığı gözlenmiştir. Bakır oksinitrit ince filmlerin yasak enerji aralıklarının diğer numunelere göre çok az da olsa yüksek çıkmasının sebebinin ince filmde hem azot hem de oksijenin aynı anda bulunmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Bu tez çalışmasında reaktif gaz ile taşıyıcı gaz oranları mümkün olduğunca standart seçilmiştir. Oksijenin azota göre afinitesi yüksek olduğundan bundan sonraki çalışmalarda azot oranının oksijene göre maksimum seçilmesinin daha uygun olacağını düşünmekteyiz.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbad, A., Benstaali, W., Bentounes, H. A., Bentata, S., ve Belaidi, A. ,2013, First principles calculations of magnetic, electronic and optical properties of binary GaN and ternary CrGaN, CuGaN. Computational Materials Science, 19-23.
- Aksoy, S. ,2006, Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Bazı Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.(yayımlanmamış)
- Alabi, A. B. ,2013, Photocatalytic activity of nanostructured copper (II) oxide particles. Ife journal of science, 409-414.
- Bel Hadj Tahar, R. B. ,1998, Tin doped indium oxide thin films: Electrical properties. Journal of Applied Physics, 2631-2645.
- Bertran, E. C. ,2003, RF sputtering deposition of Ag/ITO coatings at room temperature. Solid State Ionics, 139-148.
- Binnig, G. O. ,1986, Atomic Force Microscope. Phys. Rev. Lett., 930.
- Blucher, J. B. ,1989, Preparation of the metastable interstitial copper nitride, Cu₄N, by dc plasma ion nitriding. Materials Science and Engineering, L1-L3.
- Bosco, R. V. ,2012, Surface engineering for bone implants: a trend from passive to active surfaces. Coatings, 95-119.
- Choi, Y., Lee, C., Hwang, Y., Park, M., Lee, J., Choi, C., ve Jung, M. ,2009, Tribological behavior of copper nanoparticles as additives in oil. Current Applied Physics, 9(2), e124-e127.
- Coutal, C. A. ,1996, Fabrication and characterization of ITO thin films deposited by excimer laser evaporation. Thin Solid Films, 24.
- Çörekçi, S. ,2008, Grup III-V Bileşik Yarıiletkenlerde AFM Yüzey Karakterizasyonu. Doktora Tezi. Eskişehir, Türkiye: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.(yayımlanmamış)
- Demirci, B. ,2006, İndium Katkılı ZnO İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri.Yüksek Lisans Tezi. ,Eskişehir, Türkiye: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.(yayımlanmamış)
- Du, Y. J. ,2005, Electrical conductivity and photoreflectance of nanocrystalline copper nitride thin films deposited at low temperature. . Journal of crystal growth, 490-494.
- Fasaki, I. K. ,2013, Optimized hydrogen sensing properties of nanocomposite NiO: Au thin films grown by dual pulsed laser deposition. Sensors and Actuators B: Chemical, 103-109.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Felix, S., Chakkravarthy, R. B. P., ve Grace, A. N. ,2015, Microwave assisted synthesis of copper oxide and its application in electrochemical sensing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 73, No. 1, p. 012115). IOP Publishing.
- Filmetrics F20 kullanıcı kılavuzu, 2005
- Gallagher, D. S. ,1993, Indium-tin oxide thin films by metal-organic decomposition., . Journal of materials research, 3135-3144.
- Geçici, B., Korkmaz, Ş., Özen, S., Şenay, V., ve Pat, S. ,2016, Influence of oxygen partial pressure on the metastable copper oxide thin films. Modern Physics Letters B, 30(35), 1530012.
- Ho, S. M.A. ,2006, on copper oxide thin films. International Journal of Recent Scientific Research, 11914-11918.
- Hsu, C., Huang, P., Chem, Y., ve Wen, D. ,2013, Fabrication of a CuInGaSe₂ Thin Film Photovoltaic Absorber by Rapig Thermal Annealing of CuGa/In Precursors Coated with a Se Layer. Int. J. of Photoenergy, 7.
- Johnson, R. L. ,2005, Characterization of piezoelectric ZnO thin films and the fabrication of piezoelectric micro-cantilevers. Master Thesis, 98 p. Ames, Iowa: Iowa State University,Electrical Engineering.
- Kelly, P. J., ve Arnell, R. D. ,2000, Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications. Vacuum, 56(3), 159-172.
- Kim, S. Y. ,2013, p-Channel oxide thin film transistors using solution-processed copper oxide. ACS applied materials ve interfaces, 2417-2421.
- Kittel, C. ,2005, Introduction to solid state physics.,8th rd., New York: Wiley.
- Lee, Y., Choi, J. R., Lee, K. J., Stott, N. E., ve Kim, D. ,2008, Large-scale synthesis of copper nanoparticles by chemically controlled reduction for applications of inkjet-printed electronics. Nanotechnology, 19(41), 415604.
- Li, Z. R. ,2006, Atomic layer deposition of ultrathin copper metal films from a liquid copper (I) amidinate precursor.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lotfi-Kaljahi, A. ve Savaloni H.,2013,Investigation on the production of copper nitride (copper azide) thin films and their nanostructures. Journal of Theoretical and Applied Physics, 2.
- Morales, J., Sanchez, L., Martin, F., Ramos-Barrado, J. R., ve Sánchez, M. ,2004, Nanostructured CuO thin film electrodes prepared by spray pyrolysis: a simple method for enhancing the electrochemical performance of CuO in lithium cells. Electrochimica Acta, 49(26), 4589-4597.
- Morales, J., Sanchez, L., Martin, F., Ramos-Barrado, J. R., ve Sanchez, M. ,2005, Use of low-temperature nanostructured CuO thin films deposited by spray-pyrolysis in lithium cells. Thin Solid Films, 133-140.
- Mugwang'a, F. K. ,2013, Optical characterization of copper oxide thin films prepared by reactive dc magnetron sputtering for solar cell applications. International Journal of Thin Films Science and Tecnology.
- Murali, D. S., ve Subrahmanyam, A. ,2016, Synthesis of low resistive p type Cu₄O₃ thin films by DC reactive magnetron sputtering and conversion of Cu₄O₃ into CuO by laser irradiation. Journal of Physics D: Applied Physics, 49(37), 375102.
- Nasibulin, A., Shurygina, L., ve Kauppinen, E. ,2005, Synthesis of Nanoparticles Using Vapor-Phase Decomposition of Copper(II) Acetylacetonate. Colloid Journal, 120.
- Nowakowska-Langier, K., Chodun, R., Minikayev, R., Okrasa, S., Strzelecki, G. W., Wicher, B., ve Zdunek, K. ,2018, Copper nitride layers synthesized by pulsed magnetron sputtering. Thin Solid Films, 645, 32-37.
- Park, S., Sharma, R., K., A., Kang, J., Sim, S., ve Lee, C. ,2012, A Study On Composition, Structure And Optical Properties Of Copper Pure CIGS Thin Film Deposited By Sequantial Sputtering of CuGa/In and In/(CuGa+In) Precursors. Journal Of Crystal Growth, 1-10.
- Q-Scope™ 250/400 Nomad™ kullanıcı kılavuzu.
- Rauf, I. ,1993, Low resisitivity and high mobility tin-doped indium oxide films. Materials Letters, 123-127.
- Rosnagel, S.M. Cuomo, J.J. ve Westwood, W.D. ,1990, Handbook of Plasma Processing Technology, Noyes Publications.
- Shin, W. ve Murayama N ,1999, Li-doped nickel oxide as a thermoelectric material. Japanese journal of applied physics, L1336.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sialvi, M. Z. ,2013, Electrochromic and colorimetric properties of nickel (II) oxide thin films prepared by aerosol-assisted chemical vapor deposition. ACS applied materials ve interfaces, 5675-5682.
- Song, J. H. ,2013, Single-step preparation of nano-homogeneous NiO/YSZ composite anode for solid oxide fuel cells. Nano-Micro Letters, 111-116.
- Tauc, J., Grigorovici, R. ve Vancu, A. ,1966, Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. physica status solidi (b), 15(2), 627-637.
- UV-4802 UV-Vis Spektrofotometre kullanıcı kılavuzu.
- Von Richthofen, A. D. ,1998, Preparation of a new tetragonal copper oxynitride phase by reactive magnetron sputtering. Thin Solid Films, 282-284.
- Yuan, C. H. ,2013, Sacrificial template synthesis of short mesoporous NiO nanotubes and their application in electrochemical capacitors. Electrochimica Acta, 507-512.
- Yıldırım, S. ,2014, Nanoyapıdaki Ni₅₀Mn₃₄-Xcux_n16 (X= 1.3, 1.5) Heusler Alaşımlarının Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü. (yayımlanmamış)
- Zhang, X. Z. ,2015, Computational prediction of the electronic structure and optical properties of graphene-like β -CuN 3. Physical Chemistry Chemical Physics, 31872-31876.
- Zhu, W. H. ,2008, DFT study of effects of potassium doping on band structure of crystalline cuprous azide. Chinese Journal of Chemistry, 2145-2149.