

**PVD TEKNİĞİYLE BÜYÜTÜLEN
MoO₃ YARIİLETKEN İNCE
FİMLERİN ELEKTRİKSEL VE
OPTİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**Canan YÖNEY Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Beyhan TATAR
2019**

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PVD TEKNİĞİYLE BÜYÜTÜLEN MoO_3 YARIİLETKEN İNCE FİMLERİN
ELEKTRİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Canan YÖNEY

FİZİK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. BEYHAN TATAR

TEKİRDAĞ-2019

Her Hakkı Saklıdır

Doç. Dr. Beyhan TATAR danışmanlığında, Canan YÖNEY tarafından hazırlanan “PVD TEKNİĞİYLE BÜYÜTÜLEN MoO₃ YARIİLETKEN İNCE FİMLERİN ELEKTRİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından. Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Doç. Dr. Banu SÜNGÜ MISIROĞLU

İmza :

Üye : Doç. Dr. Beyhan TATAR

İmza :

Üye : Doç. Dr. Tanju GÜREL

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PVD TEKNİĞİYLE BÜYÜTÜLEN MoO₃ YARIİLETKEN İNCE FİMLERİN ELEKTRİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Canan YÖNEY

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Beyhan TATAR

Son yıllarda teknolojik gelişmelere paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılamak ve üretim maliyeti ile verim arasındaki ilişkiyi geliştirmek için alternatif malzemelerin araştırılması ve kullanılması önem kazanmıştır. Geleneksel ve enerji üretimi sınırlı olan malzemelerin yanında farklı malzemeler kullanarak hem yapı hem de verimi geliştirecek seçenekler gittikçe artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için geçiş metal oksit ailesi içerisinde özellikle MoO₃ ilginç yapısal, kimyasal, elektriksel ve optiksel özellikleriyle ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada MoO₃ yarıiletken ince filmlerin fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi olan magnetron sıçratma tekniği ile c-Si, Corning cam ve ITO kaplı cam altlıklara oda sıcaklığında büyütülmüştür. MoO₃ yarıiletken ince filmlerin yapısal özellikleri x-ışınları difraksiyonu (XRD) ve Raman Spektrumu analiziyle incelenmiştir. Büyütülen MoO₃ yarıiletken ince filmlerin yüzey morfolojilerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Büyütülen MoO₃ yarıiletken ince filmlerin optik özellikleri geçirgenlik ve yansıma ölçümlerinin incelenmesi ile yapılmıştır. Elektriksel karakterizasyonları karanlık ve aydınlıktaki Akım-Gerilim ölçümleri yapılmıştır. Bu incelemeler ışığında üretilen eklemlerin iletkenlik tipleri, öz dirençleri, doğrultma özellikleri ve ışığa duyarlılıkları gibi parametreleri araştırılıp literatür ile karşılaştırılmış ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Magnetron Sıçratma Tekniği, Fiziksel Buhar Biriktirme, MoO₃

2019, 58 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

MoO₃ THIN FILMS GROWTH WITH PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION TECHNIQUE AND INVESTIGATION OF ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES

Canan YÖNEY

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Beyhan TATAR

In recent years with technological developments, it has become important to investigate alternative materials for increasing energy need and reduce the cost. In addition to the traditional and energy-limited materials, there are increasing options to improve both the structure and efficiency by using different materials. In order to for this purpose, especially in the transition metal oxide family, MoO₃ has remarked with its interesting structural, chemical, electrical and optical properties.

In this study, MoO₃ organic semiconductor thin films were grown on the c-Si, corning glass and ITO coated glass substrates by magnetron sputtering technique which is physical vapour deposition method at room temperature. The structural properties of MoO₃ semiconductor thin films were investigated by X-ray diffraction (XRD) and Raman Spectrum analysis. Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to determine the surface morphology of the MoO₃ semiconductor thin films. Optical properties of MoO₃ semiconductor thin films were investigated. For electrical characterization of MoO₃ semiconductor thin films, current-voltage measurements were taken in dark and light. In the light of these investigations, parameters such as conductivity types, resistivity, straightening properties and light sensitivities were investigated.

Keywords : PVD, MoO₃, Magnetron Sputtering Technique, Physical Vapour Deposition

2019, 58 Pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL DİZİNİ	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vii
ÖNSÖZ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
2. KURUMSAL BİLGİLER	3
2.1. MoO ₃ İnce Filmler	3
2.2. İnce Film Büyüme Morfolojisi.....	5
2.3. İnce Film Kaplama Teknikleri.....	10
2.3.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	17
3.1. Altlık Malzemelerin ve Hedefin Hazırlanması	17
3.2. MoO ₃ Filmlerin Hazırlanması.....	17
3.3. İnce Filmlere Uygulanan Isıl İşlem Metodu	19
3.4. Hazırlanan İnce Filmlerin Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	19
3.4.1. X Işını Difraksiyonu (XRD)Yöntemi	19
3.4.3. Raman Spektroskopisi.....	22
3.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	24
3.5. İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi	25
3.6. İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	26
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	27
4.1. Üretilen MoO ₃ İnce Filmlerin SEM Analizi	27
4.2. Üretilen MoO ₃ İnce Filmlerin XRD Analizi	32
4.4. Üretilen MoO ₃ İnce Filmlerin Raman Analizi.....	37
4.4. İnce Filmlerin Optik özelliklerinin İncelemesi.....	41
4.5. Üretilen MoO ₃ İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin İncelenesi (I-V Grafikleri)	44
5. SONUÇLAR	52
6. KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1: MoO ₃ 'ün kristal yapısı: sırasıyla ab ve bc düzlemlerinden bakıldığında (a) birim hücre, (b) köşeye bağlı ve (c) kenar paylaşılan oktahedral. (d) 2x1x2 supercell içinde bir hidrojen atomu (yeşil top) içeren H katmanlı MoO ₃ 'ün kristal yapısı (Peng-Ru Huang, Yao He, Chao Cao& Zheng-Hong Lu, 2014).....	4
Şekil 2.2: İnce film büyüme morfolojisinde birikimin şematik gösterimi (a) Çekirdeklenme oluşumu, (b) Kristal büyüme, (c) Yakın çekirdeklerin kümeleşmesi, (d) Bütün çekirdeklerin birleşerek sürekli film oluşturması ve (e) Oluşan film tabakasının büyümesi (Şener 2005).....	6
Şekil 2.3: İnce film büyüme modelleri, (a) Frank Van der Merwe, (b) Volmer-Weber, (c) Stranski Krastanov (Eryılmaz 1996, Şener 200)	7
Şekil 2.4:Yapısal zone modelleri (a) Movchan ve Demchishin modeli, (b) Thornton modeli (Lakhtakia ve Messier 2004).....	9
Şekil 2.5: Literatürde yer alan başlıca yapı bölgelerinin (zone) temel karakteristik modellemesi (Barna ve Adamik 1998).....	9
Şekil 2.6:İnce Film Üretim Teknikleri (Sönmezoğlu -Akın- Koç 2012)	10
Şekil 2.7: Fiziksel buhar biriktirme yöntemleri (Sönmezoğlu -Akın- Koç 2012).....	12
Şekil 2.8: Sıçratma kaplama teknikleri için temel mekanizma (Tatar 2007)	13
Şekil 2.9: a) Dengeli magnetron sıçratma tekniği b) Dengesiz magnetron sıçratma tekniği (Suresh, 2004)	13
Şekil 2.10: Plazmadaki elektron çarpışmaları neticesinde nötr atomun iyonize edilmesi (Tatar,2007).....	14
Şekil 2.11: Elektro-manyetik alanda elektronların hareketi ve sistemin şematik gösterimi (Tatar, 2007).....	15
Şekil 2.12: Dengelenmemiş manyetik alanda sıçratma tekniği için magnetron kaynağının ve argon plazmasının gösterimi (Tatar, 2007).	16
Şekil 3.1: (a) Mightymak marka dengelenmemiş magnetron kaplama cihazı (b)vakum bölgesi, hazırlanan numunelerin yerleşimi. (c) Kaplama işlemi.....	18
Şekil 3.2: Bragg yasası, X ışınlarının atomik düzleme kırınımı.....	19
Şekil 3.3: XRD Sisteminin Şematik Gösterimi	20
Şekil 3.4: Philips PW3710 Model XRD Cihazı	21
Şekil 3.5: Raman Saçılma Mekanizması	22
Şekil 3.6: Horiba Jobin Yvon Labram HR800UV Mikro Raman Cihazı.....	24

Şekil 3.7 : SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)'in şematik gösterimi	24
Şekil 3.8: Jeol 5410 model SEM cihazı.....	25
Şekil 4.1: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO ₃ İnce Filmin ısıtma işlem öncesi (a) yüzey morfoloji ve (b) ara kesit SEM görüntüleri	27
Şekil 4.2: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO ₃ İnce Filmin 300°C ısıtma işlem sonrası (a) yüzey morfolojisi (500x), (b) yüzey morfolojisi (2000x) ve (c) ara kesit görüntüleri.....	28
Şekil 4.4: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO ₃ İnce Filmin 300 °C ısıtma işlem sonrasındaki (a) yüzey morfolojisi (500x), (b) yüzey morfolojisi (2000x) ve (c) ara kesit görüntüleri SEM görüntüleri.....	30
Şekil 4.5: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ İnce Filmin ısıtma işlem öncesi (a) yüzey morfolojisi, (b) ara kesit SEM görüntüleri	31
Şekil 4.6: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ İnce Filmin 300°C ısıtma işlem sonrasındaki (a) yüzey morfolojisi (2000x), (b) yüzey morfolojisi (500x) ve (c) ara kesit görüntüleri SEM görüntüleri.....	31
Şekil 4.7: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin (a) Isıtma işlem öncesi (b) 200°C ısıtma işlem sonrası ve (c) 300°C ısıtma işlem sonrası XRD görüntüleri	33
Şekil 4.8: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin (a) Isıtma işlem öncesi (b) 200°C ısıtma işlem sonrası ve (c) 300°C ısıtma işlem sonrası XRD görüntüleri	34
Şekil 4.9: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin (a) Isıtma işlem öncesi (b) 200°C ısıtma işlem sonrası ve (c) 300°C ısıtma işlem sonrası XRD görüntüleri	35
Şekil 4.10: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b)Deney 2 ve (c) Deney 3 parametreleri altında büyütülen ince filmlerin 300°C ısıtma işlem sonrası XRD görüntüleri	36
Şekil 4.11:Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin (a) Isıtma işlem öncesi, (b) 200°C ısıtma işlem sonrası ve (c) 300°C ısıtma işlem sonrası Raman görüntüleri.....	37
Şekil 4.12: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin (a) Isıtma işlem öncesi, (b) 200°C ısıtma işlem sonrası ve (c) 300°C ısıtma işlem sonrası Raman görüntüleri.....	38

Şekil 4.13: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin (a) Isıl işlem öncesi, (b) 200°C ısıl işlem sonrası ve (c) 300°C ısıl işlem sonrası Raman görüntüleri.....	39
Şekil 4.14: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b)Deney 2 ve (c) Deney 3 parametreleri altında büyütülen ince filmlerin 300°C ısıl işlem sonrası Raman görüntüleri	40
Şekil 4.15: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 (D1), Deney 2 (D2), Deney 3 (D3) koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin Geçirgenlik ve Yansıma görüntüleri	41
Şekil 4.16: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin Enerjiye karşın soğurma kat sayısının karesi grafiği ve elde edilen bant aralığı miktarı	42
Şekil 4.17: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b) Deney 2 ve (c) Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filmlerin 300°C ısıl işlem sonrası görüntüsü.....	44
Şekil 4.18: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası I-V grafiği.....	45
Şekil 4.19 : Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası I-V grafiği.....	46
Şekil 4.20: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası I-V grafiği.....	47
Şekil 4.21: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası I-V grafiği	48
Şekil 4.22: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası Aydınık ve Karanlık ölçüm grafiği.....	49
Şekil 4.23: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası Aydınık ve Karanlık ölçüm grafiği.....	50
Şekil 4.24: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO ₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası Aydınık ve Karanlık ölçüm grafiği	51

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1: Deney Parametreleri	18
Çizelge 4.1: Magnetron sıçratma tekniği ile farklı koşullarda üretilen MoO ₃ ince filmlerin 300 °C ısıtım işlemi sonrası kristal büyüklükleri.....	37
Çizelge 4.2: Magnetron sıçratma tekniği ile farklı koşullarda üretilen MoO ₃ ince filmlerin 300 °C ısıtım işlemi yasak bant aralıkları	43
Çizelge 4.3: Magnetron sıçratma tekniği ile farklı deney koşullarında büyütülen MoO ₃ ince filmlerin idealite ve bariyer yüksekliği değerleri	48

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması sırasında her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen, her zaman bana karşı sabırlı ve yardımcı olan hocam Sayın Doç.Dr. Beyhan TATAR'a;

Tezimin deneysel aşamadaki tüm çalışmalarını yapabildiğim İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Yüzey Teknolojileri Laboratuvarı, Korozyon ve Karakterizasyon Laboratuvarlar'nda çalışma imkânı veren hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa ÜRGEN'e ve tüm deney aşamalarında bana destek olan Dilek DEMİROĞLU hocama;

Namık Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'ndeki değerli hocalarıma ve Yüksek lisansın bana kazandırdığı ve birlikte çalışma imkanı bulduğum sevgili arkadaşım Bahar GEZEROĞLU'na;

Ve beni bugünlere kadar getiren, her zaman yanımda olan, inançlarını ve desteklerini hiç esirgemeyen canım anneciğim Sürmeli YÖNEY, babam Vahap YÖNEY ve biricik kardeşim Arif YÖNEY'e aileme, yakınlarım ve arkadaşlarıma;

En içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Canan YÖNEY

SİMGELER VE KISALTMALAR

Ar	: Argon
Mo	: Molibden
MoO ₃	: Molibden There Oksit
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
E_a	: Akseptör Enerji Seviyesi
E_d	: Yarıiletken Donör Enerji Seviyesi
E_F	: Fermi Enerji Seviyesi
E_H	: Hidrojen Atomunun İyonlaşma Enerjisi
ϵ_r	: Yarıiletken Bağlı Dielektrik Sabiti
\vec{k}	: Dalga Vektörü
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
m_e	: Elektronun Kütlesi
m_e^*	: Elektronun Etkin Kütlesi
N	: Azot
N_A	: Akseptör Atomlarının Konsantrasyonu
N_D	: Donör Atomlarının Konsantrasyonu
P	: Fosfor
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme (Physical Vapour Deposition)
Si	: Silisyum
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
ϕ	: Akı
°C	: Santigrad derece
eV	: Elektron Volt
MoO ₆	: Hegzagonal Molibden Oksit
DC	: Doğru Akım
Nm	: Nanometre
RF	: Radyo Frekans
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
W	: Watt
WO ₃	: Tungsten oksit
XRD	: X ışını kırınımı

ZnO	: Çinko oksit
α -MoO ₃	: Oktahedral Molibden Oksit
β -MoO ₃	: Monoklinik Molibden Oksit
λ	: Dalga boyu
μm	: Mikrometre
Ωcm	: Ohm santimetre

1.GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılamak ve üretim maliyeti ile verim arasındaki ilişkiyi geliştirmek için alternatif malzemelerin araştırılması ve kullanılması önem kazanmıştır. Geleneksel ve enerji üretimi sınırlı olan malzemelerin yanında farklı malzemeler kullanarak hem yapı hem de verimi geliştirecek seçenekler gittikçe artmaktadır. Farklı alternatif malzemelerin kullanılmasıyla, hem yapı-özellik ilişkisi geliştirilecek hem de üretim-maliyet ilişkisi istenilen şekilde sağlanacaktır. Bu alternatif malzeme arayışları içerisinde yarı iletken geçiş metal oksitler son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. NiO, WO₃, MoO₃, ZnO gibi geçiş metal oksitler, elektrokromik uygulamalar, akıllı cam teknolojileri, gelecek nesil bataryalar için elektrot teknolojileri, organik yarıiletken güneş pillerinde ve gaz sensörü uygulamalarında önemli kullanım potansiyeline sahiptir (Feizollahi Vahid 2016).

Geçiş metal oksit ailesi içerisinde özellikle MoO₃ ilginç yapısal, kimyasal, elektriksel ve optiksel özellikleriyle ön plana çıkmıştır. MoO₃ malzemeler şarj dengeli cihazlar, bilişim içerisinde görüntülemeyi amaçlamak, akıllı pencere mimarisinde enerji verimliliğini sağlamak, uzay araçlarının sıcaklık kontrolü için ayarlanabilir yayım/yayma gücüne sahip yüzeyler ve değişken ayna yansımaları ile bağlantılı olarak kullanılmıştır. Diğer geçiş metal oksitlerin kullanımını yanında MoO₃ yarıiletken ince filmler; gaz sensör uygulamalarında büyük alan içindeki algılama faktöründen dolayı, önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, MoO₃ kimyasal reaksiyonlarda katalizör olarak oldukça geniş bir kullanım alanına da sahiptir. Ayrıca katodik malzeme olarak kapasitör, gaz sensörü, foto-termo ve elektrokromik malzemeler ve yüksek enerjili katı mikromateryallerde çok geniş teknolojik uygulama alanlarına hitap etmektedir (Feizollahi Vahid 2016; Subbarayudu et al. 2013).

MoO₃ ince filmlerin Oktahedral α -MoO₃ fazı ve monoklinik β -MoO₃ olmak üzere iki fazda bulunabilirler. Bu fazlardan α -MoO₃ fazı kararlı termodinamik ve β -MoO₃ fazı ise yarı kararlı faz olarak bilinmektedir. Genelde kararlı fazın daha çok kullanım alanı olduğu bilinse de MoO₃ ince filmler için saydığımız kullanım alanları için en uygun faz genelde tercih edilir (Ramana et al. 2007). Örneğin elektrokromik malzemelerin araştırılmasında lityum iyonları b ekseninde filmlerin dokusuna daha rahat girebildikleri için filmlerin iyon depolama potansiyeli α -MoO₃ fazında daha çok arttığından dolayı bu fazın elektrokromik malzemeler için en uygun faz olduğu görülmektedir. Buna karşın gaz sensörü uygulamalarında ise β -MoO₃ fazı α fazına göre daha iyi sonuçlar göstermektedir (Wei-Che Chang et al. 2011). MoO₃ kristalleri daha iyi

sentezlenebilmeleri için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyar. Bu yüzden MoO₃ ince filmlerin faz dokusu ve yüzey morfolojisi filmin büyütme şartlarına oldukça bağlıdır (C.V Ramana et al. 2007). MoO₃ malzemeler bulk haldeyken direk geçiş band yapısıyla 3 eV band aralığı değerine sahipken literatürde yapılan çalışmalarda ince film olarak üretildiğinde yasak band değeri 2,4 – 3,75 eV aralığında değişmektedir. MoO₃ ince filmler üretim koşullarına bağlı olarak kristal yapısındaki oksijen miktarındaki değişime bağlı olarak band yapısında bir kırmızı kayma görülmektedir. MoO₃ ince filmler direkt bant geçişli 2,5 eV yasak enerji aralığına sahip n-tipi bir yarıiletkenidir ve özellikle organik güneş pili uygulamalarında emici tabaka olarak yapı içinde aktif bir öge olması da oldukça ilgi çekicidir.

Literatürde MoO₃ malzemelerin tek kristal ve polikristal üretiminin yanında epitaksiyel ince film olarak büyütülmesiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Özellikle micro/nano elektronik, optoelektronik ve sensör uygulamaları için MoO₃ malzemelerin ince film olarak büyütülmesi çok büyük bir öneme sahiptir. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde kimyasal buhar biriktirme(CVD), sol-jel kaplama teknikleri, kimyasal püskürtme teknikleri ve Fiziksel buhar biriktirme(PVD) tekniklerinden birçoğu kullanılarak MoO₃ yarıiletken ince filmler üretilmiştir. MoO₃ ince filmlerin büyütülmesiyle ilgili olarak sol-jel (Dhanasankar et al. 2011), reaktif ve reaktif olmayan saçtırma yöntemi (Miyata et al. 1985; Uthanna et al. 2010), PMOD (foto kimyasal atomik kaplama) yöntemi (Buono-Coree et al. 2010), Püskürtme odaklamalı lazer yöntemi (Ramana et al. 2007) ve atomik lazer depolama teknikleri literatürde yer alan bazı önemli çalışmalardır.

Bu çalışmada MoO₃ yarıiletken ince filmlerin fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi olan magnetron sıçratma tekniği ile c-Si, Corning cam ve ITO kaplı cam altlıklara büyütüldü. MoO₃ yarıiletken ince filmlerin yapısal özellikleri x-ışınları difraksiyonu (XRD) ve Raman Spektrumu analiziyle incelendi. Büyütülen MoO₃ yarıiletken ince filmlerin yüzey morfolojilerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı. Büyütülen MoO₃ yarıiletken ince filmlerin optik özellikleri geçirgenlik ve yansıma ölçümlerinin incelenmesi ile yapıldı. MoO₃ yarıiletken ince filmlerin elektriksel karakterizasyonları karanlık ve aydınlıktaki Akım-Gerilim ölçümleri ile yapıldı. Bu incelemeler ışığında üretilen eklemlerin iletkenlik tipleri, öz dirençleri, doğrultma özellikleri ve ışığa duyarlılıkları gibi parametreleri araştırıldı.

2. KURUMSAL BİLGİLER

2.1. MoO₃ İnce Filmler

Son yıllardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişen ve artan enerji ihtiyacına cevaben ucuz maliyet ile daha fazla üretim elde etmek amacıyla olan enerji sektöründe alternatif malzemeler kullanılmaya başlanmıştır.

Bu ihtiyaç doğrultusunda yarı iletken geçiş metaloksit ince filmler,

- Değişken geçirgen elektrokromik cihazlar,
- Akıllı cam teknolojileri,
- Gelecek nesil bataryalar için elektrot teknolojileri,
- Organik yarıiletken güneş pillerinde
- Gaz sensörü cihazları,

içerisinde oldukça önemli teknolojiye sahiptir.

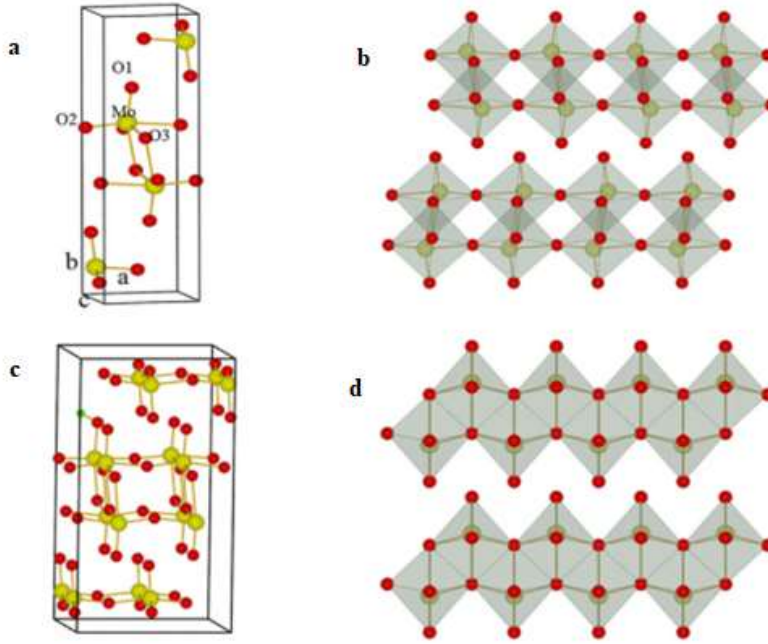
Geçiş metal oksit yarı iletkenler arasında MoO₃ önemli bir n tipi yarı iletkendir ve gaz sensörü uygulamaları için mükemmel bir malzemedir. Literatürde MoO₃ malzemelerin tek kristal ve polikristal üretiminin yanında epitaksiyel ince film olarak büyütülmesiyle ilgili bir çok çalışma mevcuttur. Özellikle micro/nano elektronik, optoelektronik ve sensör uygulamalarında MoO₃ malzemelerin ince film olarak büyütülmesi büyük öneme sahiptir.

Bu geçiş metal oksiti hızlı cevaplama süreli, yüksek renklendirme (kolarasyon) verimliliği ve uzun süreli kararlılığa sahip olması nedeniyle kromojenik malzemeler içerisinde ilgi çekici bulunur. Bununla birlikte, MoO₃ malzemeler bulk haldeyken direk geçiş band yapısıyla 3 eV band aralığı değerine sahipken literatürde yapılan çalışmalarda ince film olarak üretildiğinde yasak band değeri 2,4 eV– 3,75eV aralığında değişmektedir.

MoO₃ ince filmler üretim koşullarına bağlı olarak kristal yapısındaki oksijen miktarındaki değişime bağlı olarak band yapısında bir kırmızı kayma görülmektedir. MoO₃ ince filmler direkt bant geçişli 2,5 eV yasak enerji aralığına sahip n-tipi bir yarıiletkendir ve özellikle organik güneş pili uygulamalarında emici tabaka olarak yapı içinde aktif bir öge olması da oldukça ilgi çekicidir.

MoO₃ ince filmlerin kabul görmüş en az 2 fazı vardır. Oktahedral α -MoO₃ fazı ve monoklinik β MoO₃. Bu fazlar arasında α -MoO₃ fazı kararlı termodinamik ve β -MoO₃ fazı yarı kararlı faz olarak bilinmektedir. Genelde kararlı fazın daha çok kullanım alanı olduğu bilinir ancak, yukarıda belirttiğimiz MoO₃ ince filmler için kullanım alanları genelde tercih edilir (Ramana et al. 2007). Örneğin elektrokromik malzemelerin araştırılmasında lityum iyonları b

ekseninde filmlerin dokusuna daha rahat girebildikleri için filmlerin iyon depolama potansiyeli α -MoO₃ fazında daha çok arttığı dolayısıyla bu fazın elektrokromik malzemeler için en uygun faz olduğu görülmektedir. Buna karşın gaz sensörü uygulamalarında ise β -MoO₃ fazı α fazına göre daha iyi sonuçlar göstermektedir (Wei-Che Chang et al. 2011).



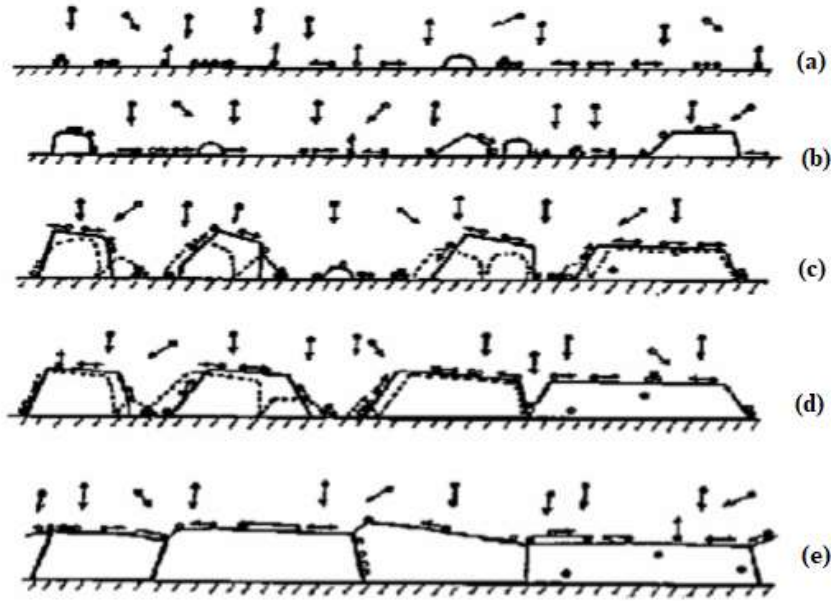
Şekil 2.1: MoO₃'ün kristal yapısı: sırasıyla ab ve bc düzlemlerinden bakıldığında (a) birim hücre, (b) köşeye bağlı ve (c) kenar paylaşılan oktahedral. (d) 2x1x2 supercell içinde bir hidrojen atomu (yeşil top) içeren H katmanlı MoO₃'ün kristal yapısı (Peng-Ru Huang, Yao He, Chao Cao& Zheng-Hong Lu, 2014).

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi MoO₃ filmlerin yarı kararlı monoklinik β -MoO₃ Şekil 2.1 (a) ve kararlı Oktahedral α -MoO₃ Şekil 2.1 (b) ve fazları gösterilmektedir. Şekil 2.1 (c)'de görüldüğü gibi α -MoO₃ fazı paralel olarak üst üste gelmiş iki hegzagonal MoO₆ tabakasından oluşmuştur. α -MoO₃ fazı pnmb (no 62) uzay gurubuna aittir ve simetrisi a=1.3855 nm - b=3.696 nm ve c=3.963 nm'dir. (Chang ve diğ. 2011). Bu fazda hegzagonal MoO₃₆'nın bir oksijen iyonu diğer beşinden daha uzaklaşmıştır ve MoO₆ deforme ederek Oktahedral α -MoO₃ olarak şekillenmiştir. Burada a-c ekseninde birbirine sıkıca paketlenmiş iki hegzagonal MoO₆ tabakaları köşelerini zig zag şeklinde paylaşarak uzamışlardır. Örgü boyunca uzanan b

ekseninde ise bu paketlenmiş iki tabaka arasında zayıf van der Waals bağıyla bağlanmış büyük boşluklar görülmektedir (Feizollahi Vahid, 2016). Bu yüzden (0k0) yönelimi Oktahedral α - MoO_3 kristal yönelimini belirlemektedir (Ramana ve diğ. 2007). Şekil 1 (a)'da monoklinik β - MoO_3 gösterilmiştir. Bu faz ($a=0.7122$ nm- $b=5.366$ nm ve $c=0.5566$ nm) simetrisiyle P21/c (no.14) uzay gurubuna aittir (Chang ve diğ. 2011). Bu faz MoO_3 'ün yarı kararlı fazı olarak bilinir ve eksenlerinin tamamında ard arda dizilmiş hegzagonal MoO_6 tabakaları arasında α - MoO_3 tabakaları arasında bulunduğu gibi van der Waals bağı yoktur. MoO_3 kristalleri daha iyi sentezlenebilmeleri için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyar. Bu yüzden MoO_3 ince filmlerin faz dokusu ve yüzey morfolojisi filmin büyütme şartlarına oldukça bağlıdır (Ramana ve diğ. 2007). MoO_3 ince filmleri değişik tekniklerle; sol-jel (Dhanasankar ve diğ. 2011), reaktif ve reaktif olmayan saçırma yöntemi (Miyata et al. 1985; Uthanna ve diğ. 2010), fotokimyasal organik biriktirme (PMOD:photochemical metal-organic deposition) yöntemi (Buono-Coree ve diğ. 2010), sprej, Darbeli lazer birikimi (Pulsed Laser Deposition) (Ramana ve diğ. 2007) ve atomik lazer depolama teknikleriyle büyütülmektedir.

2.2. İnce Film Büyüme Morfolojisi

İnce filmlerin oluşumu sırasında morfoloji, göz ardı edilmemesi gereken önemli bir özelliktir ve ince filmlerin mikro yapılarını tanımlamada kullanılır. Morfoloji, kaplamaların sıcaklığı, kaplama hızı, yüzeye gelen atom veya iyonların enerjileri, geliş açıları gibi parametrelere doğrudan bağlıdır. İnce film oluşuma süreci, atom buharından ya da plazma içinden gelen atomların yüzeye ulaşması ve yüzey tarafından soğurulması ile başlar (Ohring, 1992, Demiroğlu 2012). Yüzeye ulaşan bu atomlara adatom denir. Yüzey tarafından soğurulan adatomlar sahip oldukları enerjiye göre, yüzey ile dengeye gelene kadar veya diğer atomlarla bağ yapıp daha büyük küme oluşturana kadar yüzey üzerinde hareket ederler. Oluşum sonrasında atomlar birbirleri ile ya da yüzey ile etkileşime girerek bağ oluşturmaya başlar. Oluşan bağlarla birlikte enerji dengesi kurulur ve çekirdeklenme başlar. Oluşan çekirdeklenme ile film büyümesi bu çekirdeklerin etrafında gerçekleşir (Şener, 2005- Sezgin,2010- Demiroğlu,2012).

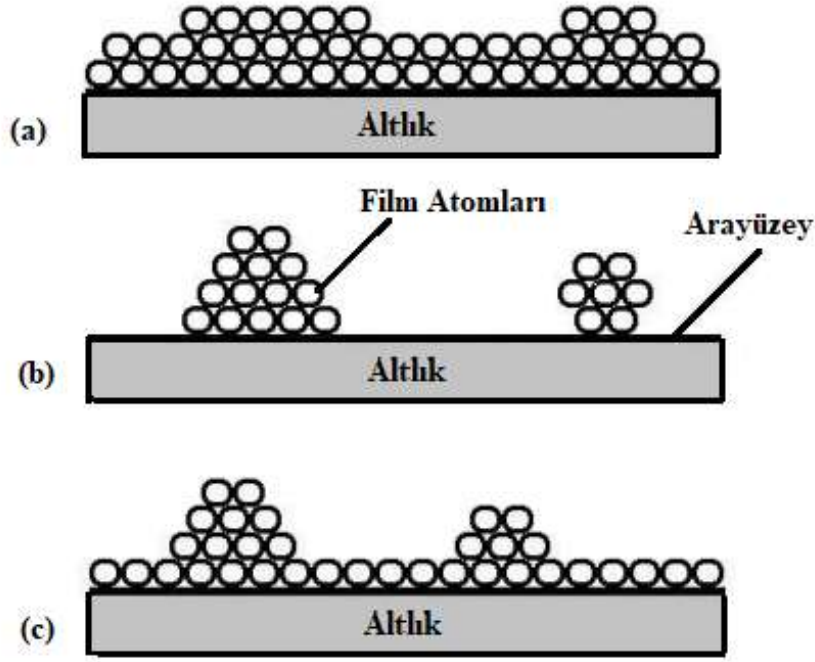


Şekil 2.2: İnce film büyüme morfolojisinde birikimin şematik gösterimi (a) Çekirdeklenme oluşumu, (b) Kristal büyüme, (c) Yakın çekirdeklerin kümeleşmesi, (d) Bütün çekirdeklerin birleşerek sürekli film oluşturması ve (e) Oluşan film tabakasının büyümesi (Şener 2005).

Birikme sırasında yüzey pürüzlülüğü için, minimum yüzey enerjisi kuralına ve atomların geliş açısına bağlı olarak farklı bölgelerde de çekirdeklenmeler başlar. Oluşan çekirdeklenme, adatomların daha kolay bağ oluşturabilmesi düşük aktivasyon enerjisine sahip kristal kusurları ve yüzey impürütelerin bulunduğu bölgeleri seçer. Büyük adacıklar beraber büyüyerek aralarında boşluklar bulunan film yapısı oluşturur. Adatom mobilitesi yeterli ise boşluklar yüzey difüzyonu ile doldurulabilir ve sürekli bir film oluşur; adatom mobilitesi yeterli değil ise boşluklar doldurulmadan yeni adatomlar yüzeye birikerek boşluklar sabit hale gelir. Böylece büyümenin bu şekilde devam etmesine sebep olur (Wasa, Kitabake ve Adachi 2004, Şener 2005, Demiroğlu 2012).

İnce film büyüme modelleri 3 grupta ifade edilir. Bunlar,

1. Atomik katmanlar şeklinde büyüme (Frank-Van der Merwe)
2. Üç boyutlu adacık büyümesi (Volmer-Weber)
3. Karışık büyüme (Stranski-Krestonov) dir.



Şekil 2.3: İnce film büyüme modelleri, (a) Frank Van der Merwe, (b) Volmer-Weber, (c) Stranski Krastanov (Eryılmaz 1996, Şener 200)

İnce filmlerin birikme sırasında, en alt malzemesinin yüzey serbest enerjisi, ara yüzey serbest enerjisi ve film yüzey serbest enerjisi etkilidir. Film büyümesi esnasında, toplam yüzey enerjisi, kaplama yayılmamış malzemenin yüzey enerjisinden daha küçük olduğunda Şekil 2.3(a)'daki atomik katmanlar şeklinde büyüme modeli ile film büyümeye başlar. Oluşan film ile taban malzemesi arasında güçlü bir bağ varsa, film bu modelle gelişir ve ara yüzey serbest enerjisi minimuma iner (Ohring 1992, Sezgin 2010).

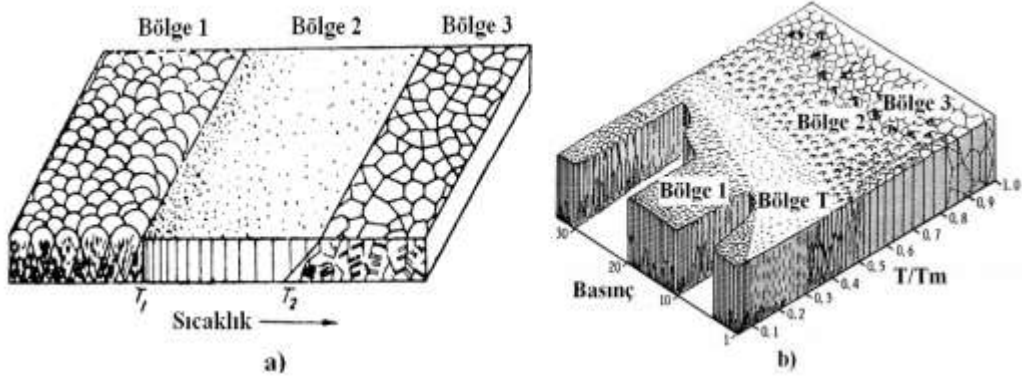
Ara yüzey serbest enerjisi, film yüzey serbest enerjisi ve altlık malzemesinin serbest enerjisi toplamına eşit ise, ara yüzey enerjisi ile toplam yüzey enerjisi ile artacaktır. Bu durumda büyüme adacıklar halindedir ve Şekil 2.3 (b)'deki gibi olur. Şekil 2.3 (c)'deki büyüme modelinde ise film büyümesi atomik tabakalar halinde başlar ve yüzey enerjisinde oluşan değişim yüzünden adacık halinde büyümeye oluşur (Şener 2005, Gürlük 2009).

Film büyümesi, film yoğunluğu, yüzey alanı, yüzey yapısı, tane boyutu gibi birçok parametre ince filmin özelliğini belirler. Filmin büyümesini etkileyen faktörler de vardır. Bunlar; taban malzemesinin yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin sıcaklığı, adatomların yüzey

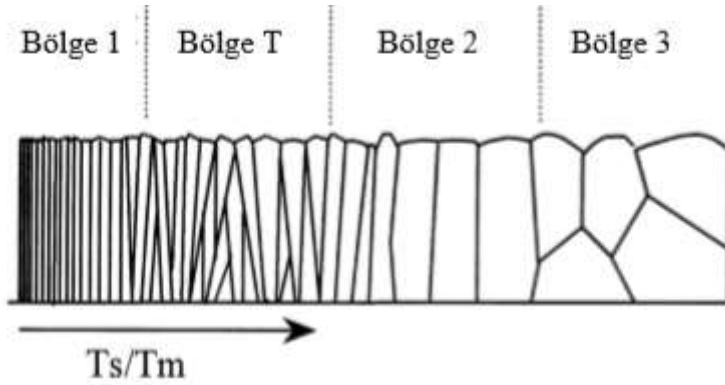
hareketliliği, geometrik gölgeleme etkisi, biriktirme işleminde kütle transferi ve boşlukların oluşumlarıdır. Bu faktörlerin içinde sıcaklığa bağlı olarak filmin morfolojisi değişir. Sıcaklığa bağlı film morfolojisinin değişimi için Movchan-Demchinsin ve Thornton tarafından iki model geliştirilmiştir (Sezgin 2010).

Movchan ve Demchishin, termal buharlaştırma sayesinde filmler üretmişlerdir. Elde ettikleri metal ve oksit filmlerin üst yüzey ve arakesit morfolojilerini inceleyip T_s / T_m oranının değişmesine göre bir model geliştirmişlerdir (Lakhtakia ve Messier 2004). Burada T_s (°K) kaplama sıcaklığını, T_m (°K) ise kaplama sırasında kullanılan malzemenin ergime sıcaklığını temsil eder. Movchan ve Demchishin modelinde 3 farklı bölge oluştuğunu ve sıcaklığa bağlı olarak değişip ve geliştiği gözlemlenmiştir.

Bu bölgeleri inceleyecek olursak; Bölge 1 ($T_s / T_m < 0,2 - 0,3$) düşük sıcaklık durumlarında oluşmasıdır. Bu sıcaklıklarda yüzeye gelen atomların enerjileri ve yüzey üzerindeki difüzyon kabiliyetleri minimumdur. Bu nedenle atomlar yüzeye çarptıkları noktalara yakın bölgelerde çekirdeklendiği görülür. Oluşan filmlerin gelişimi bu 3 boyutlu adacık modeline (Volmer-Weber) uygundur. Meydana gelen yüksek çekirdeklenmelerin yoğunluklarından ötürü film büyümesi tane sınırlarında boşlukların olduğu, tepesi yuvarlak biçimde, konik uçlu ince kolonlar olarak gerçekleşir. Büyümeler çekirdeklenmeler etrafında olur ve oluşan filmlerin yapısı gözeneklidir ve kusurlu kristallerden oluşup yüzeyi pürüzlüdür. Kristal genişliği Şekil 2.4' te Bölge 1' de görüldüğü gibi T_s / T_m oranının artması ile genişleme olmuştur. Bölge 2' deki ($T_s / T_m < 0,3 - 0,5$) mikroyapı, yoğun tane sınırlarına sahip kolonumsu yapılardan oluşur ve bu kolonlar Bölge 1' e oranla daha az kristal yapıdadır. Bu bölgede sıcaklık yüzey difüzyonunu ön plana çıkarabilecek kadar yüksektir. Oluşan kolonlar daha düzgün yapıda ve homojen, tane sınırları ise neredeyse film düzlemine diktir. Kolon çapları Şekil 2.4' te görüldüğü üzere Bölge 1'e göre daha büyüktür. T_s / T_m oranı arttıkça artışa devam eder. Bölge 3' teki ($0,5 < T_s / T_m < 1$) mikroyapıda film büyümesi periyodik olarak, üç boyutlu eş eksenli tanecikler tarafından oluşur. Bu bölgede sıcaklığın çok yüksek olması kütleli difüzyon yapısına hâkim olduğunu gösterir. Böylece bölgede yeniden kristalleşmeler görülür. Şekil 2.4' teki gibi bu kristallerin rastgele yöneldiği ve büyük boyutlarda olduğu görülmüştür. Oluşan filmin yüzeyi metaller için parlak ve düzdür (Boxman, Martin ve Sanders 1995, Barna ve Adamik 1998, Lakhtakia ve Messier 2004, Şener 2005, Demiroğlu 2012).



Şekil 2.4:Yapısal zone modelleri (a) Movchan ve Demchishin modeli, (b) Thornton modeli (Lakhtakia ve Messier 2004).



Şekil 2.5: Literatürde yer alan başlıca yapı bölgelerinin (zone) temel karakteristik modellenmesi (Barna ve Adamik 1998).

Magnetron sıçratma tekniği ile elde edilen filmler için Thornton, Movchan ve Demchishin' in önerdiği modeli genişleterek modelin Ar⁺ basıncına olan bağımlılığını da gösteren Şekil 4 (b) modeli geliştirmiştir. Bu modelde 1. ve 2. bölgeler arasında T bölgesi olarak adlandırılan bir geçiş bölgesi bulunmaktadır. Şekil 5' te T Bölge' sinde görüldüğü gibi oluşan yapı film kalınlığı boyunca homojen değildir ve altlık yüzeyinde kristallenmeler vardır. V-şeklindeki taneler film kalınlığı arttıkça kolonsal yapıya dönüşür. T bölgesinde, Bölge 1' de görülen hatalı kolonlu yapı görülebilir ancak bu kolonlar arasında boşluklar mevcut değildir. T bölgesine iyon kaplama tekniklerinin birçoğunda rastlanır. Düşük sıcaklığın etkin olduğu iyon kaplamalarda, Bölge 1 yerine Bölge T' nin oluşmasının nedeni iyon kaplamanın sahip olduğu kinetik enerjidir (Barna ve Adamik 1998, Lakhtakia ve Messier 2004, Şener 2005, Demiroğlu 2012).

2.3. İnce Film Kaplama Teknikleri

Günümüze kadar gelişen bilim ve teknolojik çalışmalar için önemli bir yere sahip olan ince filmler, ilk defa cam ve seramikler ile dekorasyon olarak kullanılmıştır. Fakat 19. Yüzyıldan itibaren bilimsel çalışmalardaki artış, teknolojinin gelişmesi daha yeni ve daha modern ince film elde etme yöntemlerinde çeşitlilik olmuştur. İlk ince film, 1838’de elektroliz yöntemi ile elde üretilmiştir. Daha sonra 1852’de Bunsen kimyasal reaksiyon yöntemi ile, Faraday asal gaz içerisinde buharlaştırma yöntemi ile, Nahrwold ve Kundt “Joule ısıtması” yöntem ile ince film elde etmişlerdir. Ancak üretilen ince filmler üzerinde yapılan bu çalışmalar, vakum cihazlarının gelişmesine kadar laboratuvar çalışmaları ile yapılmıştır. Vakum cihazlarının gelişmesiyle modern yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile üretilen ince filmlerin kristal yapıları, elektriksel ve optik özellikleri araştırılmaya başlanmıştır. Temel olarak ince film üretim teknikleri, malzeme yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlayan depolama teknikleri, depolanacak malzemenin bulunduğu fiziksel hale göre Şekil 2.6’aki gibi alt gruplara ayrılmıştır.



Şekil 2.6: İnce Film Üretim Teknikleri (Sönmezoğlu -Akın- Koç 2012)

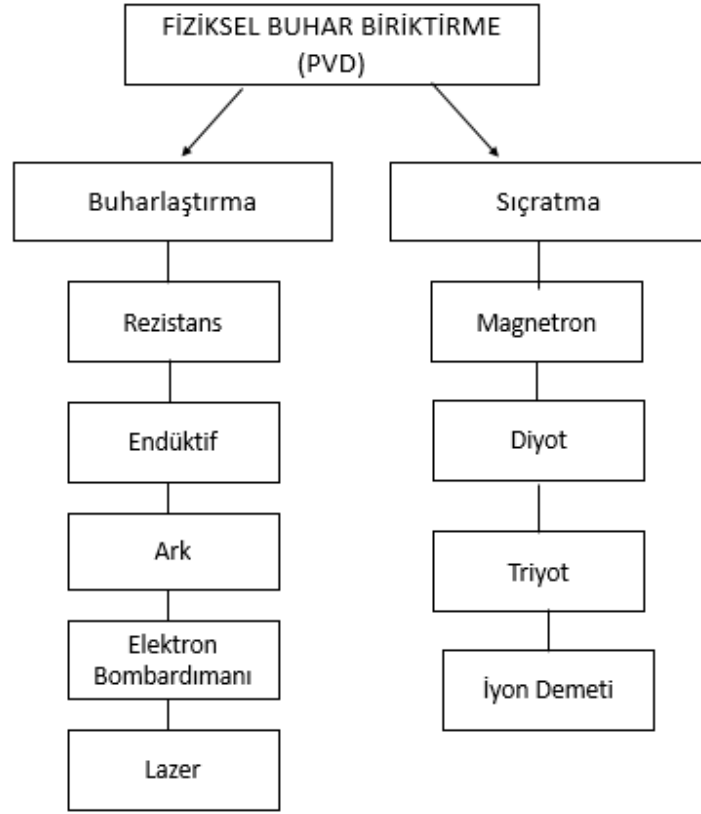
MoO₃ yarıiletken ince filmlerin büyütülme koşullarına bağlı olarak elektriksel ve optik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla; kimyasal buhar birikimi (CVD) yöntemi, sol-gel kaplama

yöntemi, kimyasal sprey püskürtme yöntemi, fiziksel buhar birikimi (PVD) yöntemi ve diğer yöntemleri içeren bir dizi yöntemler kullanılmaktadır.

2.3.1. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

Teknoloji uygulamaları için çok çeşitli kaplama teknikleri kullanılmaktadır. Fakat bu teknikler içinde bazıları ince film büyütme yöntemleri arasında önemli yer teşkil eder. Kaplama vakum ortamında malzemenin çeşitli tekniklerle altlık üzerinde biriktirilmesi işlemidir ve bu yüzden uygulamalarda vakum teknikleri önemlidir. İnce film büyütme tekniklerinden en çok kullanılan yöntemler şunlardır; termal buharlaştırma, moleküler beam epitaksi, katodik ark, kimyasal buhar biriktirme teknikleri, sıçratma teknikleri, iyon beam biriktirme, darbeli lazer biriktirme gibi teknikleridir. Termal buharlaştırma en kolay kaplama yöntemlerindedir ve kaplanacak malzemenin ya termal olarak ya da elektron bombardımanı ile ısıtılarak buharlaştırılıp altlık üzerine biriktirilmesi ile gerçekleştirilir. Moleküler iyon epitaksi yönteminde knudsen kaynakları ile üretilen sürekli bir iyon vardır ve iyon elektron çarpışmaları sonucu kısmen iyonize edilip elektrik alan yardımı ile hedefe doğru hızlandırılması ile kaplama gerçekleştirilir.

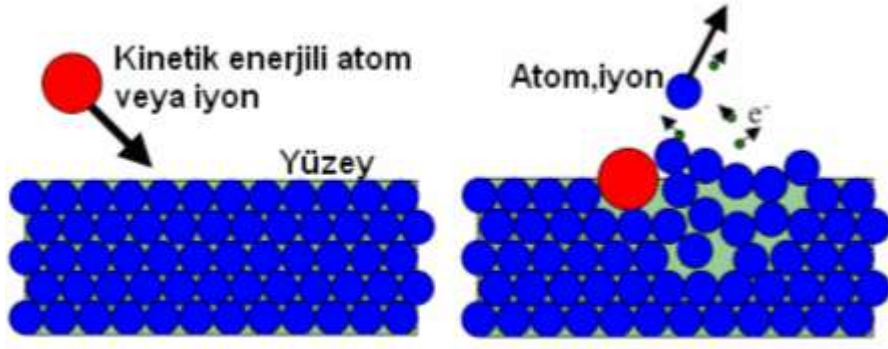
Katodik ark yönteminde yüksek akım katot ve anot sistemi ile iletken katı hedeften bir plazma oluşturularak kaplama yapılır. Kimyasal buhar biriktirme yöntemlerinde de bu plazma oluşturulur fakat bu yöntemde ortamdaki reaksiyonlardan dolayı altlık ısıtılmalı ve daha fazla gaz verilmelidir. İyon beam kaplama tekniğinde diğer plazma tekniklerine göre plazma altlıktan daha uzaktadır ve plazma içindeki iyonlar uyarılarak altlığa doğru hızlandırılıp kaplama gerçekleştirilir. Darbeli lazer biriktirme tekniğinde ise lazer kaplanacak hedef malzemeye odaklanır ve belli atımlarla hedef yüzeyine vurarak hedef yüzeyinden altlığa doğru bir plazma oluşturularak kaplama işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 2.7: Fiziksel buhar biriktirme yöntemleri (Sönmezoğlu -Akın- Koç 2012)

Şekil 2.7 'de fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinin şematik olarak sınıflandırılmıştır. İnce film büyütme yöntemlerinin her birinin kendi içerisinde çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Bu çalışmada ise MoO_3 ince filmlerin büyütülmesi için fiziksel buhar birikimi yöntemlerinden magnetron sıçratma tekniği kullanıldı.

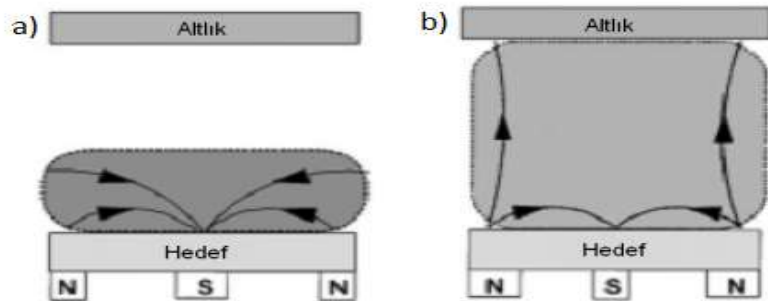
Sıçratma yöntemi ile kaplama temel olarak ortamdaki gazın elektronlarla çarpışması sonucu iyonize edilip katı haldeki hedefe çarptırılarak hedef atomlarını kopartmasıyla oluşan kaplamadır. Film kaplamak için sıçratma teknikleri iki şekilde kategorize edilir: glow discharge (diyot ve magnetron) ve iyon beam. Bu sıçratma yöntemlerinin hepsinde de enerjili parçacıklar ile yüzey atomları arasındaki momentum transferi olan aynı temel mekanizma ile parçacıklar aniden fırlatılırlar(saçılırlar). Şekil 2.8'de basitçe bu mekanizma görülmektedir (Tatar 2017).



Şekil 2.8: Sıçratma kaplama teknikleri için temel mekanizma (Tatar 2007)

2.3.1.1. Magnetron Sıçratma Yöntemi

Magnetron sıçratma tekniği mıknatısların yapısından dolayı dengeli manyetik alanda sıçratma ve dengelenmemiş manyetik alanda sıçratma tekniği olarak iki parametrededir. Her iki manyetik alanda sıçratma tekniğinde de elektrik alana dik olarak katot yüzeyine paralel manyetik alan olarak uygulanır. İyon bombardımanı ile katotdan çıkarılan elektronlar katodun yanında sikloid şeklinde hareketlenirler. Hareketlenen elektronlar katodun yanındaki başka atom veya moleküllerle çarpışarak iyonlaşmaya başlarlar. Bundan dolayı tam katodun yanında yüksek konsantrasyonlu pozitif iyonlar meydana gelir. Bu katot bombardımanının şiddetini artırır. Ayrıca katodun önündeki hedefe çarpan bu iyonlar hedeften parçacıkları fırlatmaya başlar (Tatar 2007). Manyetik alanlar elektronların dışarı doğru yönelmelerine izin verecek şekilde düzenlenmişse buna dengelenmemiş magnetron sistemi denir. Dengelenmiş ve dengelenmemiş magnetron sistemleri Şekil 2.9 (a) ve (b) 'de görüldüğü gibidir. Plazmanın şiddeti mıknatısların lokasyonuna göre değişmektedir.

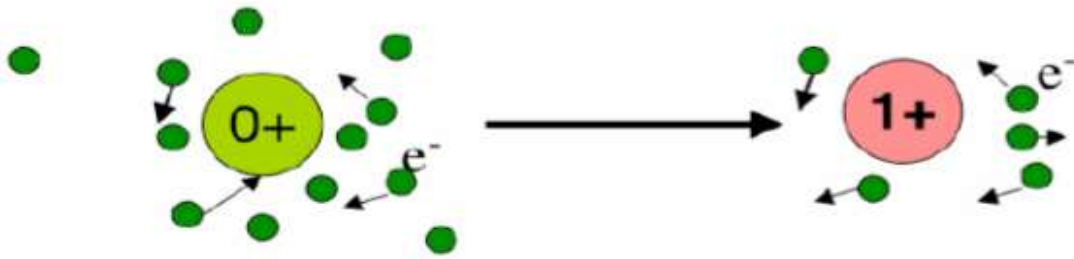


Şekil 2.9: a) Dengeli magnetron sıçratma tekniği b) Dengesiz magnetron sıçratma tekniği

(Suresh, 2004)

Dengelenmiş magnetron sisteminde şekil 2.9 (a)'da altlığa doğru olan iyon ve elektron akışı düşüktür. Dengelenmemiş magnetron sisteminde Şekil 2.9 (b) ise daha yüksek iyon ve elektron akışı mevcuttur. Altlığa doğru ve bu dengelenmiş manyetik alandakine göre yaklaşık 100 kat daha büyüktür. Dengelenmemiş manyetik alanda elektronların dışarı doğru yönelmesiyle plazma magnetron yüzeyinden uzakta oluşur. Bu plazma ise kaplama sırasında altlığın bombardımanı ve reaktif olarak biriktirme prosesi için verilen gazın etkin hale geçmesini sağlar.

Plazma elektriksel olarak nötr ortamdaki pozitif iyonların ve elektronların akışı ile oluşur. Bu akış elektrik ve manyetik alan sayesinde gerçekleşir. Çoğu plazma kaplama tekniğinde pozitif iyonlar enerjili elektronlar ile nötr parçacıklar arasındaki çarpışmalar nedeniyle oluşur. Bir plazma içerisindeki elektronlar, örneğin magnetron sıçratma tekniğinde çok sık kullanılan Ar(argon) gibi iyonlarla karşılaştırıldığında çok yüksek hareketliliğe sahiptirler. Tüm plazmanın kontrolü için bu yüksek hareketliliğe sahip plazma elektronlarının kontrolü gereklidir. Şekil 2.10'da elektrik ve manyetik alan kombinasyonu içerisinde elektronların hareketleri ve nötr atomlarla çarpışma sonucu pozitif iyonların meydana gelişi görülmektedir (Tatar,2007).

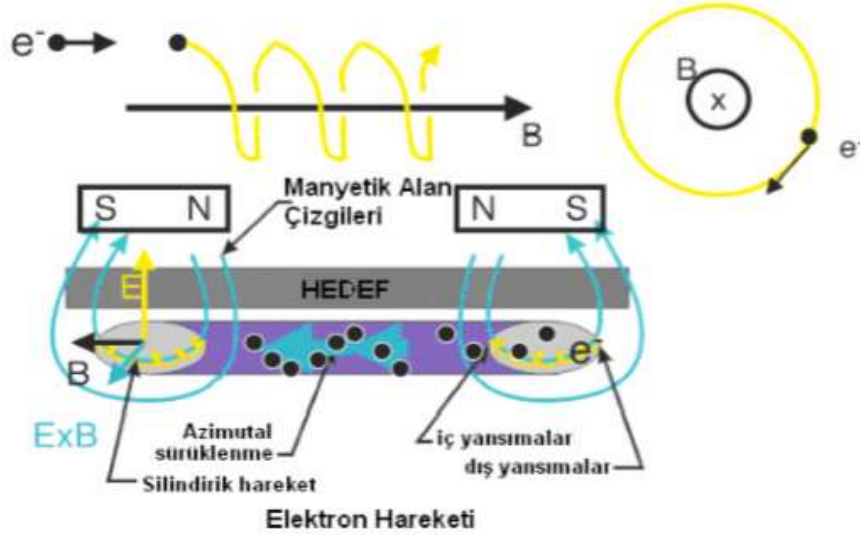


Şekil 2.10: Plazmadaki elektron çarpışmaları neticesinde nötr atomun iyonize edilmesi

(Tatar,2007)

Elektronun elektrik alan ve manyetik alan ile etkileşimi, ($E \times B$) elektrik alanının vektör yönüne ve büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin; manyetik alan yüzeye paralel ve elektrik alan yüzeye dik olursa, yüzeyden ayrılan elektron ayrılır ayrılmaz hızlanacak ve manyetik alan etrafında sarmal hareket yapmaya başlayacaktır. Eğer, manyetik alan, manyetik alana dik hareket eden elektronlar için kapalı bir yol biçiminde şekillendirilirse, yüzeyde 'akım' meydana

gelecektir. Bu devreden akım, belki birkaç kere dış elektrik ünitelerince ölçülecek ve böylece katot yüzeyinde plazma oluşumu sınırlı olacaktır.



Şekil 2.11: Elektro-manyetik alanda elektronların hareketi ve sistemin şematik gösterimi (Tatar, 2007)

Manyetik alanın homojen olmayışı, homojen olmayan plazmanın oluşmasına sebep olur bu da katot yüzeyinin homojen olmayan bombardımanı ve homojen olmayan katot malzemesinin sıçratılması, homojen olmayan plazma oluşumu demektir. Plazmadaki homojenliği arttırmak için, manyetik alanı hedef malzeme yüzeyine doğru hareket ettirmek veya hedef malzeme yüzeyini manyetik alana doğru hareket ettirmek gerekmektedir (Demirel, 2006- Tatar, 2007).

Dengelenmemiş manyetik alanda sıçratma yönteminde, dışarıda bulunan mıknatıslardan çıkan manyetik alan çizgilerini itemeyecek büyüklükte, diğerlerine göre daha küçük bir çubuk mıknatıs merkeze yerleştirilir. Bu nedenle bazı manyetik alan çizgileri direkt olarak kaplanacak malzeme üzerine yönlendirilir. Elektronlar manyetik alana paralel olarak hareket ederler. Bundan dolayı manyetik alan elektron hareketini etkilemeyecektir. Böylece elektronlar, manyetik alan çizgilerini kullanarak kaplanacak malzemeye doğru hareket edecektir. Elektronlar bu hareketi sırasında artı yüklü iyonları da itecekler ve numuneye doğru yöneleceklerdir. Sonrasında numune üzerine giden iyonların sayısını arttırarak iyon bombardımanını güçlendirecektir. Bombardıman enerjisi numuneye negatif hızlandırma voltajı uygulanarak daha da arttırılabilir.

İyon bombardımanı güçlendirmenin bir başka yolu ise, nötral olarak sıçratılan parçacıkların kaplanacak malzemeye ulaşana kadar iyonize edilmesidir (Tatar, 2007).



Şekil 2.12: Dengelememiş manyetik alanda sıçratma tekniği için magnetron kaynağının ve argon plazmasının gösterimi (Tatar, 2007).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada MoO₃ yarıiletken ince filmler fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi olan magnetron sıçratma tekniği ile c-Si, Corning ve ITO kaplı cam altlıklar üzerine büyütüldü. Üretilen MoO₃ yarıiletken ince filmlerin yapısal özellikleri x-ışınları difraksiyonu (XRD) ve Raman Spektrumu analiziyle incelendi. Büyütülen MoO₃ yarıiletken ince filmlerin yüzey morfolojilerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı. MoO₃ yarıiletken ince filmlerin optik özellikleri geçirgenlik ve yansıma ölçümleri kullanılarak incelendi. MoO₃ yarıiletken ince filmlerin büyütülmesiyle MoO₃ heteroeklemler üretildi ve bu eklemlerin elektriksel karakterizasyonları karanlık ve aydınlıktaki Akım-Gerilim ölçümleri ile yapıldı.

3.1. Altlık Malzemelerin ve Hedefin Hazırlanması

MoO₃ ince film üretimi için altlık malzemeler ilk adımı olarak c-Si, Corning ve ITO kaplı cam altlıklar hazırlandı. Altlık malzeme olarak kullanılacak olan kristal silisyum 1x1 cm, ITO kaplı camlar ise 1x2 cm boyutlarında kesildi. Hazırlanan numuneler ultrasonik banyoda aseton içerisinde 10 dakika süre ile temizleme işleminin ardından hazır kaplamada kullanılmak üzere bir tabakaya yerleştirildi. Hedef olarak Molibden target vakum cihazına altlıklar ile yerleştirildi.

3.2. MoO₃ Filmlerin Hazırlanması

Kaplama işleminde Mightymak marka Dengelenmemiş Magnetron Kaplama cihazı kullanıldı. Mo hedef ve c-Si, corning ve İTO altlıkların yerleştirildiği taşıyıcı kaplama sistemine yerleştirildikten sonra vakum alma işlemine geçildi. Vakum alma işlemine yaklaşık 10⁵ Torr oluncaya kadar devam edildi ve bu basınca düştükten sonra ortama Ar gazı verilmeye başlandı. 5 dakika altlıklar ve hedef 140 Sccm akış hızında argon gazı ile temizlendi. Bundan sonra argon gazının akış hızı ~60 Sccm ve ortamın gaz basıncıda yaklaşık 5.5 mTorr civarında sabitlendi ve kaplama işlemine başlamadan önce shutter kapalı iken bütün altlıklar nötral molekül kaynağı ile dağlandı. Bu işlem bütün kaplama işlemlerinde uygulandı ve toplam 3 dakika süresince 0.7 Pa argon gaz basıncında 2 kV hızlandırma gerilimi ve 200 V bias gerilimi parametreleri bütün işlemler için sabit tutuldu. Daha sonra shutter açılıp kaplama işlemine

başlanmıştır. Kaplama cihazının görüntüsü ve kaplama sırasında altlıklar ve hedefin görüntüleri Şekil 3.1’de verilmiştir



Şekil 3.13: (a) MightyMak marka dengelenmemiş magnetron kaplama cihazı (b)vakum bölgesi, hazırlanan numunelerin yerleşimi. (c) Kaplama işlemi

Kaplamalarda güç kaynağı hem 200 W DC hem de 200 W darbeli akım (Pulse Mod) kullanıldı. Üretim için kullanılan üç farklı deney parametreleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir. Bu üç parametre Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 olarak adlandırılmıştır. Farklı parametreler altında üretilen MoO_3 ince filmlerin karakterizasyonu yapılarak en iyi parametre belirlenmiştir.

Çizelge 3.1: Deney Parametreleri

Kullanılan Teknik ve Yöntem	Kullanılan Altlık Malzeme	Kaplama Süresi
PVD Tekniği, Magnetron Sıçratma yöntemi	c-Si, İTO, Corning Cam	15 Dk.
Kullanılan Gaz İyonları	Isıl İşlem	Hızlandırma Gücü
D1-Deney 1: %50 Ar +%50 O D2-Deney 2: %40 Ar +%60 O D3-Deney 3: %30 Ar +%70 O	200 °C, 300°C	200 W

3.3. İnce Filmlere Uygulanan Isıl İşlem Metodu

PVD yönteminden magnetron sıçratma tekniği ile üretilen ince filmlerin yapısını inceledikten sonra etüvde sırasıyla 200°C ve 300°C'de 60 dk ısıtım uygulanmıştır.

3.4. Hazırlanan İnce Filmlerin Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

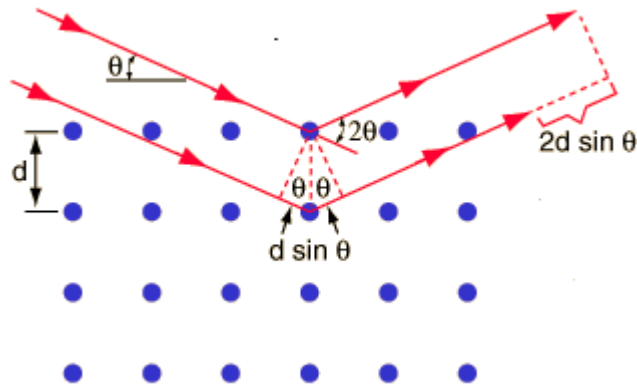
Farklı koşullarda üretilen MoO₃ ince filmlerin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla XRD analizi ve Raman spektrum ölçümü, morfolojik özelliklerini belirlemek için ise SEM analizi yapılmıştır.

3.4.1. X Işını Difraksiyonu (XRD)Yöntemi

X ışını difraksiyonu yöntemi kristal formundaki maddelerin yapısal özelliklerinin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Çalışma prensibi Bragg yasasını temel almaktadır. Bragg yasası Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bir örgüden X ışınları saçıldığında dalgaların kaydedilmesi için aynı fazda olmaları gerekmektedir. Dalgaların aynı fazda olması için yol farkı λ 'nın tam katlarına eşit olmalıdır.

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

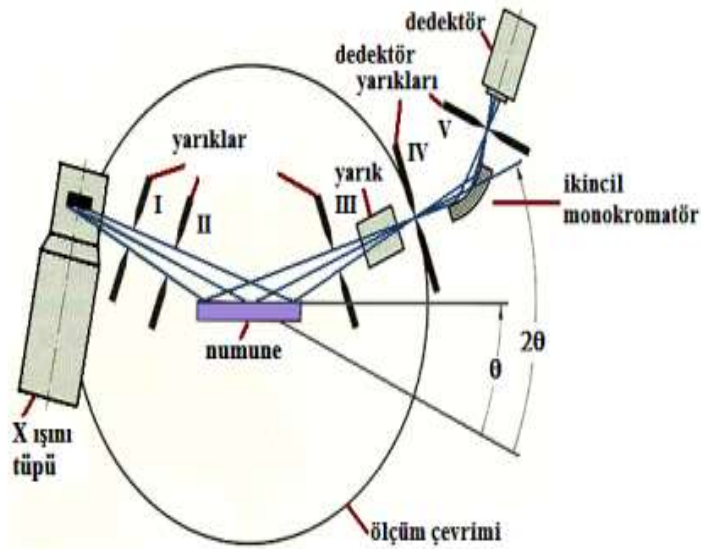
$$(3.4.1.1)$$



Şekil 3.14: Bragg yasası, X ışınlarının atomik düzleme kırınımı

“n” yansımanın mertebesi ve “ θ ” difraksiyon veya Bragg açısı olarak adlandırılmaktadır. Numune düzlemi ile X ışını kaynağı arasındaki açı olarak değerlendirilir.

X ışını difraksiyonu desenleri için farklı atomların girişimi sonucu oluşur. Bu yüzden farklı bileşikler için oluşan difraksiyon deseni tektir. Şekil 3.2’de Bragg açısı numune ile X ışını kaynağı arasındaki açı olduğundan yansıyan X ışını demeti ile dedektör arasında açı 2θ kadardır. Oluşan desen 2θ açılara karşılık gelen yansıma şiddetlerinin serisini içeren difraksiyon desenindeki her bir pik numune içerisindeki spesifik düzlem setlerine karşılık gelmektedir. XRD desenindeki her bir pikin yarı yükseklikteki tam genişlik kristal boyutu ve yapıdaki örgüdeki biçim değişiklikleri hakkında bilgi taşımaktadır. Eşitlik (3.4.1.1)’de Bragg Bağıntısı verilmiştir ve farklı kristal yapılar için örgü parametreleri ile düzlem Miller indislerine ait parametreler arasındaki bağıntılar birleştirilerek tanecik boyutu hakkında bilgi veren Scherrer bağıntısı bulunmaktadır (3.4.2.1) Şekil 3.3’de XRD sistemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.15: XRD Sisteminin Şematik Gösterimi

Üretilen ince filmlerin yapısal özelliklerini belirlemek için İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Kaplama Karakterizasyon Laboratuvarı'nda bulunan "Philips PW3710" model XRD cihazı ile 40 kV-40 mA'de üretilen 0.154 dalgaboylu Cu-K α ışını kullanılmıştır. Yüksek vakum elektron demeti buharlaştırma sistemi ile n-Si, Corning ve İto altlıklar üzerine büyütülen MoO₃-nSi, ince filmlerin XRD spektrumları 10°-90° aralığında ve 0,5° giriş açısı ile 0,02°' lik adımlar ile 0,5 saniye bekleme süreleri ile taranmıştır. Elde edilen ince filmlerin XRD analizleri ısıtım işlem öncesi ve sonrası olmak üzere aynı koşullarda tekrarlanmıştır.



Şekil 3.16: Philips PW3710 Model XRD Cihazı

3.4.2.1. Kristal Büyüklüğü

XRD ölçümleri ile malzemenin kristal büyüklüğünü ölçebiliriz. X ışını kırınımı ile elde edilen maksimum pikin şiddetinin ortaya çıktığı açının yarı yüksekliğinin genişliğine bağlıdır. Bu bağıntı Scherrer denklemi ile ifade edilir.

Scherrer Denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\beta = \frac{\lambda}{t \cos \theta} \quad (3.4.2.1)$$

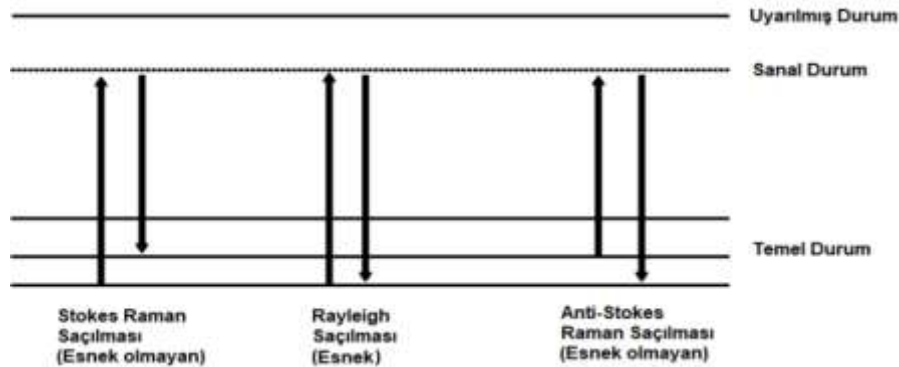
Denkleme baktığımızda D x-ışınından elde edilen pikin yarı yükseklikteki genişliğidir. t kristal büyüklüğü, λ x-ışının dalga boyu ve θ Bragg açısıdır. Scherrer denklemi polikristal malzemelere uygulanır ve k gibi bir düzeltme faktörü içerir. Bu yüzden bu denklemin tam şekli aşağıdaki gibidir.

$$D = \frac{k\lambda}{t \cos \theta} \quad (3.4.2.2)$$

Kristal büyüklüğü ve yarı yükseklikteki pik genişliği ters orantılıdır. Kristal boyutunun küçük çıkması geniş piklerin sonucudur. Dar pikler malzemenin tek kristal bölgelerinin büyük olmasını gösterir. Bu çalışmada MoO_3 ince filmlerin kristal büyüklüğü denklem (3.4.2.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.4.3. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi bir saçılma tekniğidir (R. S. Das and Y. K. Agrawal,2011). Bir molekül üzerine gönderilen lazer ışınları daima iki tip saçılmaya uğrar, esnek ve esnek olmayan. Esnek saçılmada, foton frekansında veya dalga boyu ve enerjisinde herhangi bir değişiklik olmaz. Fakat esnek olmayan saçılmada foton frekansında veya dalga boyu ve enerjisinde gelen fotona göre artma veya azalma olur. Böylece Şekil 3.5’de gösterilen üç tip davranış ortaya çıkar (R. S. Das ve Y. K. Agrawal,2011).



Şekil 3.17: Raman Saçılma Mekanizması

Birinci durumda, foton bir molekül üzerine geldiğinde molekül ile etkileşime girebilir ancak net enerji (E) değişimi sıfırdır, bu yüzden saçılan fotonun frekansı gelen fotonunkiyle aynıdır ($V_{saçılan}=V_{gelen}$). Bu Rayleigh saçılması olarak bilinir ve dalga boyuna bağlıdır. İkinci durumda, foton molekül ile etkileşime girebilir ve net enerji değişimi bir moleküler titreşimin enerjisidir. Eğer etkileşim, fotonun molekülden enerji kazanmasına neden oluyorsa, saçılan fotonun frekansı, anti-Stokes Raman saçılması olarak da bilinen durumdur. Üçüncü durumda, eğer etkileşim, molekülün fotondan enerji kazanmasına neden oluyorsa, saçılan fotonun frekansı gelen fotonun frekansından daha düşük olacaktır ($V_{saçılan} = V_{gelen} + V_{fonon}$), bu işleyiş Stokes Raman saçılması olarak bilinir Raman spektroskopisi silisyum yapısına duyarlı bir tekniktir. Örnekten alınan Raman spektrumunun kapsamlı bir analizi, önemli morfolojik detaylar (temel olarak fonon frekansları ve karşılık gelen spektrum çizgi genişlikleri ile ilişkisi) ve aynı zamanda örneklerin kristal oranlarının iyi bir tahminini sağlar. Raman spektrumlarının şekline en uygun grafiği elde edebilmek için Gauss fonksiyon atama yöntemi kullanılarak örneklerdeki kristal oranı (X_c) tespit edilebilir. Gauss fonksiyonlarının her biri amorf veya kristal yapıya bağlı olabilecek farklı bir payla ilişkilidir. Bu paylar genellikle $\sim 480 \pm 10 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısında amorf yapıya, $\sim 490\text{--}515 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısında farklı boyutlarda ve/veya arayüz modlu kristalit yapıya ve $\sim 520 \pm 5 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısında kristal yapıya işaret etmektedir. Bu payların her birinin göreceli miktarı temelinde silisyum filmlerinde bulunan kristal yapıların kristal oranı (X_c) Eşitlik 3.4.3.1'e göre belirlenebilir (Sakız, 2018).

$$X_c = \frac{I_c + I_m}{I_c + I_m + I_a} \quad (3.4.3.1)$$

Denklemden $I_c + I_m$ farklı büyüklükteki kristal fazların Raman spektrumundaki belirlenen merkez noktaların altında kalan alanları temsil etmektedir, I_c ise amorf faza ait tepe noktanın altında kalan alanı göstermektedir.

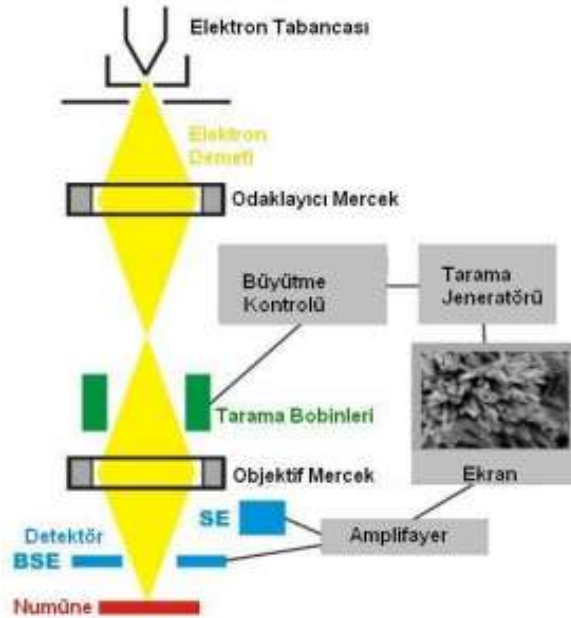
Üretilen ince filmlerin Raman spektrumları ölçülmüştür. Raman spektrumları, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan "Horiba Jobin Yvon Labram HR-UV Spektrometre HR800UV" marka mikro Raman cihazı ile incelenmiştir. Raman spektrumu için çıkış gücü 20 mW olan 632.817 nm dalga boyuna sahip Helyum Neon lazer kullanılmıştır. İnce filmlerin Raman spektrumları 200-800 cm^{-1} aralığında, 5x5 saniye süre ile yapılmıştır.



Şekil 3.18: Horiba Jobin Yvon Labram HR800UV Mikro Raman Cihazı

3.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümlerinin temel prensibi, birincil elektron ışınları tarafından uyarılan yüzeyden yayılan ikincil elektronların ortaya çıkarılması ile yüzey şeklinin bir görüntüsünün oluşturulmasına dayanır. Elektron ışınları örnek üzerine gelir, ışının pozisyonuna göre detektörler tarafından saptanan sinyaller ile bir şekil oluşturulur.



Şekil 3.19 : SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)'in şematik gösterimi

Üretilen MoO₃ ince filmlerin yüzey ve arakesit görüntülerinin alınması için İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Malzeme ve Metalürji Mühendisliği Biyomalzeme Araştırma ve Karakterizasyon Laboratuvarı'nda bulunan JEOL JSM 7000F model alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FEG-SEM) kullanılmıştır. FEG-SEM görüntüleri için 5 kV enerjili elektron demeti kullanıldı ve yüzey görüntüleri için 50.000x, kesit görüntüleri için ise 15.000x ve 50.000x, kolon çap ve eğim açıları için alınan görüntülerde ise 100.000x büyütme kullanılmıştır.



Şekil 3.20: Jeol 5410 model SEM cihazı

3.5. İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Işık bir yüzeye veya bir ortama geldiği zaman meydana gelen 3 tip olay vardır; bunlar (geçirgenlik) transmisyon, absorpsiyon (emilim) ve yansımadır. Magnetron sıçratma tekniği ile farklı deney koşullarında Üretilen MoO₃ ince fillerin optik özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Elmer Lambda 900 (UV-VIS-NIR) model spektrofotometre ile oda sıcaklığında, ürettiğimiz ince filmlerin geçirgenlik ve yansıma spektrumları 280-2500 nm aralığında incelenmiştir.

3.6. İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi

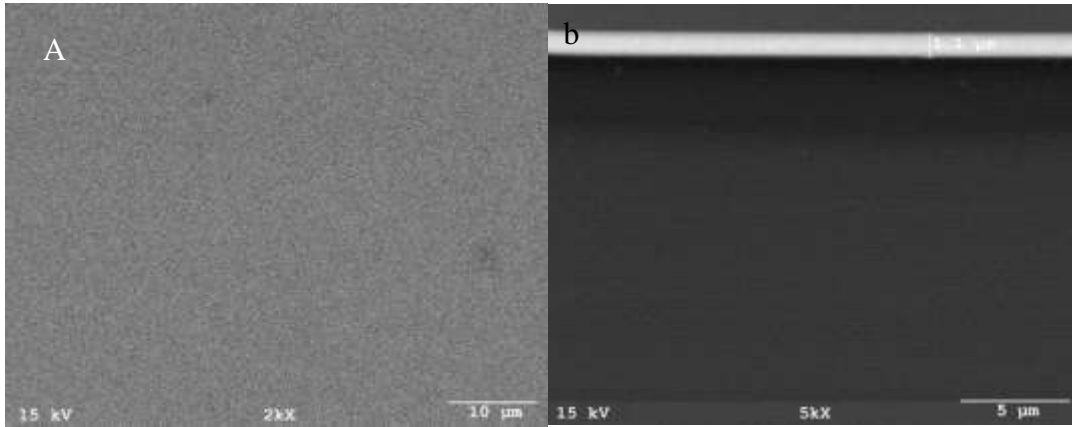
Magnetron sıçratma tekniği ile farklı deney koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin elektriksel özelliklerini ölçmek için omik kontaklar hazırlanmıştır. Elektriksel özelliklerin ölçümü için hazırlanan kontaklar Ag iletken boya kullanılarak yapılmıştır. Alınan ölçüm sonucu veriler Grpher12 programında çizdirilerek hesaplamalar yapılmıştır.

İdeal bir diyotun akım gerilim ölçümü yapıldığında doğrultma özelliği göstermesi gerekir. Diyotun akım gerilim karakteristiği olan bu durum, ileri yönde besleme durumunda akımı iletmemesi, ters yön beslemesi durumunda ise akımı iletmemesi anlamına gelir. İleri yönde besleme durumunda diyot üzerinden geçen akım uygulanan potansiyel fark ile üstel olarak değişir. Karanlık durumda alınan ölçümler sonucunda, çizilen yarı-logaritmik akım-gerilim grafiği çizilir. Yarı logaritmik akım ekseninde, potansiyel farkın, $V < 3kT/q$, olduğu bölgede termiyonik emisyon gerçekleşir ve bu bölge lineer olarak görülür. Bu bölgede eğim hesaplanarak diyotun ϕ_B bariyer yüksekliği ve η idealite sabiti ve I_S doyma akımı hesaplanır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Üretilen MoO₃ İnce Filmlerin SEM Analizi

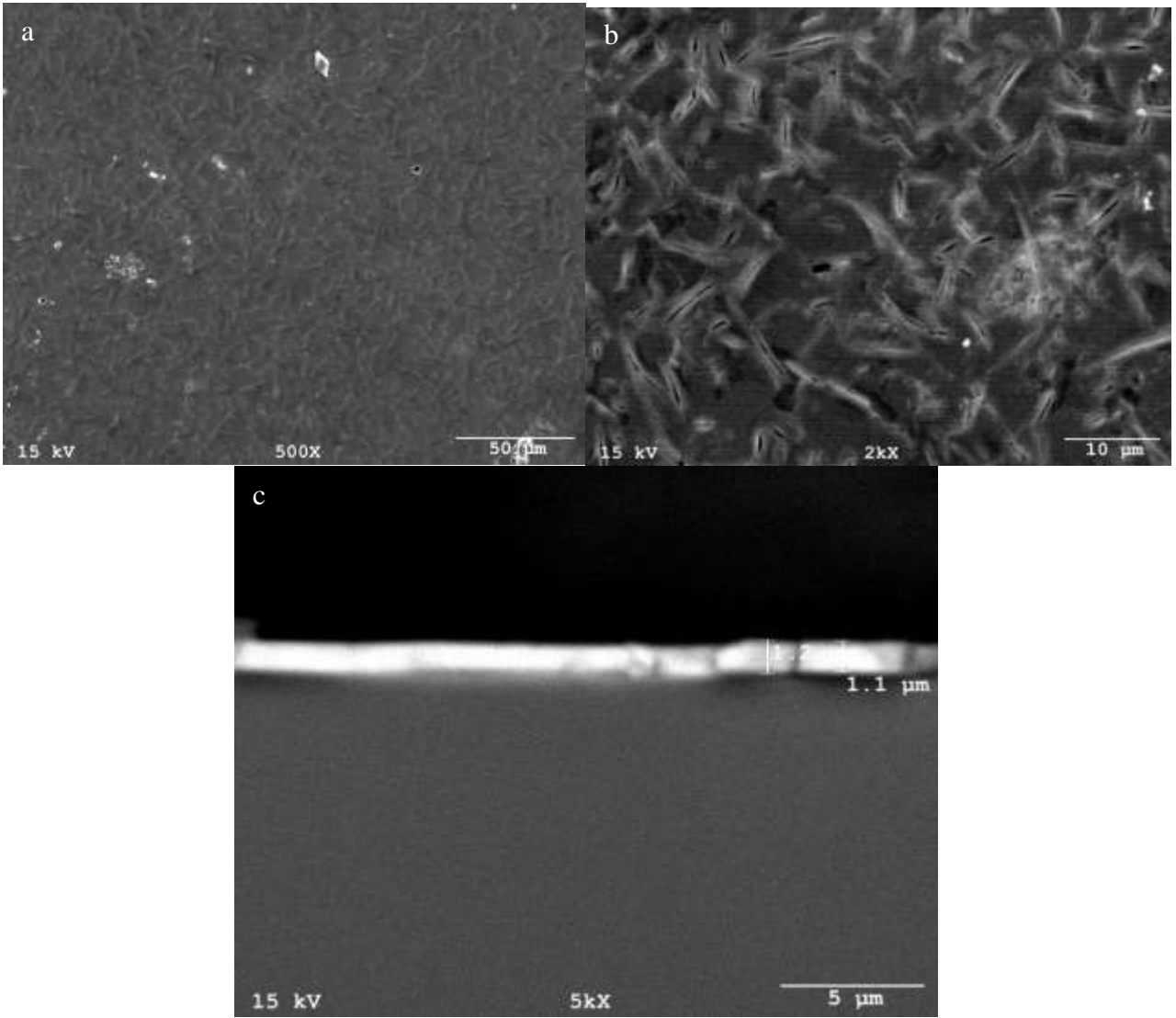
Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 koşulları ile üretilen MoO₃ ince filmlerin ısıtma işlem öncesi ve 300°C' deki ısıtma işlem sonrası yüzey morfolojileri SEM ile incelenmiştir.



Şekil 4.21: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO₃ İnce Filmin ısıtma işlem öncesi (a) yüzey morfoloji ve (b) ara kesit SEM görüntüleri

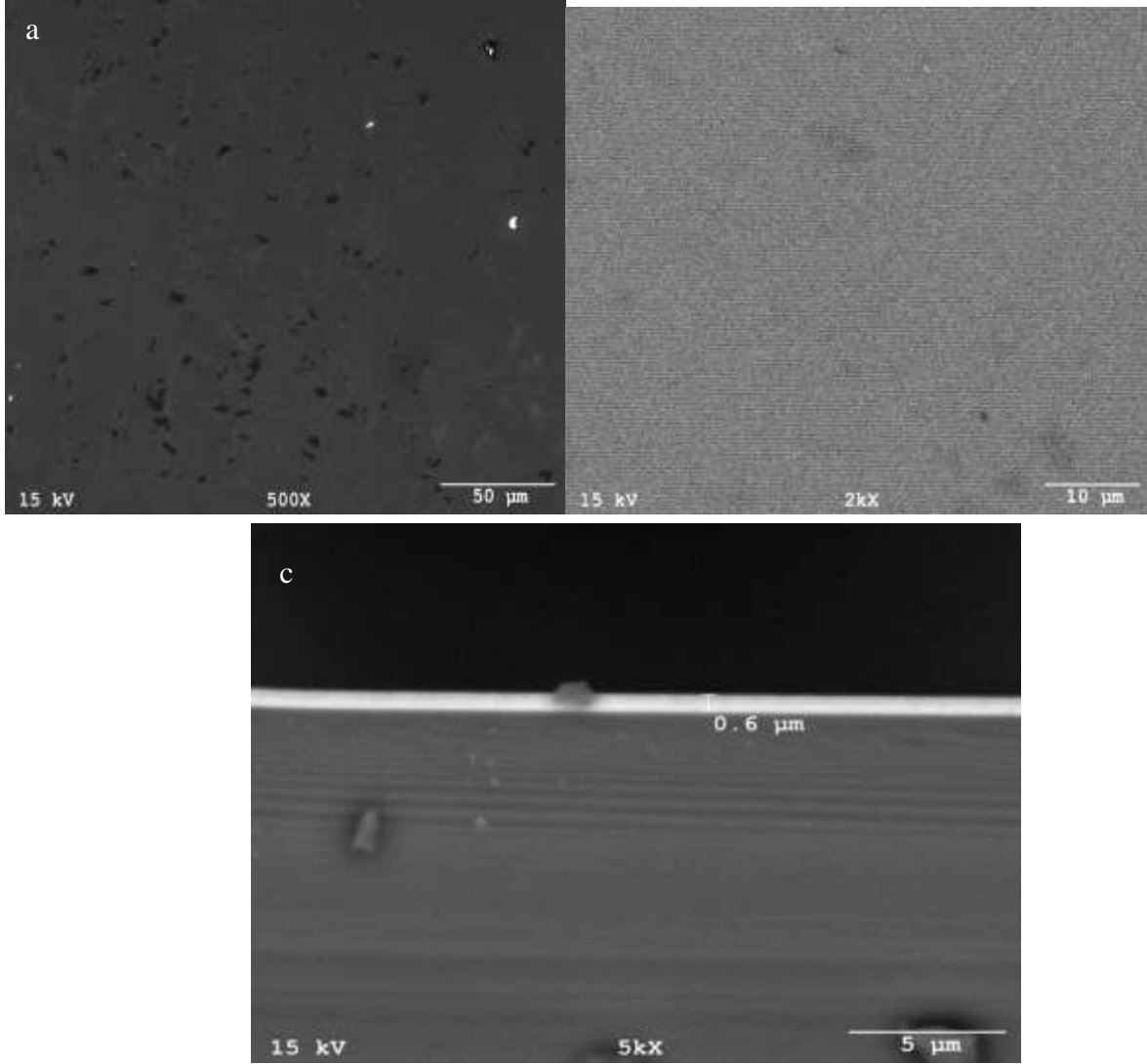
Deney 1 koşulu ile üretilen MoO₃ İnce filmin ısıtma işlem öncesi yüzey morfolojisini SEM görüntüsü şekil 4.1'de verilmiştir. İnce filmin yüzeyi homojen bir dağılım söz konusudur. Kesit kalınlığı 1100 nm boyutundadır. Tanecikli yapıdadır.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi Deney 1 parametreleri ile üretilen MoO₃ İnce filmin 300°C ısıtma işlem sonrasında yüzey morfolojisini ve metal oksitin kesit kalınlığını incelediğinde homojen bir dağılım söz konusudur. Kesit kalınlığı değişmemiştir ve 1100 nm boyutundadır. Ancak tanecikli yapıda değişim söz konusudur. Nano boyutlu belirgin tanecikli yapı oluşmuştur.



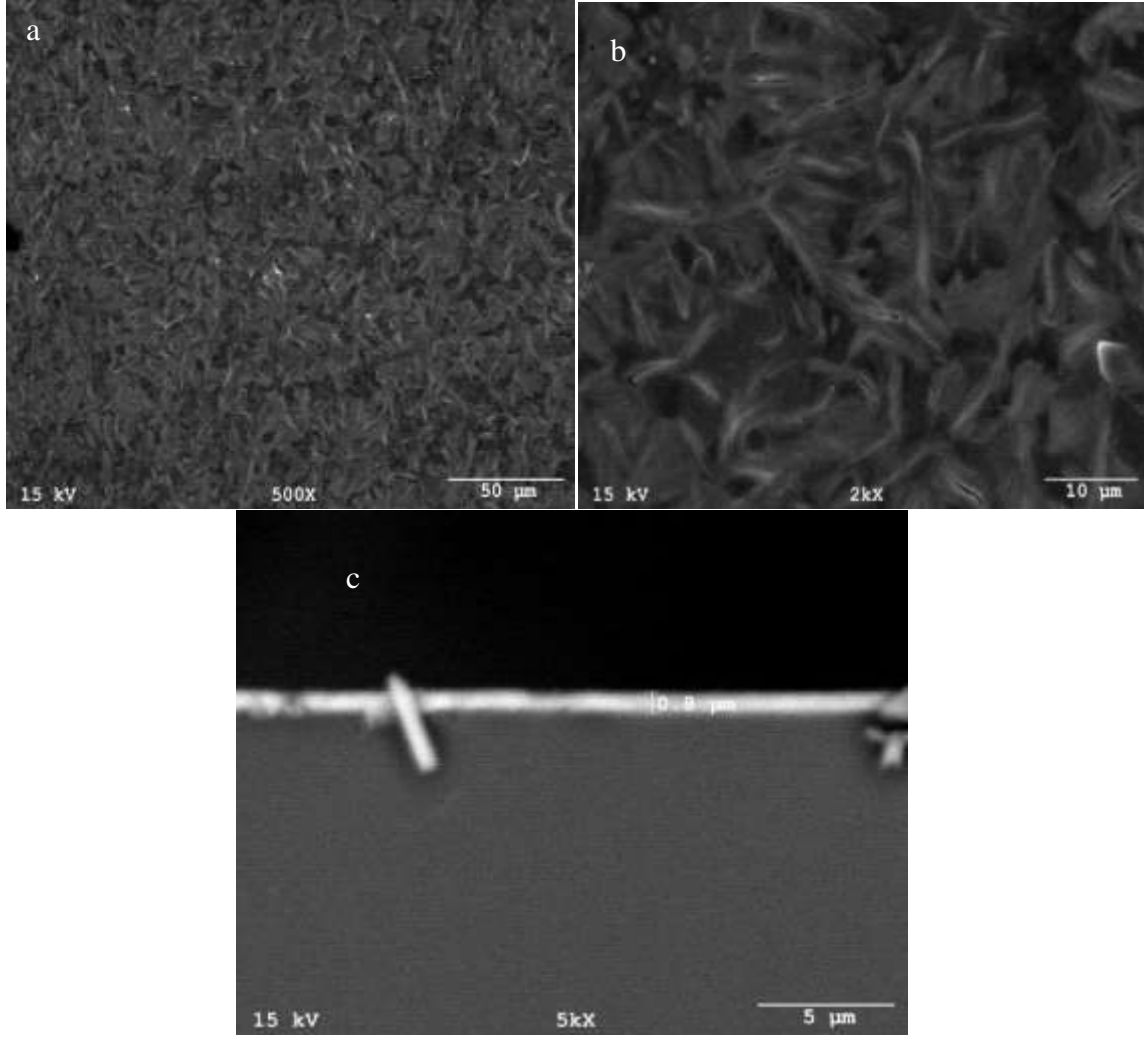
Şekil 4.22: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO₃ İnce Filmin 300°C ısıtım sonrası (a) yüzey morfolojisi (500x), (b) yüzey morfolojisi (2000x) ve (c) ara kesit görüntüleri

Deney 2 parametreleri ile üretilen MoO₃ İnce filmin ısıtım öncesi yüzey morfolojisi SEM görüntüsü Şekil 4.3’de verilmiştir. Yüzey görüntüsü incelediğinde homojen bir dağılım söz konusudur. Kesit kalınlığı 600 nm boyutundadır. Deney 1 ısıtım sonrası yüzey görüntüsüne benzemektedir. Kalınlık azalmıştır. Belirgin tanecikli yapı görünmemektedir.



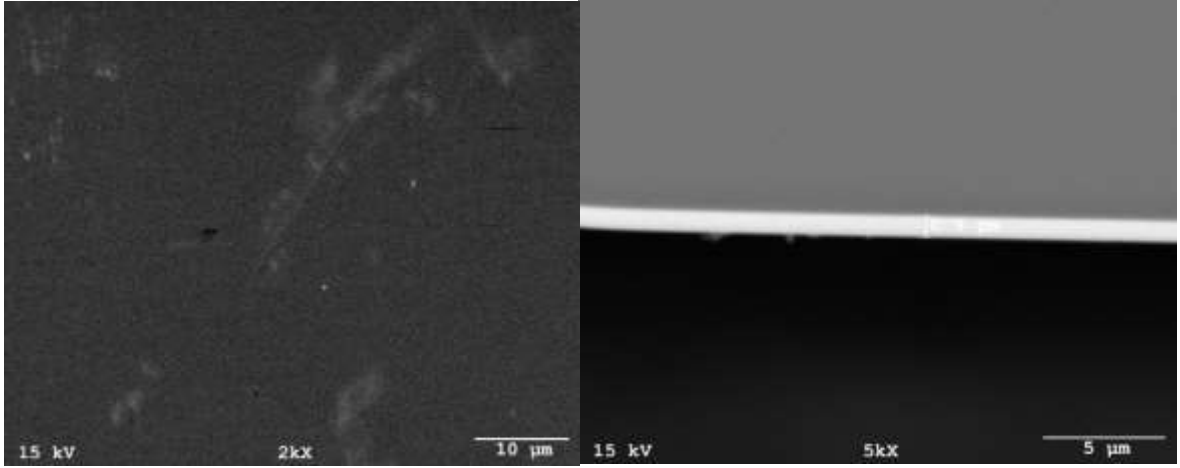
Şekil 4.3: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO₃ İnce Filmin ısıt işlem öncesi (a) yüzey morfolojisi (500x), (b) yüzey morfolojisi (2000x) ve (c) ara kesit görüntüleri SEM görüntüleri

Deney 2 koşullarında üretilen MoO₃ İnce filmin 300 °C ısıt işlem sonrasında yüzey morfolojisini ve metal oksitin kesit kalınlığını incelediğinde homojen bir dağılım söz konusudur. Isıt işlem sonrasında üretilen ince filmin kalınlığı değişmiş ve 800 nm olarak ölçülmüştür. Nano boyutlu belirgin tanecikli yapı oluşmuştur. Sıcaklığın etkisiyle kesit kalınlığı artmıştır. Tanecikli yapı Şekil 4.4’de homojen dağılmıştır. Deney 2 koşulunda üretilen ince filmin Şekil 4.3’de daha belirgin tanecikli yapıda olduğunu söyleyebiliriz. Ancak Deney 2 parametresi ile üretilen ince film ile yüzey yapısı ile benzerlik göstermektedir.

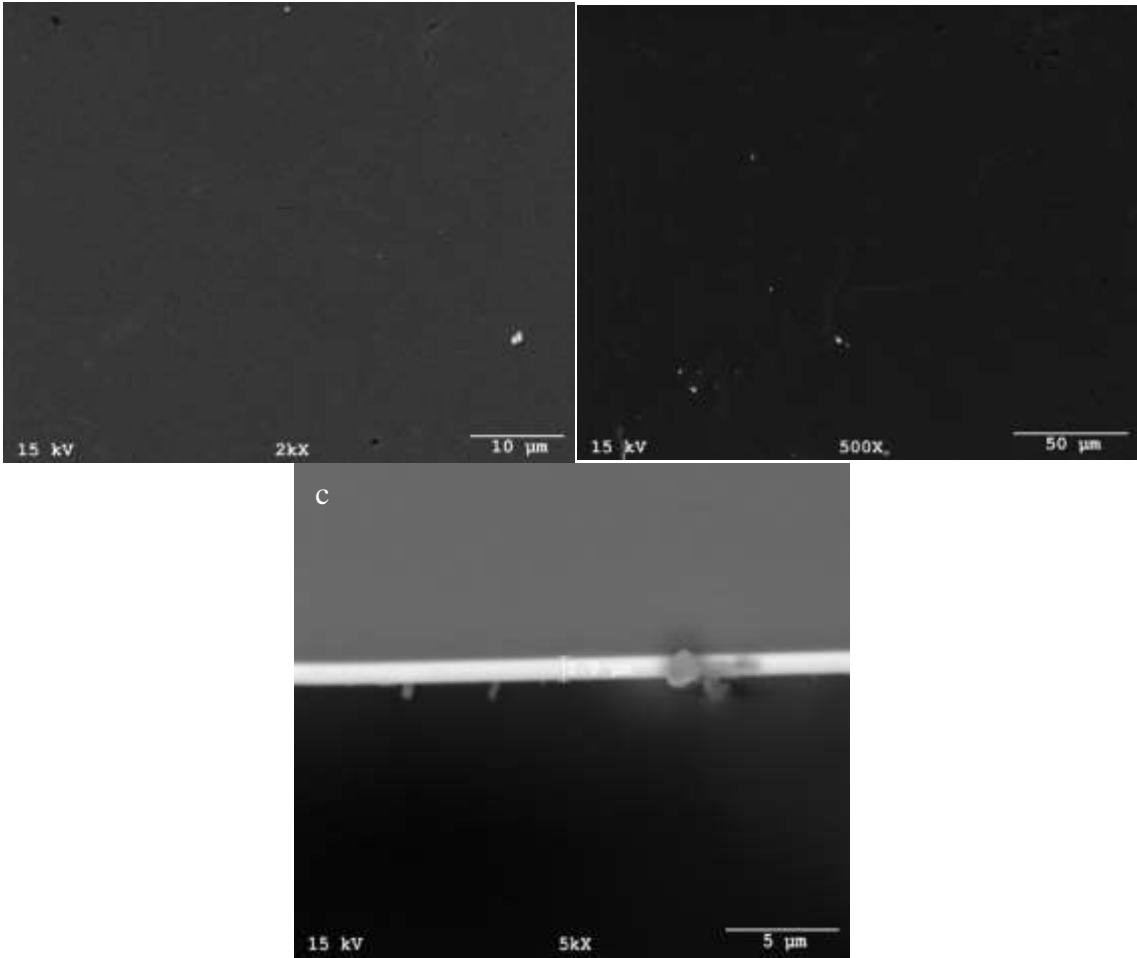


Şekil 4.23: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO₃ İnce Filmin 300 °C ısıtım işlem sonrasındaki (a) yüzey morfolojisi (500x), (b) yüzey morfolojisi (2000x) ve (c) ara kesit görüntüleri SEM görüntüleri

Deney 3 koşulu ile üretilen MoO₃ İnce filmin ısıtım işlem öncesi yüzey morfolojisinin SEM görüntüsü Şekil 4.5’de verilmiştir. Yüzeyde homojen bir dağılım söz konusudur. Kesit kalınlığı 900 nm boyutundadır. Belirgin tanecikli yapı görünmemektedir. Deney 1 ve Deney 2 ince filmlerinden kesit kalınlığı daha büyüktür. Tanecikli bir yapı oluşmamıştır.



Şekil 4.24: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ İnce Filmin ısııl işlem öncesi (a) yüzey morfolojisi, (b) ara kesit SEM görüntüleri



Şekil 4.25: Magnetron Sıçratma Tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ İnce Filmin 300°C ısııl işlem sonrasındaki (a) yüzey morfolojisi (2000x), (b) yüzey morfolojisi (500x) ve (c) ara kesit görüntüleri SEM görüntüleri SEM görüntüleri

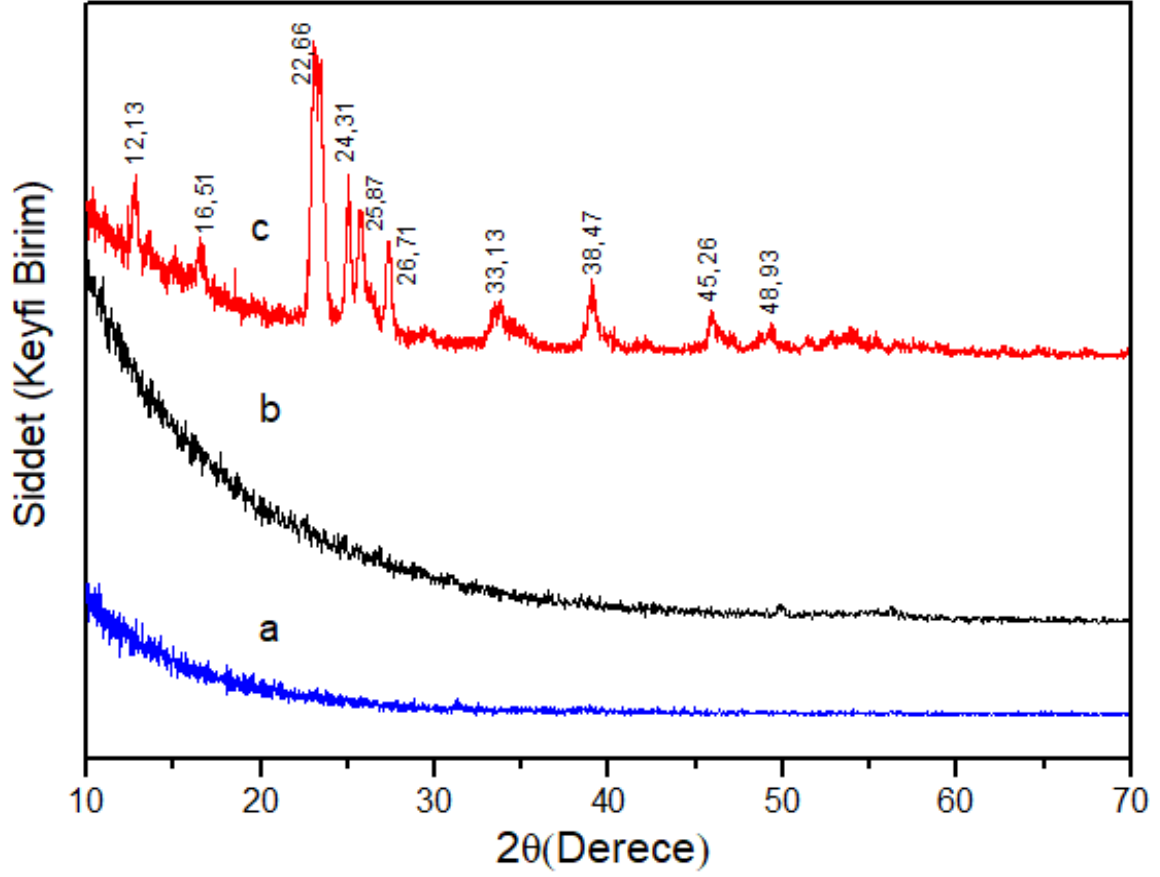
Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ İnce filmin 300°C ısıtma işlem sonrasında yüzey morfolojisini ve metal oksit kesit kalınlığı şekil 4.6'da incelendiğini homojen bir dağılım söz konusudur. Isıtma işlem sonrasında üretilen ince filmin kalınlığı değişmiş ve 1000 nm olarak ölçülmüştür. Isıtma işlem sonrasında tanecikli yapı oluşmamıştır. Deney 1 ve Deney 2 ısıtma işlem sonrasında oluşan tanecikli yapı Deney 3 parametresi ile üretilen MoO₃ ince filmde görülmemiştir.

Üç farklı deney parametresi ile üretilen MoO₃ İnce filmlerin yüzey morfolojisini ve metal oksit kesit kalınlığını incelediğinde farklı gaz iyonlarında üretilen ince filmlerin ısıtma işlem öncesi ve sonrasında kalınlık ve yüzeylerinde farklılıklar görülmüştür. Deney 1 ve Deney 2 koşullarında üretilen ince filmlerin 300 °C ısıtma işlem sonrasındaki yüzey morfolojisi farklıdır. Ancak homojen nano boyutlu tanecikleri görmemiz mümkün olmuştur. Deney 3 koşullarında üretilen ince filmleri İncelediğimizde bu farklılık daha büyüktür. Tanecikli yapı oluşmamıştır. Deney 1 ve Deney 2 Isıtma işlem sonrası tanelerin büyüdüğünü ve farklı gaz iyonlarında üretimin metal oksit yapısında değişikliğe neden olduğu görülmüştür.

Aynı zamanda sıcaklığında yapı düzelmesinde ve kalınlık artışında etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Farklı deney parametreleri altında üretilen MoO₃ ince filmlerin kalınlığı 1100 nm ve 600 nm boyutunda değişiklik göstermiştir.

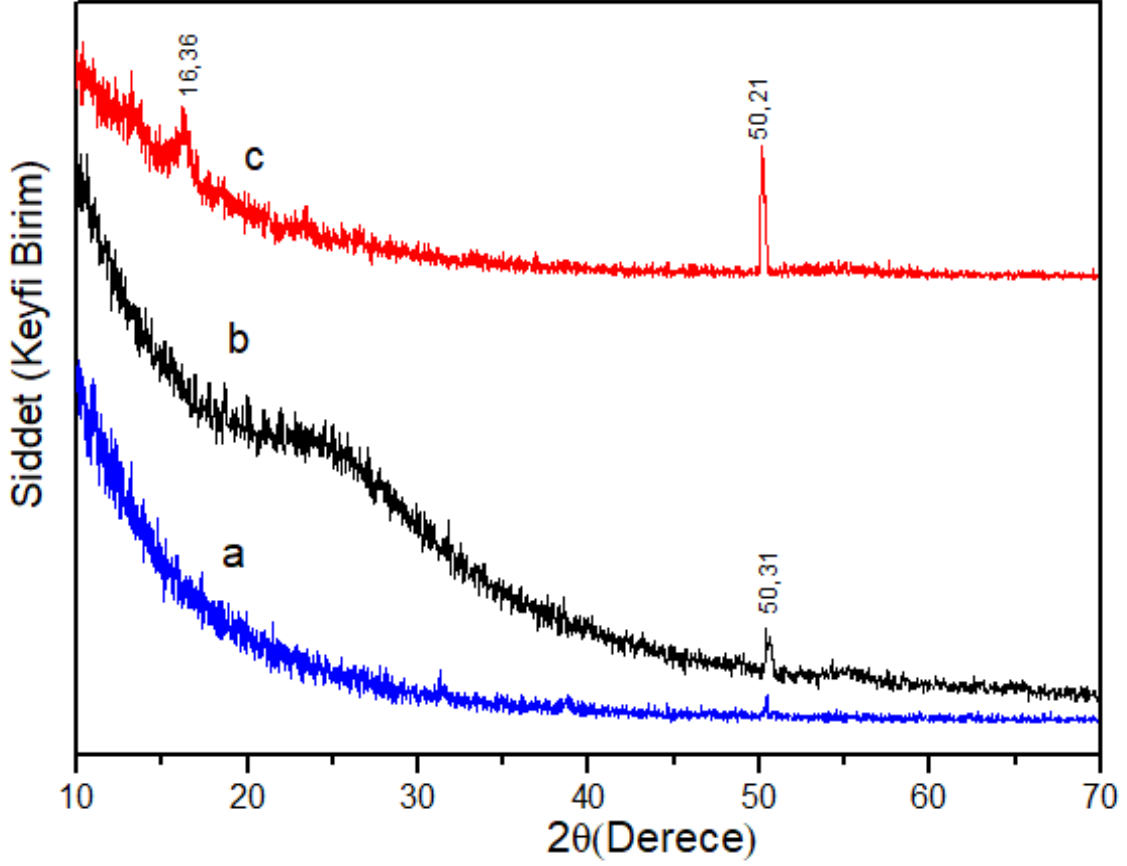
4.2. Üretilen MoO₃ İnce Filmlerin XRD Analizi

Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 koşullarında büyütülen MoO₃ ince filmlerin ısıtma işlem öncesi 200°C ısıtma işlem ve 300°C' deki ısıtma işlem sonrası XRD incelemeleri yapılmıştır. Oluşan piklerin değerleri belirtilmiştir. Aynı zamanda kristal büyüklükleri hesaplanmıştır.



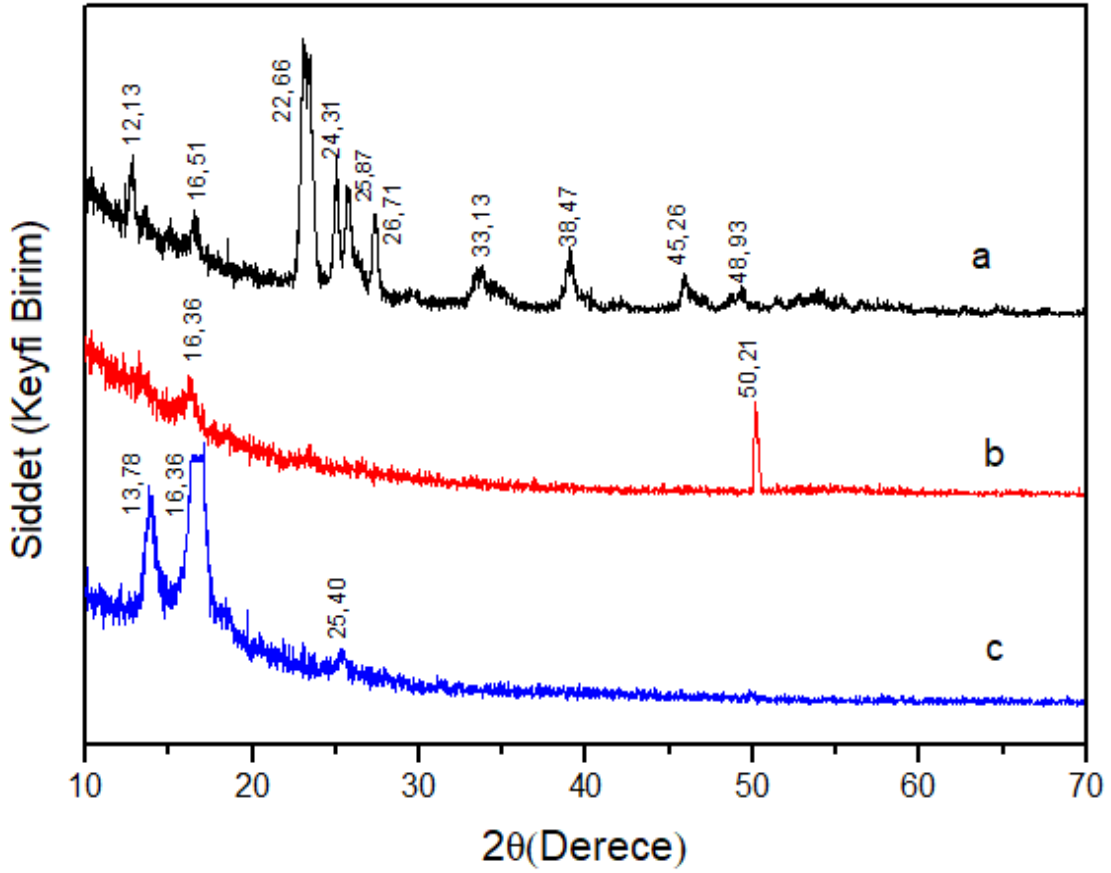
Şekil 4.26: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO_3 ince filmlerin (a) Isıl işlem öncesi (b) 200°C ısıl işlem sonrası ve (c) 300°C ısıl işlem sonrası XRD görüntüleri

Deney 1 parametresiyle üretilen MoO_3 ince filmin Şekil 4.7 (a)'da görüldüğü gibi ısıl işlem öncesi amorf yapıdadır. Herhangi bir pik görülmemektedir. Şekil 4.7 (b)'de ise 200°C sıcaklık kullanılarak uygulanan 60 dk'lık ısıl işlem sonrası küçük pik oluşumları görülmüştür. Yapı kristalleşmeye başlamıştır. Şekil 4.7 (c) 'deki 300°C 'de ısıl işlem sonrasında belirgin pikler oluşmuştur. Polikristal yapı Isıl işlem uygulanan ince filmlerin Şekil 26 (c) 12° , 16° , 22° , 24° , 25° , 26° , 33° , 38° , 45° ve 48° de 2θ tepe ile polikristal yapıda (020), (110), (120), (060), (002) yönelimindedir. 22° (110) yönelimi α -fazında ortarombik yapı oluşmuştur. Sıcaklık arttıkça kristal oluşumu gözlemlenmiştir.



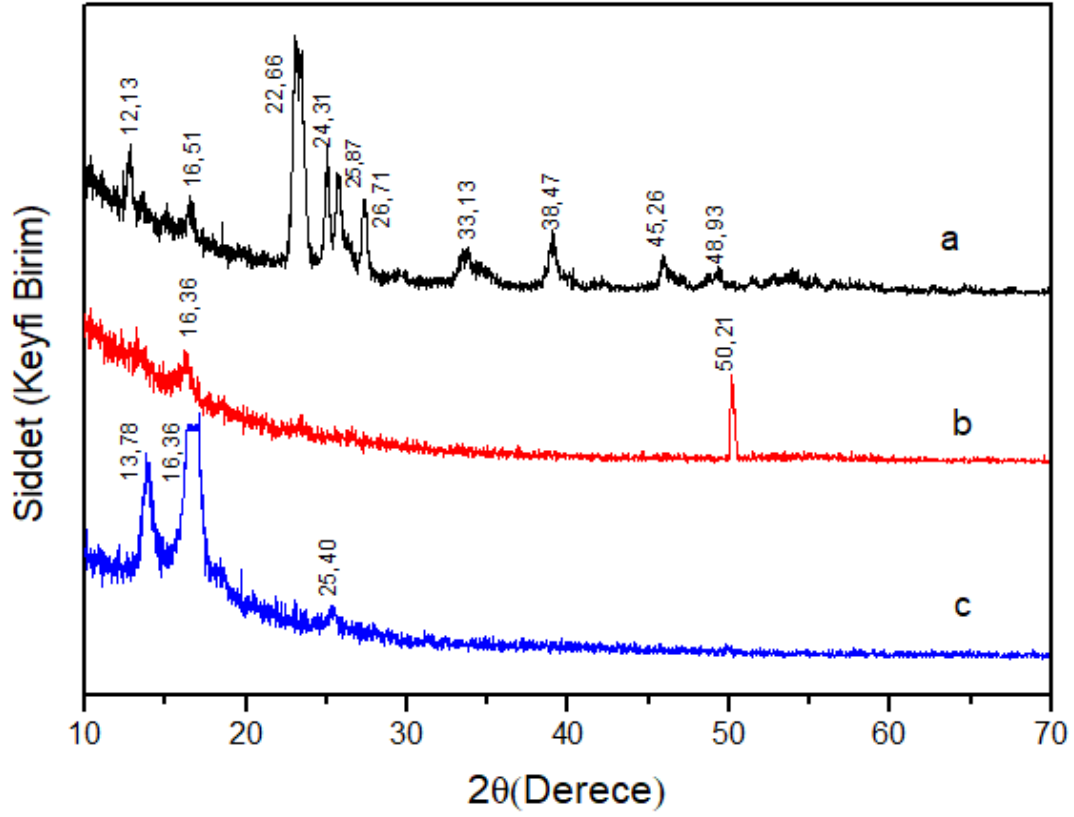
Şekil 4.27: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin (a) Isıl işlem öncesi (b) 200°C ısıl işlem sonrası ve (c) 300°C ısıl işlem sonrası XRD görüntüleri

Deney 2 parametresiyle üretilen MoO₃ ince filmin Şekil 4.8 (a)'da görüldüğü gibi Isıl işlem öncesi amorf yapıdadır. Şekil 4.8 (b) de ise 200 °C sıcaklık kullanılarak uygulanan 60 dk.'lık ısıl işlem sonrası küçük pik oluşumları görülmüştür. Şekil 4.8 (c) 'deki 300 °C 'de ısıl işlem sonrasında ise belirgin pikler oluşmuştur. Isıl işlem uygulanan ince filmlerin 13 °, 16 ° ve 50° de 2θ tepe ile polikristal yapıda (002) yönelimindedir. Deney 1 ince filmlere oranlar kristal oluşumu fazla değildir. Ancak yine de sıcaklık arttıkça kristal oluşumu gözlemlenmiştir



Şekil 4.28: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin (a) Isıl işlem öncesi (b) 200°C ısıtım sonrası ve (c) 300°C ısıtım sonrası XRD görüntüleri

Deney 3 parametresiyle üretilen MoO₃ ince filmin şekil 4.9 (a)'da görüldüğü gibi ısıtım işlem öncesi amorf yapıdadır. Şekil 4.9 (b) de ise 200 °C sıcaklık kullanılarak uygulanan 60 dk.'lık ısıtım sonrası pik küçük pik oluşumları görülmüştür. Ama belirgin değildir. Şekil 4.9 (c) 'deki 300 °C 'de ısıtım sonrasında ise belirgin pikler oluşmuştur. Isıtım işlem uygulanan ince filmlerin 13 °, 16 ° ve 25 ° de 2θ tepe ile polikristal yapıda (110) yönelimindedir. Deney 1 parametresi ile üretilen MoO₃ ince filmlere oranlar kristal oluşumu fazla değildir. Ancak yine de sıcaklık arttıkça kristal oluşumu gözlemlenmiştir



Şekil 4.29: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b)Deney 2 ve (c) Deney 3 parametreleri altında büyütülen ince filmlerin 300°C ısıl işlem sonrası XRD görüntüleri

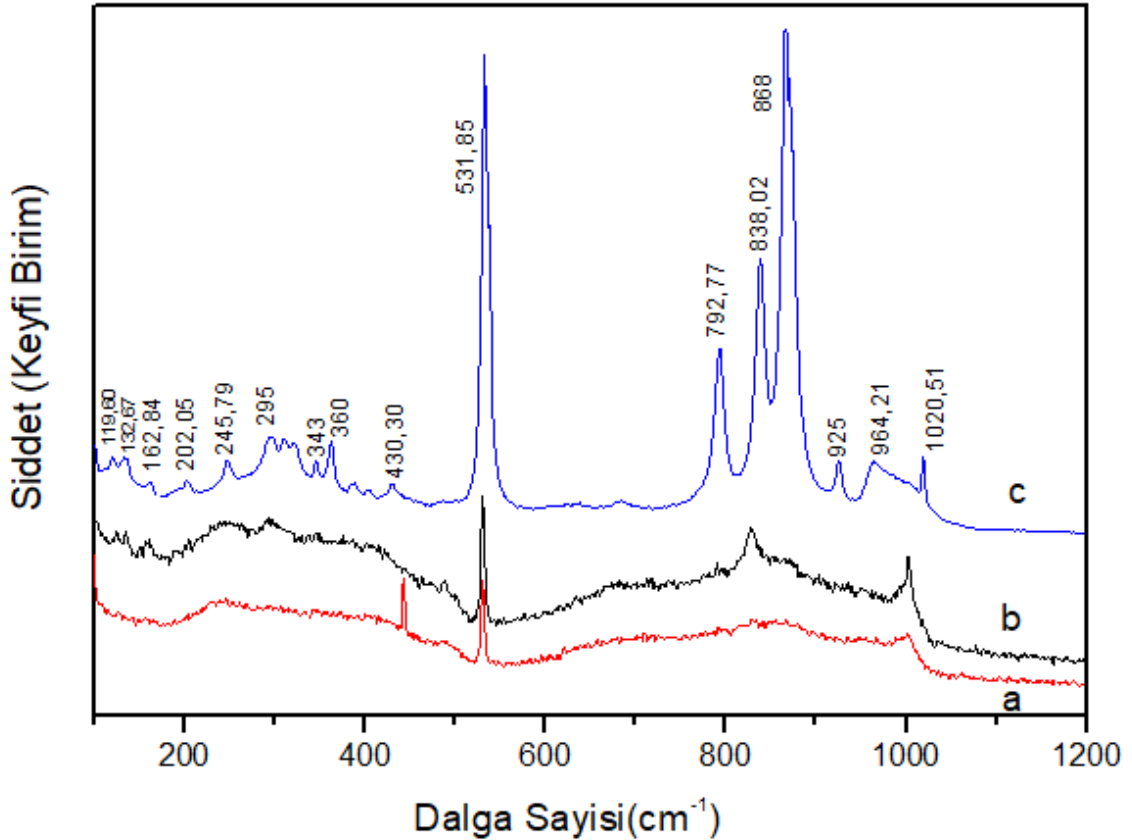
Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 parametreleri ile üretilen MoO₃ İnce filmlerin 300 °C ısıl işlem sonrası XRD desenleri Şekil 30’da gösterilmiştir. Farklı gaz iyonlarının kristal oluşumunda etkili olmuştur. Deney 1 parametresi ile oluşturulan MoO₃ ince filmin kristal oluşum, Deney 2 ve Deney 3 ince filmlere oranla daha düzgün bir yapı oluştuğu görülmüştür. Literatür incelendiğinde oluşan pikler MoO₃ ince film yapısına uyumlu çıkmıştır. α -MoO₃ kararlı fazın oluşumu için filmlerin büyüme ortamı önemlidir. Oksijen miktarındaki artış ve sıcaklık etkisiyle saf α -MoO₃ yönelimine uygun yapı çıkmıştır. Farklı faz oluşumu gözle gelmemektedir.

Çizelge 4.1: Magnetron sıçratma tekniği ile farklı koşullarda üretilen MoO₃ ince filmlerin 300oC ısıtım sonrası kristal büyüklükleri

Koşul	2θ(Derece)	D(nm)
Deney 1	22.66	54
Deney 2	50.21	35
Deney 3	16.36	55

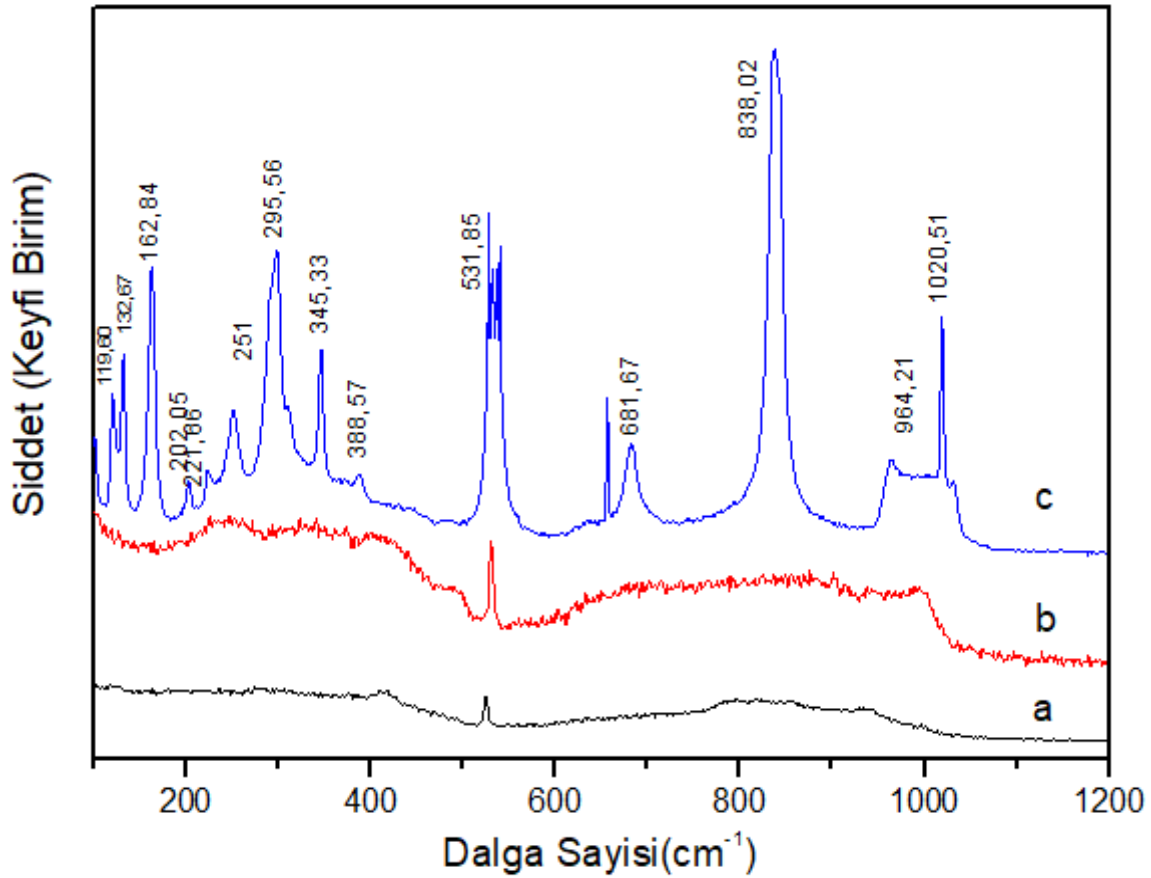
4.4. Üretilen MoO₃ İnce Filmlerin Raman Analizi

Farklı deney parametreleri altında magnetron sıçratma tekniği ile büyütülen MoO₃ ince filmlerin ısıtım öncesi, 200°C ısıtım ve 300°C’deki ısıtım sonrası Raman incelemeleri yapılmıştır. Oluşan piklerin değerleri belirtilmiştir.



Şekil 4.30: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin (a) ısıtım öncesi, (b) 200°C ısıtım sonrası ve (c) 300°C ısıtım sonrası Raman görüntüleri

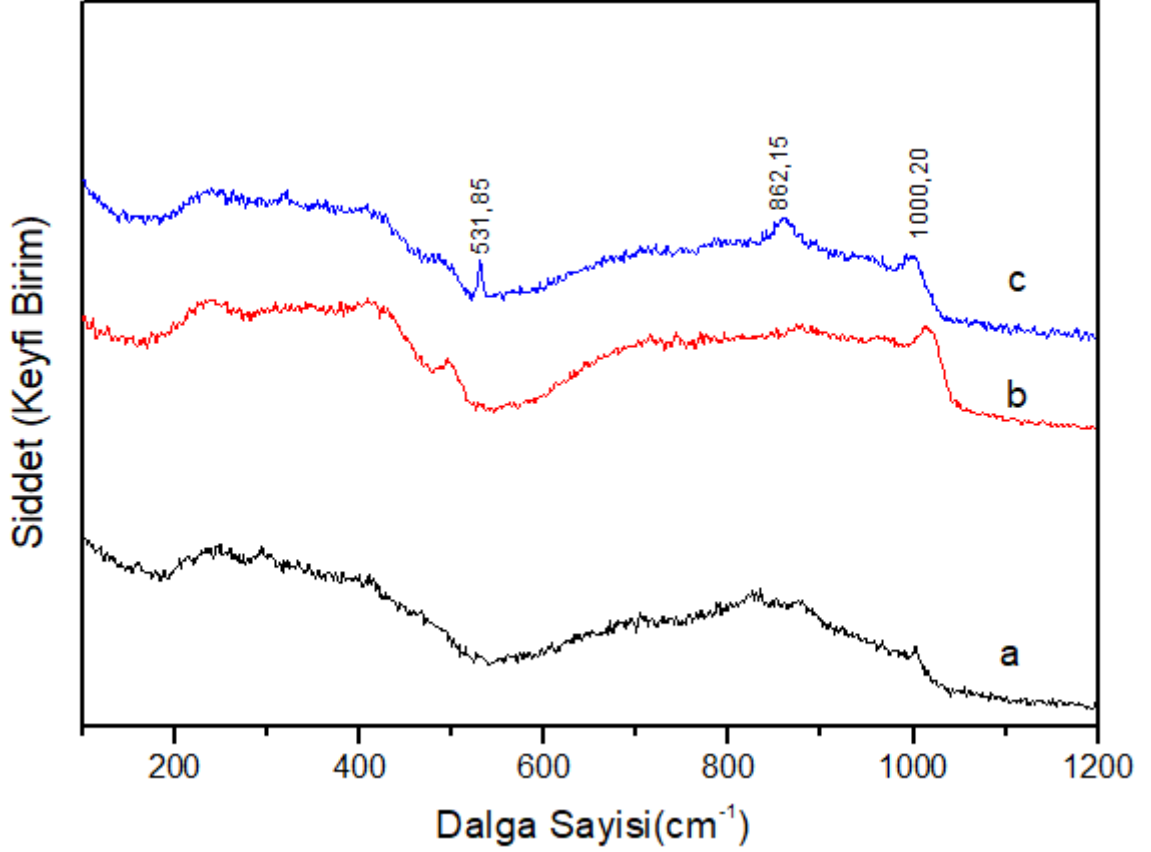
Deney 1 parametresi ile üretilen MoO₃ ince film Şekil 4.11 (a)'da görüldüğü gibi Isıl işlem öncesi amorf yapıdadır. Şekil 4.11 (b) de ise 200 °C sıcaklık kullanılarak uygulanan 60 dk.'lık ısıtma işlemi sonrası pik küçük pik oluşumları görülmüştür. Şekil 4.11 (c)'de ısıtma işlemi 300°C olarak belirlenen ince filmlerin raman görüntülerinde literatür ile uyumlu pik oluşumları görülmektedir. İnce filmlerin 100 – 1200 cm⁻¹ aralığında literatür ile uyumlu raman spektrumu görülmektedir. Pikler α-fazında MoO₃ 'te uyumludur ve ortorombik yapıdadır. Pik uzaması 525-532 cm⁻¹ aralığında ve Mo-O-Mo titreşim karakteristiğindedir. Aynı şekilde 868 cm⁻¹ piki Mo=O=Mo titreşim karakteristiğindedir.



Şekil 4.31: Magnetron sputting tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin (a) Isıl işlem öncesi, (b) 200°C ısıtma işlemi sonrası ve (c) 300°C ısıtma işlemi sonrası Raman görüntüleri

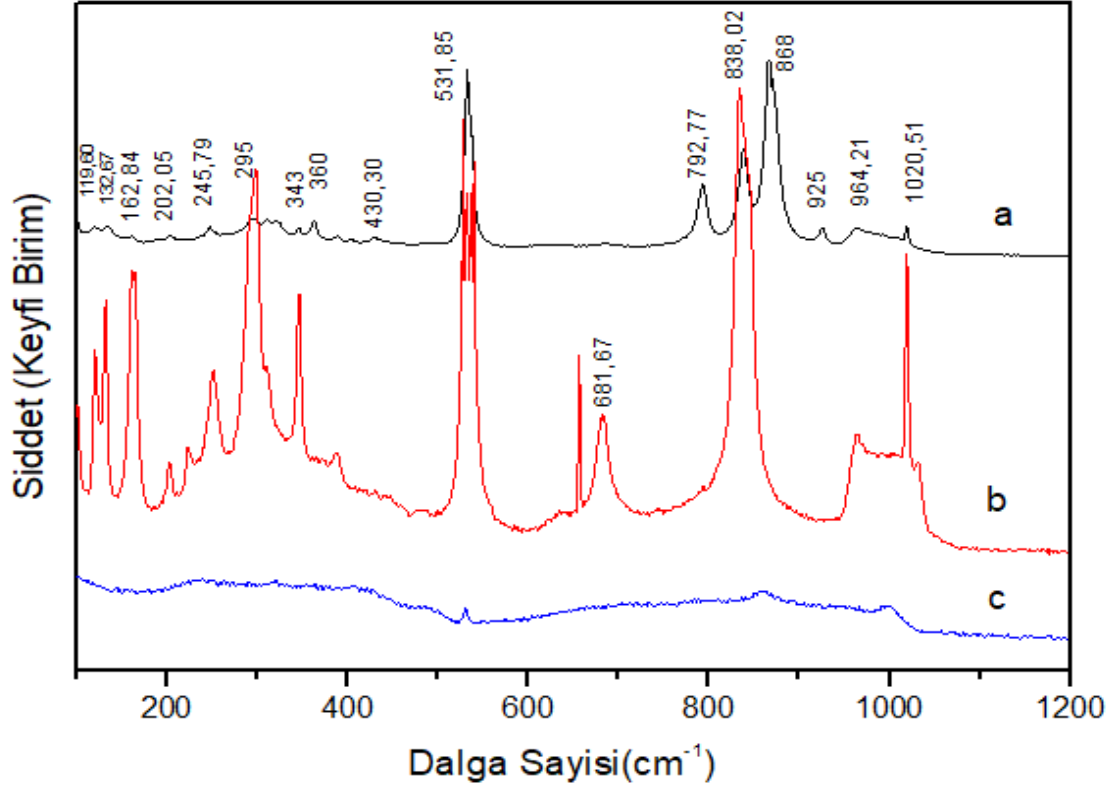
Deney 2 parametresi ile üretilen MoO₃ ince film Şekil 4.12 (a)'da görüldüğü gibi Isıl işlem öncesi amorf yapıdadır. Şekil 4.12 (b)'de ise 200°C sıcaklık kullanılarak uygulanan 60 dk.'lık ısıtma işlemi sonrası pik küçük pik oluşumları görülmüştür. Isıl işlemi 200°C olarak

belirlenen ince filmlerin raman görüntülerinde farklı pik oluşumları görülmektedir. İnceleme ince filmlerin 100 – 1200 cm^{-1} aralığında literatür ile uyumlu raman spektrumu görülmektedir. Pikler α -fazında MoO_3 'te uyumludur ve ortorombik yapıdadır. Maksimum pik uzaması 525-532 cm^{-1} aralığında ve Mo-O-Mo titreşim karakteristiğindedir. 868 cm^{-1} piki Mo=O=Mo titreşim karakteristiğindedir



Şekil 4.32: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO_3 ince filmlerin (a) Isıl işlem öncesi, (b) 200°C ısıl işlem sonrası ve (c) 300°C ısıl işlem sonrası Raman görüntüleri

Deney 3 parametresi koşulları ile üretilen ince filmin pik oluşumu vardır. Ancak tam pikler oturmamaktadır. Ancak karakteristik olan 531 cm^{-1} piki ısıl işlem sonrası belirgin şekilde görülmüştür.



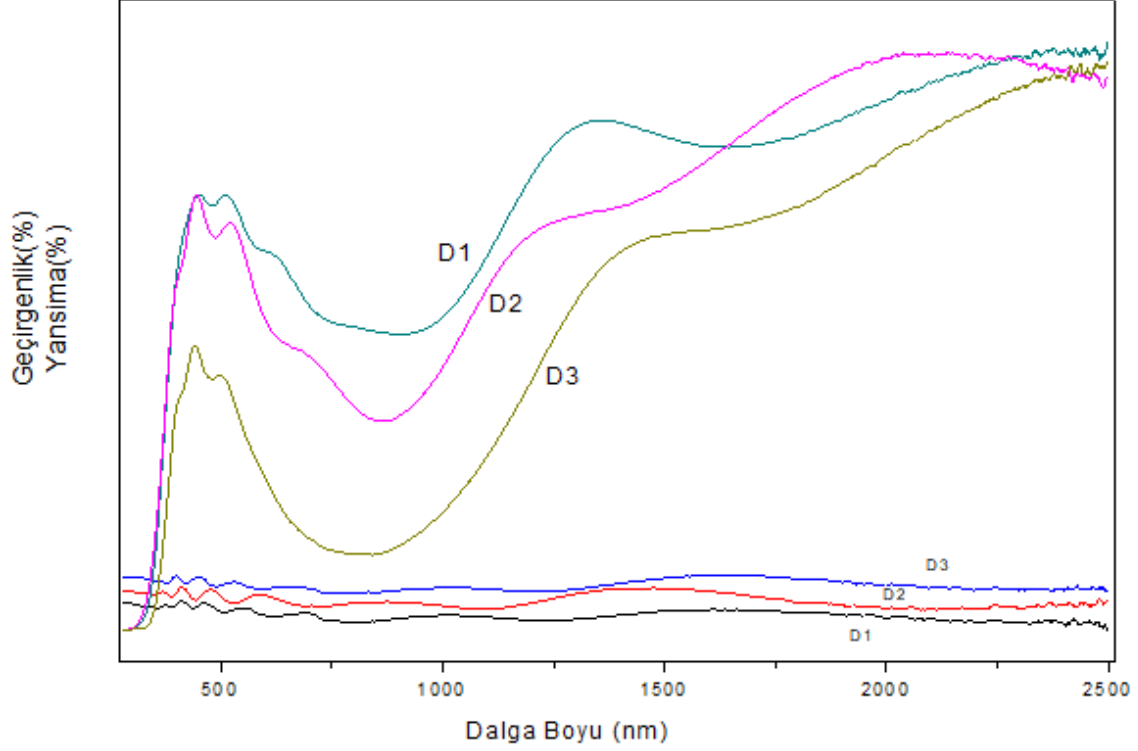
Şekil 4.33: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b)Deney 2 ve (c) Deney 3 parametreleri altında büyütülen ince filmlerin 300°C ısıl işlem sonrası Raman görüntüleri

Farklı gaz iyonları altında üretilen MoO₃ metal oksit ince Raman görüntüleri Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Şekil 4.14 (a) Deney 1 koşullarında üretilen ince filmin raman pikleri literatür ile uyumludur. Pik uzaması 525-532 cm⁻¹ ve 868 cm⁻¹ karakteristik çizgi MoO₆ oluşumuna uygundur. Şekil 4.14 (b) de inceleme ince filmlerin 200 – 1200 cm⁻¹ aralığında literatür ile uyumlu raman spektrumu görülmektedir. Pikler α -fazında MoO₃ ‘te uyumludur. Şekil 4.14 (b) Deney 2 koşulunda üretilen ince filmin maksimum pik uzaması 525-532 cm⁻¹ aralığında ve Mo-O-Mo titreşim karakteristiğindedir. Şekil 4.14 (c) Deney 3 parametresi ile üretilen ince filmin pik oluşumu vardır. Şekil 4.14 (c)’de 1000 cm⁻¹ olarak ölçülmüştür.

Yapılan Raman spektroskopisi analizleri sonucunda bütün deney koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin raman spektrum karakteristikleri genel olarak uyumludur.

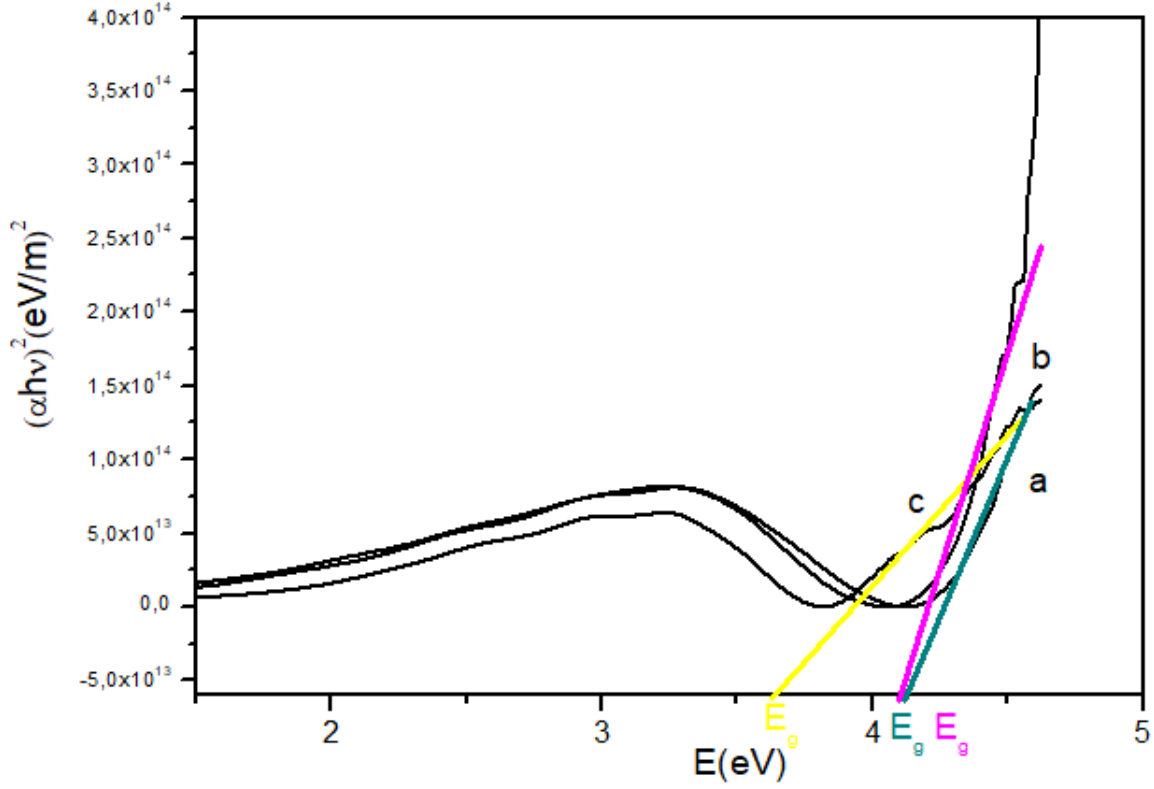
4.4. İnce Filmlerin Optik özelliklerinin İncelenmesi

Magnetron Sıçratma tekniği kullanılarak farklı deney koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin optik özellikleri incelenmiştir.



Şekil 4.34: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 (D1), Deney 2 (D2), Deney 3 (D3) koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin Geçirgenlik ve Yansıtma görüntüleri

Üretilen MoO₃ ince filmlerin geçirgenlik ve yansıtma görüntüsü Şekil 4.15'de verilmiştir. İletim ve yansıtma eğrileri aynı şekle sahiptir. Sıcaklık ve oksijen koşullarına bağlı olarak iletim ölçümleri yansıtma ve optik absorpsiyonu farklı değer almaktadır. 400 ile 2500 cm⁻¹ arasında spektrum aralığında değerler gösterilmiştir. 400-750 cm⁻¹'lik bölgedeki dalgalanmalar oluşmuştur. Geçiş metal oksitinin, metal -oksijen karakteristik bağ yapısına uygun bir görüntü mevcuttur. Mo-O bağının titreşimi oluşmuştur.



Şekil 4.35: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin Enerjiye karşın soğurma kat sayısının karesi grafiği ve elde edilen bant aralığı miktarı

Geçirgenlik ve yansıma verilerine istinaden absorpsiyon katsayısı hesaplanıp, yasak enerji bant aralığı değeri belirlenmiştir. Literatür araştırıldığında MoO₃ filmler doğrudan bant geçişi ile iletim sağlamaktadır. Şekil 4.16’de yasak enerji bant (E_g) grafiği görülmektedir. Farklı oksijen gaz akışı altında üretilen MoO₃ ince filmlerin değerlerinde oksijen artışın bağlı olarak değişim göstermektedir. Bant boşluğunda azalması ve uzun dalga boyu bölgesinde emilimin artması filmlerde fazla oksijen iyonu boşluğunun olduğunu göstermektedir. Sayısal değeri hesaplanarak, farklı deney koşullarına göre Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Optik yasak bant enerjilerinin direkt veya indirekt olarak sınıflandırılır. Geçirgenlik değerleri kullanılarak Beer Lambert yasası ile hesaplama yapılır.

$$I=I_0e^{-\alpha x} \quad (4.4.1)$$

Burada, α ince filmin soğurma katsayısını, I_0 filme gelen ışık şiddetini, I filmde geçen ışık şiddetini, x ise ışığın film içerisinde aldığı toplam yolu ifade etmektedir. Burada x değeri, geçirgenlik deneylerinde ışığın tüm ince film içinden geçerek karşıdaki dedektöre ulaşmasından

dolayı filmin kalınlığıdır. Bu yasa kullanılarak filmlerin her bir dalga boyu değerindeki soğurma katsayıları hesaplanır,

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{1}{I_0}\right) = \frac{1}{x} \ln\left(\frac{\%T}{100}\right) \quad (4.4.2)$$

Burada %T, geçirgenlik deneyleri sonucu elde edilen yüzde geçirgenlik değeridir.

Soğurma katsayıları (α) hesaplanan ince filmler için, Tauc denklemini kullanarak yasak enerji bant aralığı hesaplanabilir.

$$(\alpha h\nu) = B(h\nu - E_g)^p \quad (4.4.3)$$

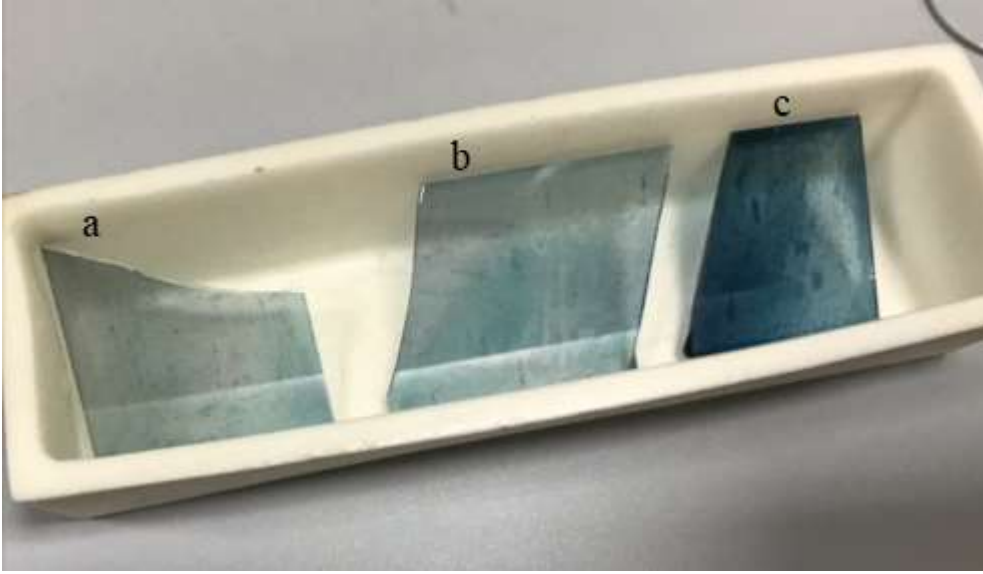
Burada $h\nu$ gelen ışığın enerjisi, E_g filmlerin yasak enerji bant aralığı değeri, B enerji seviyeleri arasında geçiş olasılığını ifade eden birimsiz bir sabit ve p ise değeri doğrudan geğişler için 0,5, dolaylı geğişler için 2 olan birimsiz bir sabittir

$$(\alpha h\nu) = B(h\nu - E_g)^2$$

Çizelge 4.2: Magnetron sıçratma tekniği ile farklı koşullarda üretilen MoO₃ ince filmlerin 300 °C ısıtma işlemi yasak bant aralıkları

Deney	Oksijen (%)	Bant Aralığı (eV)
Deney 1	50	4,10
Deney 2	60	4,08
Deney 3	70	3,64

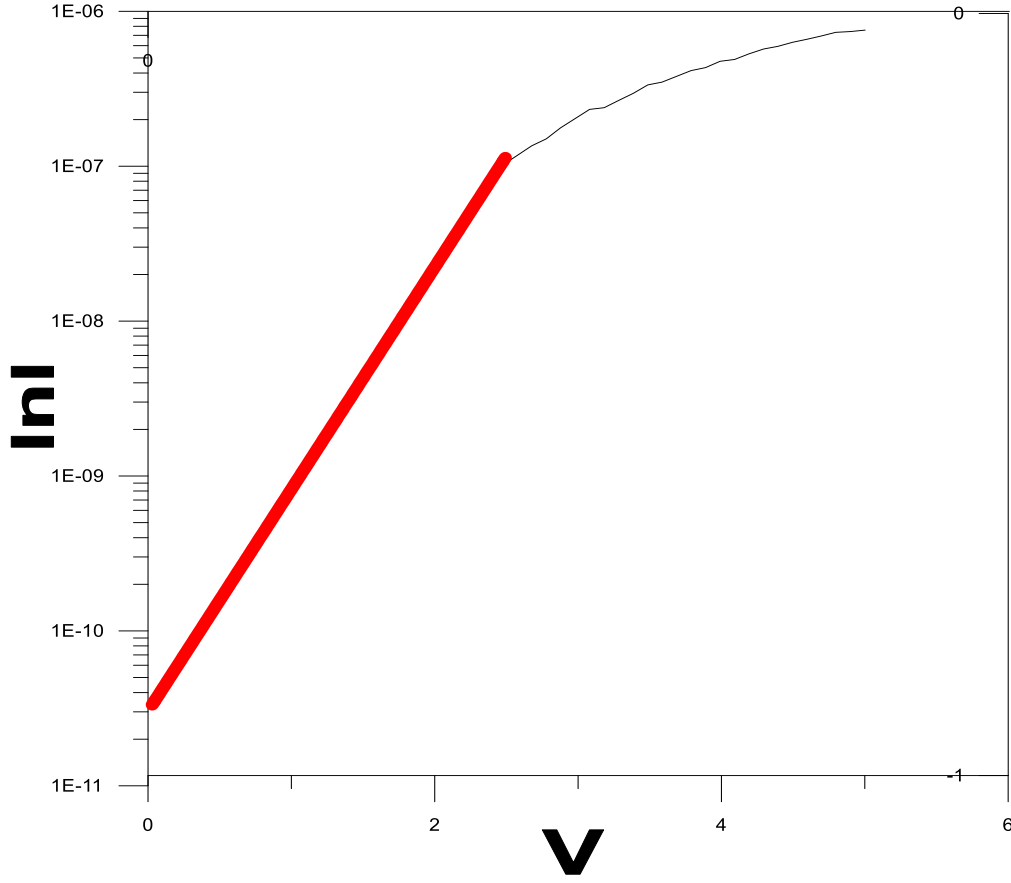
Magnetron sıçratma tekniği ile farklı koşullarda üretilen MoO₃ ince filmlerin renkleri oksijen ve sıcaklığa bağlı olarak mavimsi renk almıştır.



Şekil 4.36: Magnetron sıçratma tekniği ile (a) Deney 1, (b) Deney 2 ve (c) Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin 300°C ısıl işlem sonrası görüntüsü

4.5. Üretilen MoO₃ İnce Filmlerin Elektriksel Özelliklerinin İncelenesi (I-V Grafikleri)

Magnetron sıçratma tekniği ile farklı deney koşullarında üretilen MoO₃ doğru ve ters besleme geriliminde yapılan akım-gerilim ölçümlerinde ince filmlerin diyot parametreleri olan idealite faktörü ve bariyer yüksekliği parametreleri belirlenmiştir. Saturasyon akımı ve hesaplanan idealite faktörü, bariyer yüksekliği Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.37: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin 300 °C ısıtıl işlem sonrası I-V grafiği

Diyot parametrelerinin hesaplanmasında;

İdeal diyot için sırası ile diyot üzerinden geçen akım denklemi;

$$I = I_0 \left(e^{qV/kT} - 1 \right) \quad (4.5.1)$$

idealite sabiti;

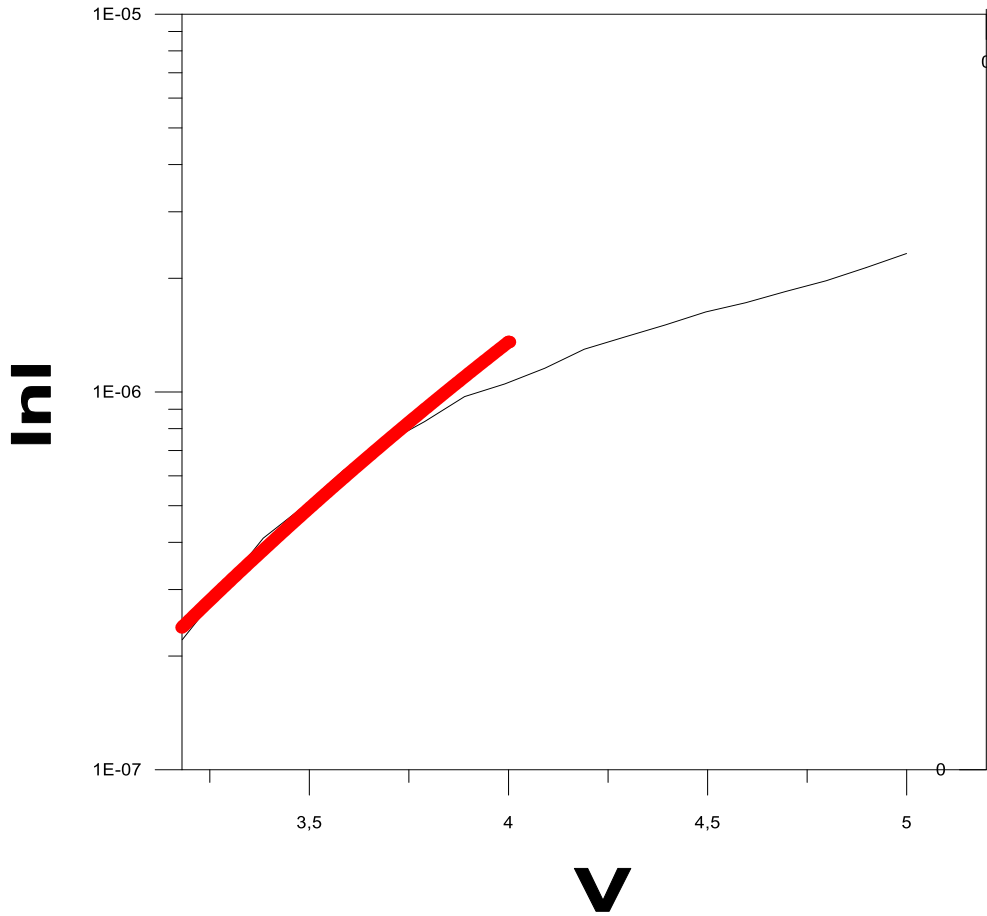
$$\eta = \frac{q}{AkT} \quad (4.5.2)$$

bariyer yüksekliği;

$$\phi_B = -\frac{kT}{q} [\ln I_0 - \ln(S \times A^{**} \times T^2)] \quad (4.5.3)$$

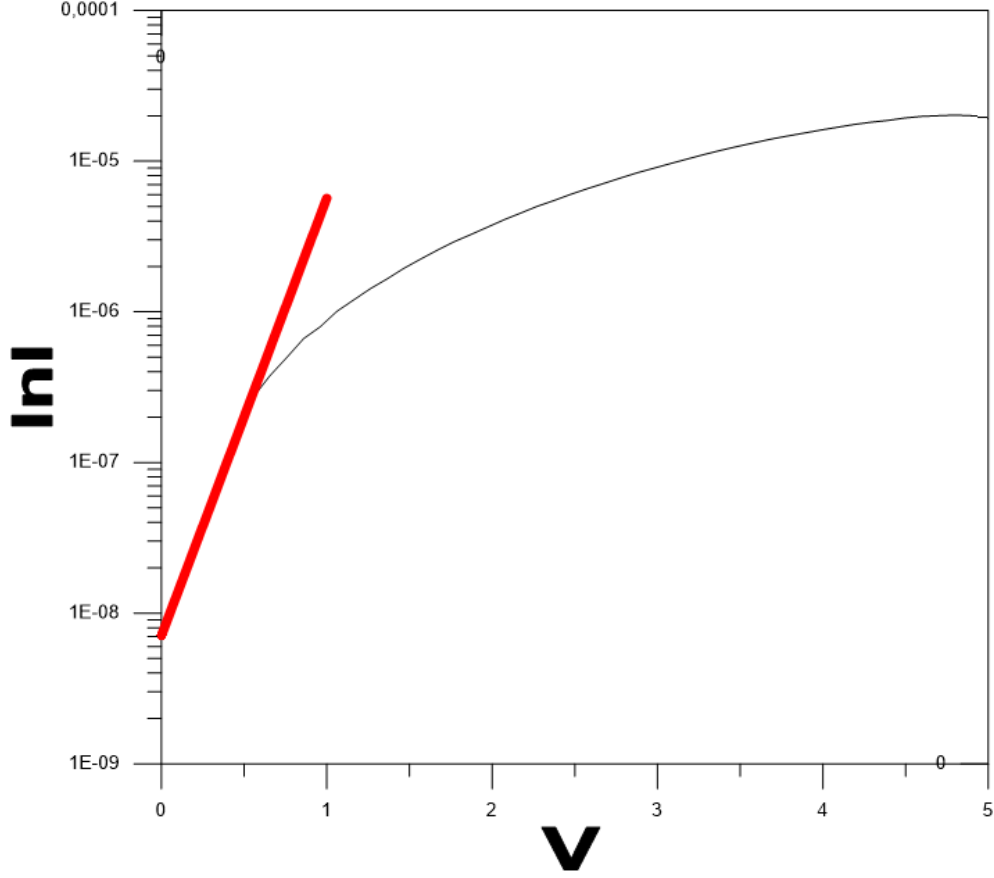
olarak verilir. Burada q , elektronun yükü, k , Boltzman sabiti; A , $\log I-V$ eğrisini lineer kısmının eğimi; ϕ_B , bariyer yüksekliği; A^{**} , Richardson sabitidir.

Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen ince filmler 300°C ısıtım işlem sonrası akım- gerilim grafiği şekil 4.18'de verilmiştir. İdealite faktörü (η), bariyer yüksekliği (ϕ_B) denklem (4.5.2) ve (4.5.3) kullanılarak hesaplanmıştır. MoO_3 ince filmin idealite faktörü (η) ve bariyer yüksekliği (ϕ_B) sırasıyla 0,56 ve 12,87 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.38 : Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO_3 ince filminin 300°C ısıtım işlem sonrası I-V grafiği

Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen ince filmler 300°C ısıtım işlem sonrası akım- gerilim grafiği şekil 4.19'da verilmiştir. İdealite faktörü (η), bariyer yüksekliği (ϕ_B) denklem (4.5.2) ve (4.5.3) kullanılarak hesaplanmıştır MoO_3 ince filmin idealite faktörü (η) ve bariyer yüksekliği (ϕ_B) sırasıyla 0,61 ve 5,606 eV olarak hesaplanmıştır



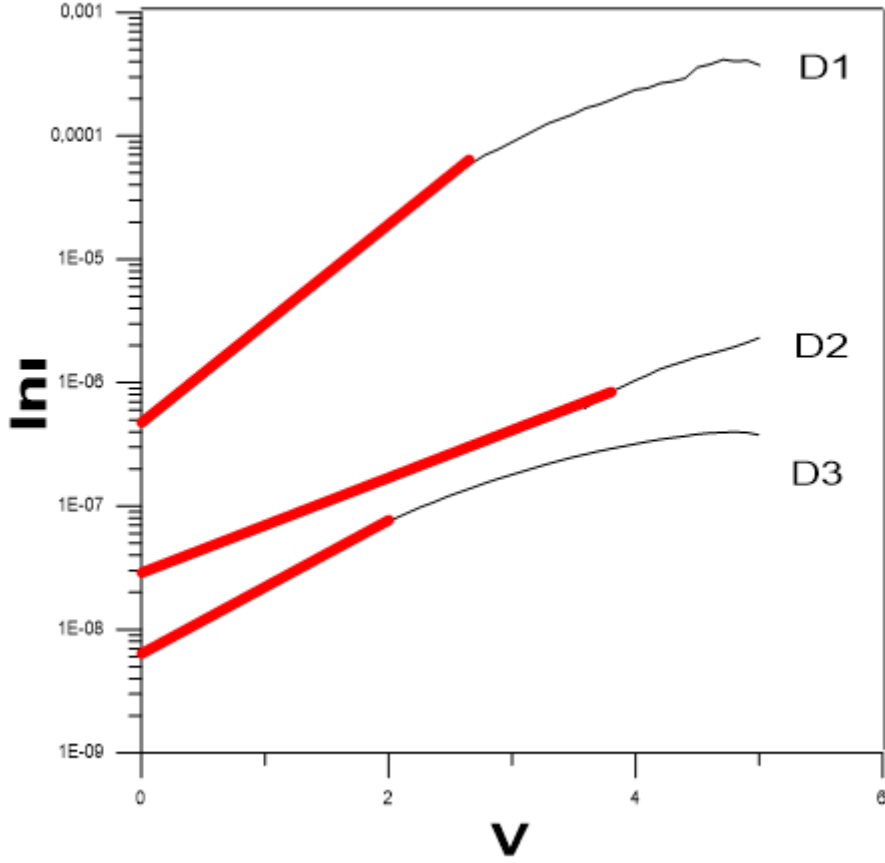
Şekil 4.39: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO_3 ince filminin $300\text{ }^\circ\text{C}$ ısıl işlem sonrası I-V grafiği

Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen ince filmler $300\text{ }^\circ\text{C}$ ısıl işlem sonrası akım- gerilim grafiği şekil 4.20'da verilmiştir. İdealite faktörü (η), bariyer yüksekliği (ϕ_B) denklem (4.5.2) ve (4.5.3) kullanılarak hesaplanmıştır MoO_3 ince filmin idealite faktörü (η) ve bariyer yüksekliği (ϕ_B) sırasıyla 0,69 ve 6,36 eV olarak hesaplanmıştır.

İdeal bir diyot için idealite faktörü 1 olmalıdır ($\eta = 1$), fakat elde edilen değerler bu hibrit heteroeklemlerin ideal olmayan bir diyot davranışı sergilediği görülmektedir.

İdealite faktörünün çıkan sonuçlarına baktığımızda yüksek değerler söz konusudur. Homojen olmayan bir eklem bariyerini veya organik-inorganik yarıiletkenlerin kontak bölgesinde

oluşmuş ara yüzey durumlarını ve seviyelerini işaret eder. Diyot idealite faktörü yük taşıyıcılarının rekombinasyonları ile direkt ilgilidir.

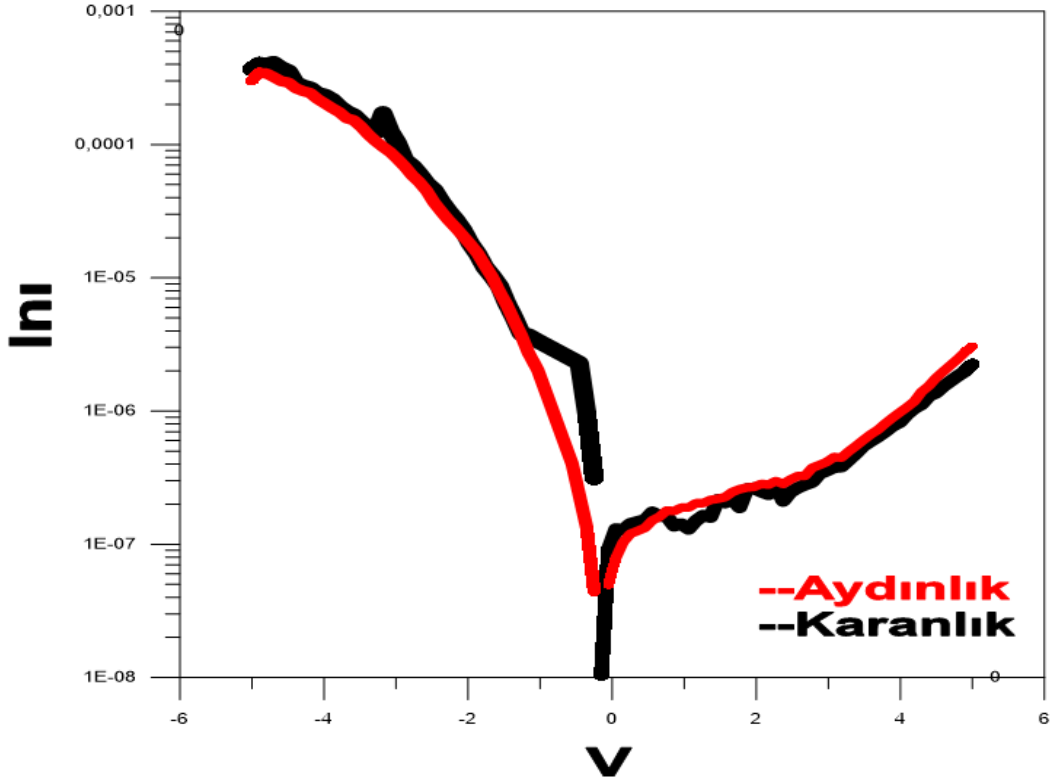


Şekil 4.40: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1, Deney 2 ve Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin 300 °C ısıtma işlemi sonrası I-V grafiği

Çizelge 4.3: Magnetron sıçratma tekniği ile farklı deney koşullarında büyütülen MoO₃ ince filmlerin idealite ve bariyer yüksekliği değerleri

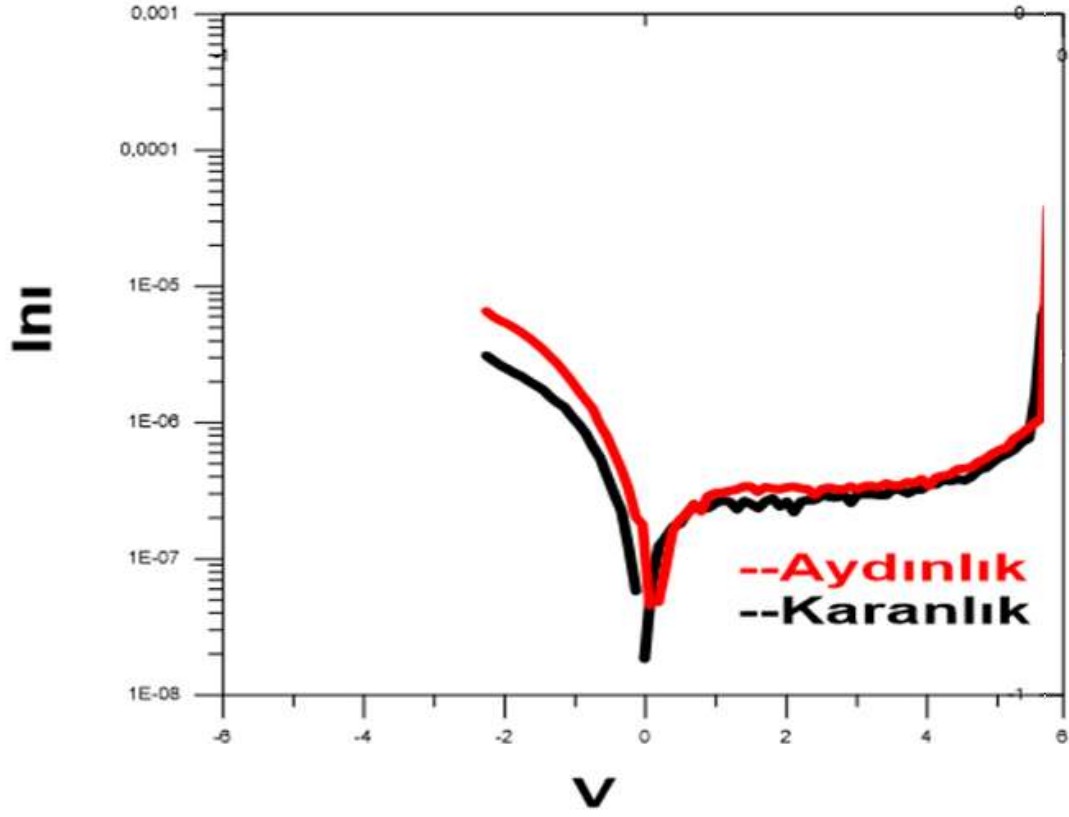
Deney	Bariyer Yüksekliği (Φ_B) (eV)	İdailete Faktörü (η)	Saturasyon Akımı (I_0)
Deney 1	0,56	12,87	$3,026 \cdot 10^{-11}$
Deney 2	0,61	5,606	$3,69 \cdot 10^{-11}$
Deney 3	0,69	6,36	$7,09 \cdot 10^{-9}$

Magnetron sıçratma tekniği ile farklı deney koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin karanlık ve aydınlık ortamda akım-gerilim karakteristikleri ölçülmüştür. Alınan ölçüm verileri ile akım-gerilim grafikleri çizilmiştir. şekil 4.21’de Farklı deney koşullarında üretilen ince filmlerin farklı oksijen oranlarına göre idelite faktör değerleri belirlenmiştir. Minimum ideallik 5,606 eV ile Deney 2 parametresi ile üretilen MoO₃ ince filmine ait olduğu belirlenmiştir.



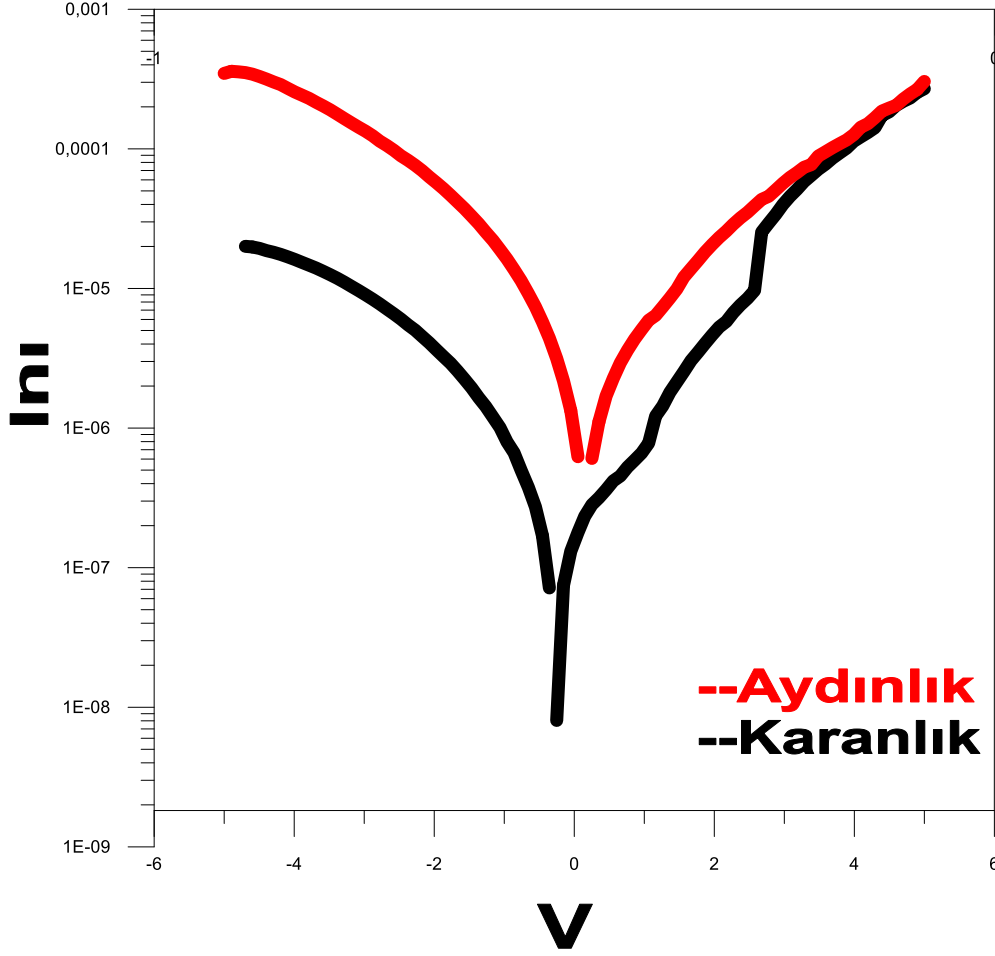
şekil 4.41: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 1 koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin 300 °C ısıtılma işlemi sonrası Aydınlık ve Karanlık ölçüm grafiği

şekil 4.22’de Deney 1 parametresi ile üretilen MoO₃ ince filmin karanlık ve aydınlık ortamda ışık kaynağının diyot özelliği incelenmiştir. İleri ve ters yönde akım -4 V ve 4 V arasındadır.



Şekil 4.42: Magnetron sızratma tekniği ile Deney 2 koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin 300 °C ısıl işlem sonrası Aydınlık ve Karanlık ölçüm grafiği

Şekil 4.23'de Deney 2 parametresi ile üretilen MoO₃ ince filmin karanlık ve aydınlık ortamda ışık kaynağının diyot özelliği incelenmiştir. İleri ve ters yönde akım -4 V ve 4 V arasındadır



Şekil 4.43: Magnetron sıçratma tekniği ile Deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ ince filminin 300 °C ısıtım işlemi sonrası Aydınlık ve Karanlık ölçüm grafiği

Şekil 4.24'de Deney 3 parametresi ile üretilen MoO₃ ince filmin karanlık ve aydınlık ortamda ışık kaynağının diyot özelliği incelenmiştir. İleri ve ters yönde akım -4 V ve 4 V arasındadır.

MoO₃ /c-Si, hetero eklemlerin elektriksel özellikleri oda sıcaklığında karanlık ve aydınlık koşullarda akım gerilim ölçümleri ile incelenmiştir. Bu hetero eklemlerin I-V karakteristiklerinden doğrultma özelliklerinin olduğu ve bir diyot davranışı sergilediği belirlenmiştir. Doğru yöndeki gerilim altında diyot parametrelerinden idealite faktörü ve bariyer yükseklikleri hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR

MoO₃ ince filmlerin polikristal yapıda ve fazında oldukları belirlenmiştir. Büyütülen ince filmlerin x ışınları deseninde ısıtma işlem sonrasında belirgin pik oluşumu gözlemlenmiştir. Polikristal yapı ısıtma işlem uygulanan ince filmlerin de 2θ 12 °, 16 °, 22 °, 24 °, 25°, 26°, 33 °, 38 °, 45 ° ve 48 ° (020), (110), (120), (060), (002) yöneliminde düzlemler görülmektedir. Bu pikler arasında (110) yönelimi 100 pikine karşılık gelip en karakteristik pikidir. MoO₃ ince filmlerin ortarombik kristal yapıda olduğu görülmüş Ve tane boyutlarının nano yapıda olduğu hesaplanmıştır.

Raman Spektrumları incelendiğinde ısıtma işlem öncesinde amorf yapı gözlemlenmiştir. ısıtma işlem sonrasında özellikle 300° C 'de belirgin raman pik oluşumu vardır. İnce filmlerin 100 – 1200 cm⁻¹ aralığında literatür ile uyumlu raman spektrumu görülmektedir.

Magnetron sıçratma tekniği ile üretilen MoO₃ ince filmlerin XRD ve Raman analizi sonuçlarında sonucunda yapısal özelliklerinde deney parametrelerinden oksijen miktarı ve tavlama sıcaklığının kritik parametreler olduğu belirlenmiştir.

Üretilen MoO₃ ince filmlerin optik özellikleri 400 ile 2500 cm⁻¹ aralığında geçirgenlik spektrumundan elde edilmiştir. Buradan hesaplanan yasak bant değerleri göz önüne alındığında oksijen miktarının artmasıyla oksit yasak bant aralığı azalmıştır. Burada filmlerin yarı iletken özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir.

MoO₃ /c-Si, heteroeklemlerin elektriksel özellikleri oda sıcaklığında karanlık ve aydınlık koşullarda akım gerilim ölçümleri ile incelenmiştir. Bu heteroeklemlerin I-V karakteristiklerinden doğrultma özelliklerinin olduğu ve bir diyot davranışı sergilediği belirlenmiştir. Doğru yöndeki gerilim altında diyot parametrelerinden idealite faktörü ve bariyer yükseklikleri hesaplanmıştır.

Elde edilen MoO₃/c-Si heteroeklemlerin foto duyarlılıkları incelendiğinde sadece deney 3 koşullarında üretilen MoO₃ ince filmlerin ışığa duyarlılık gösterdiği görülmektedir. Deney parametreleri iyileştirilerek geçiş metal oksit ailesinin bir üyesi olan MoO₃ ince filmlerin yarı iletken özelliklerinin iyileştirilebileceği ve bu filmlerden üretilen heteroeklemlerin mikro-elektronik ve opto-elektronik aygıt teknolojilerinde kullanılabileceği görülmektedir

6. KAYNAKLAR

- Al-Kuhaili, M.F., Ahmad, S.H.A., Durrani, S.M.A., Faiz, M.M., & A. Ul-Hamid, A., (2015) Energy-saving spectrally-selective coatings based on MoO₃ /Ag thin films M.F . p.15-19 <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.02.025>
- Balaji, M., Chandrasekaran, J., & Raja, M., (2015). Role of substrate temperature on MoO₃ thin films by the JNS pyrolysis technique for P–N junction diode application. P. 104-113 <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.12.009>
- Biener, M.B., & Friend, C.M., (2015) Heteroepitaxial growth of novel MoO₃ nanostructures on Au(111). p.L173-L179 .<https://doi.org/10.1016/j.susc.2004.04.021>
- Boudaoud, L., Benramdane, N., Bouzidi, A. (2015). (MoO₃)_{1-x}(V₂O₅)_x thin films Elaboration and characterization. Optik.127, p.852-854 <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.10.105>
- Chiane, L., Pasquinelli, M., Hocine, D., & Belkaid, M.S., (2012). Development of Molybdenum trioxide (MoO₃) by spin coating method for photovoltaic application. B3 (7) p.418-422 <http://icrepq.com/icrepq'12/840-chibane.pdf>
- Çalışkan, H., Kurbanoglu, C., & Çolak, O. (2010). Yüksek Güç Darbeli Magnetron Sıçratma ile Kaplama Üretimi ve Kesici Takımlar Üzerinde Uygulamaları. Cilt:7,No:4, 57-71 <https://docplayer.biz.tr/6570355-Yukse-guc-darbeli-magnetron-sicratma-ile-kaplama-uretimi-ve-kesici-takimlar-uzerinde-uygulamalari.html>
- Das R.S., & Agrawal, Y. K., Raman spectroscopy: Recent advancements, techniques and applications, Vibrational Spectroscopy, 57, 2, 163–176, 2011 <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2011.08.003>
- Demirel, S. (2014). Reaktif Rf Magnetron Kopartma Yöntemi Kullanılarak Hazırlanan Wo₃ İnce Filmlerin Optik, Yapısal Ve Elektrokromik Özelliklerinin İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi
- Demiroğlu, D. (2012). p-CuPc Organik Yarıiletken İnce Filmlerin A-Si Altlıklar Üzerine Kimyasal Sprey Püskürtme Tekniği İle Büyütülmesi Ve Elektriksel Ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Namık Kemal Üniversitesi
- Feizollahi Vahid, A., (2016) Molibden Oksit İnce Filmlerin Saçtırma Metodu İle Büyütülmesi Ve Karakteristiklerinin İncelenmesi . Atatürk Üniversitesi
- Gürlük, G. (2009). NiTi hafızalı alaşım şekilli film kaplamaların üretilmesi ve karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi

- Khojier K., Savaloni, H., & Zolghadr, S. (2013). On the dependence of structural and sensing properties of sputtered MoO₃ thin films on argon gas flow p. 315-321
<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier>
- Min Lee, H., Soon Kim, S., & Ki Kim. (2015). Artificially MoO₃ graded ITO anodes for acidic buffer layer free organic photovoltaics.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.171>
- Ohring, M., (1992). The Materials Science of Thin Films, Academic Press, London, United Kingdom.
- Öncel, Y., (2014). Kimyasal Banyo Yöntemiyle Elde Edilen Cd_{1-x}CoxS İnce Filmlerinin Bazı Yapısal, Elektriksel Ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. T.C. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
- Perednis, D., & Gauckler, L.J. (2003)/ Thin Film Deposition Using Spray Pyrolysis p.103-111
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10832-005-0870-x>
- Patil, R.S., Uplane, M.D., & Patil P.S, (2008). Electrosynthesis of Electrochromic Molybdenum Oxide Thin Films with Rod-Like Features,Sci., 3 p.259 – 265
<http://electrochemsci.org/papers/vol3/3030259.pdf>
- Selvakumar, N., & Harish C. Barshilia, H.C., (2015). Review of physical vapor deposited (PVD) spectrally selective coatings for mid- and high-temperature solar thermal applications. P.1-23 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.10.028>
- Şener, Y. A., (2005). Şekilli ince filmlerin üretilmesi ve karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi
- Tatar, B., (2007). B-Fesi₂ İnce Filmlerin Elde Edilmesi Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi
- Yamamoto, J., & Furukawa Y., (2015) Raman study of the interaction between regioregular poly(3-hexylthiophene) (P₃HT) and transition-metal oxides MoO₃ , V₂O₅ , and WO₃ in polymer solar cells. V 644, p. 267-270 <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2015.12.012>

ÖZGEÇMİŞ

Canan YÖNEY 1991 yılında Erzincan’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Prof. Muharrem Ergin İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Sağmalcılar Lisesi’nde tamamladı. 2010 yılında başladığı Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden 2015 yılında bölüm 2’ncisi olarak mezun oldu ve aynı yıl Namık Kemal Üniveristesi’nde Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisansına başladı. 2018 yılında İstanbul Yenyüzyıl Üniversitesi’nde İş Sağlığı ve Güvenliği Yüksek Lisansını tamamladı.