

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ULTRASONİK KİMYASAL PÜSKÜRTME İLE ÜRETİLEN VANADYUM OKSİT FİLMLERİ: TABAN SICAKLIĞININ ETKİSİ

Hasan Hakan BAŞARAN

Fizik Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ULTRASONİK KİMYASAL PÜSKÜRTME İLE ÜRETİLEN VANADYUM OKSİT FİLMLERİ: TABAN SICAKLIĞININ ETKİSİ

Hasan Hakan BAŞARAN
Fizik Anabilim Dalı
Tezin Sunulduğu Tarih: **29/06/2016**

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Vildan BİLGİN

ÇANAKKALE

Hasan Hakan BAŞARAN tarafından Prof.Dr. Vildan BİLGİN yönetiminde hazırlanan ve **29/06/2016** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Ultrasonik Kimyasal Püskürtme İle Üretilen Vanadyum Oksit Filmleri: Taban Sıcaklığının Etkisi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof.Dr. Vildan BİLGİN ……

Başkan

Prof.Dr. İdris AKYÜZ ……

Üye

Doç.Dr. Kıvanç SEL ……

Üye

Doç.Dr. Kadir ERTÜRK ……

Üye

Doç.Dr. Ayşe KÜÇÜKARSLAN ……

Üye

Prof.Dr. Levent GENÇ
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:……

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Hasan Hakan BAŞARAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın gerçekleşmesinde bilimsel anlamda her türlü desteği sağlayan, yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışmanım Prof.Dr. Vildan BİLGİN'e saygı teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen gerek teorik gerekse deneysel anlamda yanımda olan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik Bölümü doktora öğrencisi Barbaros DEMİRSELÇUK'a, Emrah SARICA'ya ve sevgili arkadaşım Türker YAPAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince filmlerin ölçümlerinin alınmasında yardımlarını esirgemeyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyeleri sayın Prof. Dr. İdris AKYÜZ'e ve Prof. Dr. Ferhunde ATAY'a, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç.Dr. Erhan AYAS'a ve Namık Kemal Üniversitesi Fizik Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç.Dr. Kadir ERTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ve beni bugünlere getiren, maddi manevi her türlü desteği benden hiçbir zaman eksik etmeyen, en zor ve en iyi günlerimde benimle birlikte olan, yaşadığım tüm sevinci, acıyı paylaştığım anneme, babama, kardeşime ve canı gönülden sevdiğim ve saydığım aile bireylerime sonsuz teşekkür ederim.

Hasan Hakan BAŞARAN

Çanakkale, Haziran 2016

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Soğurma
α	Lineer soğurma katsayısı
a, b, c	Örgü sabitleri
Å	Angström
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
ASTM	American Society for Testing Materials
β	Yarı pik genişliği
˚C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
D	Tane büyüklüğü
d	Kalınlık
E	Elektrik alan
E_a	Aktivasyon enerjisi
E_g	Yasak enerji aralığı
E_0	Urbach parametresi
eV	Elektron-volt
h	Planck sabiti
I	Akım, Geçen ışık şiddeti
I_0	Gelen ışık şiddeti
J	Akım yoğunluğu
k	Sönüm sabiti
K	Kelvin
λ	Dalga boyu
l	Metal kontak uzunluğu
L	Metal kontaklar arası mesafe
μ	Mobilite
M	Molarite
MIT	Metal to Insulator Transition
meV	Milielektron-volt
ml	Mililitre
n	Kırılma indisi
nm	Nanometre

Ω	Ohm
R	Yansıma
rad	Radyan
ρ	Özdirenç, yoğunluk
σ	İletkenlik, yüzey gerilimi
δ	Dislokasyon yoğunluğu
θ	Bragg açısı
2θ	Kırınım açısı
T	Geçirgenlik
TC	Yapılanma katsayısı
UKPT	Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği
USP	Ultrasonic spray pyrolysis
UV	Ultraviyole
ν	Frekans
V	Vanadyum, gerilim, hacim
VO_x	Vanadyum Oksit fazları
XRD	X-ışını kırınımı
(hkl)	Miller indisleri

ÖZET

ULTRASONİK KİMYASAL PÜSKÜRTME İLE ÜRETİLEN VANADYUM OKSİT FİLMLERİ: TABAN SICAKLIĞININ ETKİSİ

Hasan Hakan BAŞARAN
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Vildan BİLGİN
29/06/2016, 66

Bu çalışmada, vanadyum oksit (VO_x) ince filmleri ultrasonik kimyasal püskürtme (UKP) tekniği kullanılarak farklı taban sıcaklıklarında (200, 250, 300 ve 350 °C) mikroskop cam tabanlar üzerine büyütülmüştür. Vanadyum klorür tuzu ve deiyonize su kullanılarak hazırlanan 0,01M'lık başlangıç püskürtme çözeltisi, 5 ml/dk püskürtme hızında 1,5 bar basınçlı hava yardımıyla 20 dk süresince püskürtülerek vanadyum oksit ince filmleri hazırlanmıştır. Filmlerin yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel özellikleri incelenmiş ve bu fiziksel özellikleri üzerine taban sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Filmlerin yapısal özelikleri x-ışını kırınımı tekniği ile incelenmiş ve tüm filmlerin polikristal yapıda oldukları belirlenmiştir. Optiksel incelemelerden, filmlerin görünür bölgede yaklaşık %30-50 civarında optiksel geçirgenliğe sahip oldukları ve yasak enerji aralıklarının yaklaşık olarak 2,37-2,48 eV arasında değiştiği tespit edilmiştir. Filmlerin elektriksel iletim mekanizmalarını incelemek için iki uç tekniği kullanılmış ve her bir film için elektriksel iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. AFM ile morfolojik yapılarının incelenmesi sonucunda, film yüzeylerinin hemen hemen homojen oldukları ve tabana tutunmanın iyi olduğu gözlenmiştir. Yapılan bütün analizler taban sıcaklığının VO_x filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Ultrasonik Kimyasal Püskürtme, Vanadyum Oksit, XRD, AFM, Optiksel ve Elektriksel Özellikler.

ABSTRACT

VANADIUM OXIDE FILMS GROWN BY ULTRASONIC SPRAY PYROLYSIS: EFFECT OF SUBSTRATE TEMPERATURE

Hasan Hakan BAŞARAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Pyhsics

Advisor : Prof. Dr. Vildan BİLGİN

29/06/2016, 66

In this work, vanadium oxide (VO_x) thin films were deposited by ultrasonic spray pyrolysis (USP) technique onto microscope glass substrates at different substrate temperatures (200, 250, 300 and 350 °C), using aqueous solution of vanadium chloride salt (0.01M). The solution was sprayed through ultrasonic nozzle using air as carrier gas with a pressure of 1.5 bar during 20 min. The effect of substrate temperature on structural, surface, optical and electrical properties of the films was investigated. The structural properties of the films were investigated by using x-ray diffractometer (XRD) and it was seen that all films have polycrystalline structure. Optical analyses evaluated that films exhibit optical transmission around 30-50 at. % and energy band gaps of the films were estimated to be between ~2,37-2,48 eV. Two probe method have been used to examine electrical conduction mechanisms of films and electrical conductivity values were calculated for each film. From the AFM micrographs, it was clearly seen that all the films have homogeneous surface morphologies and adhered well to the substrates. All analysis revealed that substrate temperature has a significant effect on some physical properties of VO_x films.

Keywords: Ultrasonic Spray Pyrolysis, Vanadium Oxide, XRD, AFM, Optical and Electrical Properties.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vii
ABSTRACT viii
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
1.1. Giriş 1
1.2. Amaç 3
BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
2.1. VO_x Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar 4
BÖLÜM 3
MATERYAL VE METOT 7
3.1. Giriş 7
3.2. Kimyasal Püskürtme Tekniği 7
3.3. Kimyasal Püskürtme Tekniği Ekipmanları 8
3.4. VO_x Filmlerinin Üretilmesi 12
BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 14
4.1. Yarıiletken Malzemelerin Yapısal Özellikleri 14
4.1.1. X-ışınları 14
4.1.2. X-ışını Kırınımı (XRD) 15
4.1.3. VO_x Filmlerinin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi 17
4.2. Yarıiletken Malzemelerin Optiksel Özellikleri 24
4.2.1. VO_x Filmlerinin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi 29
4.3 Yarıiletken Malzemelerin Elektriksel Özellikleri 40
4.3.1. VO_x Filmlerinin Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi 44
4.4 Yarıiletken Malzemelerin Yüzeysel Özellikleri 47

4.4.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu....48
4.4.2. Atomik Kuvvet Mikroskobunun Çalışma Prensibi 49
4.4.2.1. Piezoelektrik Tarayıcı...…...……..……50
4.4.2.2. Temas (Statik) Mod ……..……51
4.4.2.3. Temassız (Dinamik) Mod……...…….……..……51
4.4.3. VO_x Filmlerinin Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi....51
BÖLÜM 5
SONUÇLAR VE ÖNERİLER....56
5.1. Tartışma....56
5.2. Sonuçlar ve Öneriler 58
KAYNAKLAR 59
ÖZGEÇMİŞ I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. VO_x'lerin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi (Morin, 1959)…...2
Şekil 2.1. VO_2 için sıcaklık-elektriksel özdirenç değişim grafiği……4
Şekil 2.2. a) 80 b) 440 c) 1000 nm için VO_x filmlerin yüzey direnci-sıcaklık değişimleri…...5
Şekil 2.3. a)VO_2 b)V_2O_5 malzemelerinin kristal yapıları (Darling ve ark., 2009)……...6
Şekil 3.1. Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinde kullanılan başlık (Bilgin, 2003)……...9
Şekil 3.2. Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinin şematik diyagramı……10
Şekil 3.3. Ultrasonik kimyasal püskürtme sisteminin fotoğrafı……11
Şekil 4.1. X-ışını tüpü şematik diyagramı……14
Şekil 4.2. X-ışını kırınım desenlerinin oluşumu……15
Şekil 4.3. Kristal düzlemde x-ışınları kırınımı……..15
Şekil 4.4. 200ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni…….……18
Şekil 4.5. 250ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni……...19
Şekil 4.6. 300ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni……21
Şekil 4.7. 350ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni……...…….22
Şekil 4.8. VO_x filmlerinin tane büyüklükleri ve çizgisel kusur yoğunlukları……..23
Şekil 4.9. Yarıiletken malzeme için temel soğurma spektrumu……24
Şekil 4.10. Yarıiletkene ışığın dik geliş durumu; soğurma, geçirme ve yansıma……26
Şekil 4.11. VO_x filmlerinin optik geçirgenlik spektrumları……...31
Şekil 4.12. VO_x filmlerinin optik soğurma spektrumları……...32
Şekil 4.13. VO_x filmlerinin yüzde yansıma spektrumları……33
Şekil 4.14. VO_x filmlerinin sönüm katsayısı spektrumları……34
Şekil 4.15. VO_x filmlerinin kırılma indisi spektrumları……...35
Şekil 4.16. 200ºC'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği……...38
Şekil 4.17. 250ºC'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği……...38
Şekil 4.18. 300ºC'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği……...39
Şekil 4.19. 350ºC'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği……...39
Şekil 4.20. VO_x ince filmlerinin taban sıcaklığına bağlı E_0 ve E_g değişim grafiği……40
Şekil 4.21. Elektron-hol çifti oluşumu (Wilson ve Hawkes, 1989)……...41
Şekil 4.22. Metal (Fe) ve yarıiletken (Si) özdirencinin sıcaklıkla değişimi……..43
Şekil 4.23. İki uç tekniğinin şematik gösterimi……43
Şekil 4.24. 200ºC'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği……...45
Şekil 4.25. 250ºC'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği……...45

Sayfa No

Şekil 4.26. 300ºC'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği……...46
Şekil 4.27. 350ºC'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği……...46
Şekil 4.28. Yüzey analizlerinde kullanılan mikroskop çeşitleri……48
Şekil 4.29. Atomik kuvvet mikroskobunun manivelası ve sivri ucu……..49
Şekil 4.30. Atomik kuvvet mikroskobu şematik diyagramı……..50
Şekil 4.31. 200ºC'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü…….53
Şekil 4.32. 250ºC'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü…….53
Şekil 4.33. 300ºC'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü…….54
Şekil 4.34. 350ºC'de üretilen VO_x filmlerinin AFM görüntüsü……..…….54
Şekil 4.35. VO_x filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri……..…….……...55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Farklı stokiyometrideki vanadyum oksit yapıları için kristal örgü parametreleri (Inorganic Crystal Structure Database)……...6

Çizelge 4.1. 200ºC'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri……..……...19

Çizelge 4.2. 250ºC'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri……....20

Çizelge 4.3. 300°C'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri…….....20

Çizelge 4.4. 350°C'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri…….22

Çizelge 4.5. VO_x filmlerinin optik geçirgenlik verileri……31

Çizelge 4.6. VO_x filmlerinin optik soğurma verileri……..32

Çizelge 4.7. VO_x filmlerinin optik yansıma verileri…….33

Çizelge 4.8. VO_x filmlerin sönüm katsayısı verileri……..34

Çizelge 4.9. VO_x filmlerinin kırılma indisi verileri……...35

Çizelge 4.10. VO_x filmlerinin E_0 ve E_g değerleri……..40

Çizelge 4.11. VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç ve iletkenlik değerleri……47

Çizelge 4.12. VO_x filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri……55

BÖLÜM 1
GİRİŞ

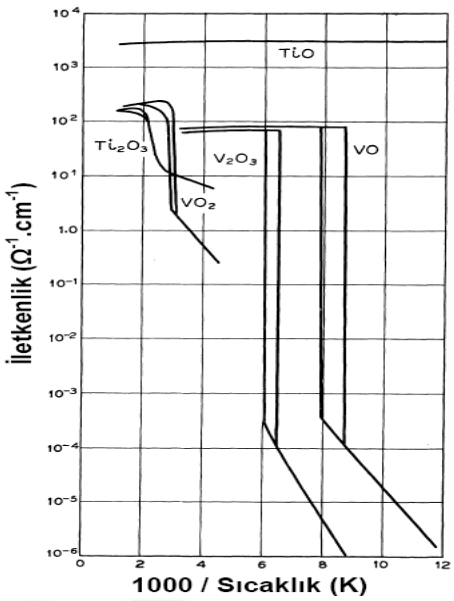
1.1. Giriş

Elektronik çağının hızlı bir şekilde ilerlemesinde şüphesiz ki ince film teknolojisinin büyük katkısı bulunmaktadır. Elektronik aygıtların keşfi, üretilmesi ve günlük hayata entegrasyonu büyük bir teknolojik atılım olmakla birlikte, bu alandaki hızlı ilerleme 1947 yılında William Shockley, John Bardeen ve Walter Brattain tarafından transistörlerin keşfedilmesiyle başlamıştır (CED, n.d., 2013).

İnce filmler optoelektronik devrelerde; direnç, kapasitör, diyot, transistör, yarıiletken devre elemanı, optik filtre gibi pek çok farklı uygulama alanı ile karşımıza çıkmaktadırlar. Gelişen bu teknolojide farklı faz yapılarına sahip vanadyum oksit ince filmleri de önemli bir yer tutmaktadır.

Vanadyum oksit malzemeler; belirli sıcaklıklarda metal fazdan yarıiletken faza geçiş özelliği gösteren malzemeler arasında yer almaktadır. Vanadyum oksit üzerinde yoğun olarak çalışılan çok yönlü bir malzeme olup, V^{5+} den V^{2+} ye kadar tüm oksidasyon durumları için bileşik yapabilir (Hébert ve ark., 2002). Bu özellikleri sayesinde, fotokromik, termokromik ve elektrokromik olmak üzere üç kromenijik etkiyi gösteren ender malzemelerden biridir (Türhan ve ark., 2009; Saeli ve ark., 2010; Margoni ve ark., 2016).

1959 yılında Morin, vanadyum oksitlerin metal fazdan yalıtkan faza geçiş (Metal to Insulator Transition, MIT) özelliğine sahip malzemeler olduğuna dair bilimsel raporunu yayınlanmıştır (Morin, 1959). Vanadyum dioksit (VO_2) bileşiği düşük sıcaklıklarda tek kristal yapıda ve yüksek sıcaklıklarda tetragonal yapıdadır (Fujita ve ark., 2012; Leroy ve ark., 2012). Bu özellikteki bir sistem, bilim insanlarının ilgisini çekmiş olup, bu ilgi çekici özelliği birinci dereceden MIT sıcaklığına sahip ($\sim 340\ K$) olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda rutik metalik ve düşük sıcaklıklarda yalıtkan özeliği gösteren (Qazilbash ve ark., 2008) vanadyum oksitlerin kristal yapıları vanadyum-oksijen oranına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin VO fazı kaya tuzu yapısına sahip bir metal iken, V_2O_3 165K üzerindeki sıcaklıklarda korindon yapıya sahip bir paramanyetik metaldir ve bu sıcaklığın altında monoklinik yapıya sahip bir antiferromanyetik yalıtkandır. V_2O_5 ise ortorombik yapıda ve oda sıcaklığında bir diyamanyetik yalıtkandır. VO_2 ise 340K sıcaklığında diyamanyetik yalıtkan durumdan paramanyetik metalik duruma geçişe uğrar (Hébert ve ark., 2002; Alie ve ark., 2013). Aynı zamanda, vanadyum oksit bileşikleri sıcaklığın değişmesine bağlı olarak farklı manyetik özellik sergilemektedirler.



Şekil 1.1. VO_x'lerin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi (Morin, 1959)

VO_2 için, birinci derece MIT sıcaklığında faz geçişi sırasında belirgin ve tersine çevrilebilir durumlar gözlenmiştir. Bu değişimler yapısal değişimleri, yapısal değişimler beraberinde elektriksel değişimleri meydana getirmiştir. Bunlar da elektriksel özdirenç ve optik geçirgenlikteki değişimleri etkilemiştir (Fujita ve ark., 2012). Vanadyum oksit malzemelerinin sıcaklığa bağlı bu değişim özellikleri, günümüz gelişen teknolojisi ile birlikte elektronik ve optiksel uygulama alanlarında faydalı bir şekilde kullanılmaktadır.

Son yıllarda ince filmler yarıiletken aygıt üretiminde, elektromanyetik kayıt sistemlerinde, optiksel kaplamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni ince film üretiminin ticari anlamda ucuz, güvenilir ve kaliteli olmasından kaynaklanmaktadır. Kaplama yöntemlerindeki farklılıklar ve kaplama sırasındaki çeşitli işlemler sonucu, hacimli malzemede bulunmayan birçok özellik bu malzemelerin ince filmlerinde yaratılabilir.

Birbirinden farklı birçok ince film kaplama teknikleri bulunmaktadır. İnce filmlerin kaplanması sürecinde bilinmesi ve dikkat edilmesi gereken başlıca özellikler arasında, kaplama tekniğinin uygunluğu, kullanılan kimyasallar, katkı maddeleri, tekniğe bağlı olarak değişebilen üretim süreci parametreleri, kısacası tüm değişkenler film kalitesi açısından önem teşkil etmektedir.

Vanadyum oksit filmlerinin farklı üretim teknikleri ile farklı tabanlar üzerine arzu edilen kalitede büyütülmesi üzerine pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. VO_x ince filmlerinin büyütülmesinde en sık kullanılan teknikler arasında; dc ve rf magnetron reaktif sıçratma (Chen ve ark., 2006), kimyasal buhar biriktirme

(Deutschmann ve ark., 1994; Venardou ve ark., 2016), darbeli lazer biriktirme (Wu ve ark., 2008), iyon demeti sıçratma (Wang ve ark., 2006), sol-jel (Partlow ve ark.,1991, Berezina O. ve ark., 2015) ve kimyasal püskürtme gibi teknikler yer almaktadır.

1.2. Amaç

Vanadyum oksit malzemesi sıcaklık değişimine bağlı olarak faz geçişine uğrar ve bu faz geçişleri ise malzemenin elektriksel, optiksel gibi bazı fiziksel özelliklerinde önemli değişimlere sebep olmaktadır.

Vanadyum oksitler, elektriksel ve optiksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişebilmesi özelliklerinden dolayı günümüz teknolojisinde çok yönlü ve yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu alanlardan bazıları; Li-iyon pilleri (V_2O_5), fiber optik gaz sensörleri, güç elektroniği, UV ışık yayıcı, çok dayanıklı ve uzun ömürlü alaşımların üretilmesi ve renkli hafıza aygıtlarıdır (Timm ve ark., 2010, Renganathan ve ark., 2013). Ayrıca termokromik kaplamalar, enerji sistemleri arasında yer alan fotovoltaik güneş hücreleri gibi sürekli gelişen ve önem teşkil eden aygıtların üretiminde de kullanılmaktadırlar.

Bu tez çalışmasında; vanadyum oksit ince filmleri, ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak farklı taban sıcaklıklarında büyütülecek ve bazı yapısal, yüzeysel, elektriksel ve optiksel özellikleri incelenecektir.

Bu tez çalışmasının amacı; üretilen VO_x filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine taban sıcaklığının etkisinin incelenmesi, bu teknik ile fiziksel açıdan kaliteli film üretimi için uygun taban sıcaklığının belirlenmesi ve üretilen filmlerin teknolojik alanda uygunluklarının ve kullanılabilirliklerinin araştırılmasıdır.

BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

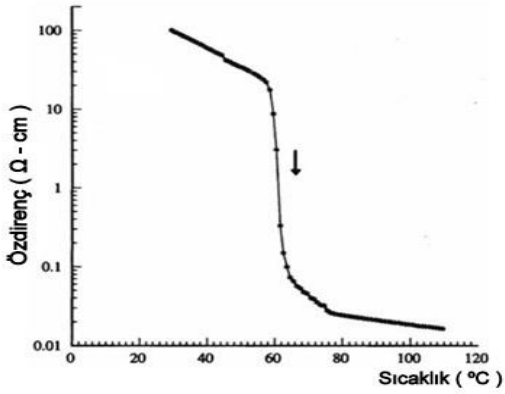
2.1. VO_x Üzerine Yapılan Önceki Çalışmalar

Vanadyum oksitlerin bilim insanlarının ilgisini önemli derecede çekmesi, sıcaklık değişimi ile farklı fiziksel özelliklere sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. VO_x'ler sıcaklık değişimi ile farklı elektriksel ve optiksel özellik sergileyen ve ayrıca sıcaklık değişimlerine bağlı olarak metal yalıtkan geçiş özelliklerine sahip metal oksitlerdir (Morin, 1959; Hébert ve ark., 2002; Qazilbash ve ark., 2008).

Sıcaklık değişimlerinden kaynaklı faz geçişleriyle elektriksel özellikleri farklı davranış göstermektedir (Fujita ve ark., 2012). 1959 yılında Morin tarafından VO_x' lerin faz geçişleri ve buna bağlı olarak iletkenlikleri incelenmiş ve VO, VO_2 ve V_2O_3 fazlarının sıcaklık değişimlerine göre elektriksel iletkenliklerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak VO ve V_2O_3 malzemelerinin VO_2 ye göre daha hızlı ve yüksek iletkenlik gösterdiği, VO_2 malzemesinin ise oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda bu özelliği gösterdiği tespit edilmiştir (Morin, 1959).

VO_2 malzemesinin, 64°C'nin altındaki sıcaklıklara soğutulduğunda keskin ve tersine çevrilebilir faz değişiminin olduğu ve bununla birlikte monoklinik kristal yapıda oluştuğu 1979 yılında Kucharczyk ve Niklewski tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir (Darling R.B. ve ark., 2009).

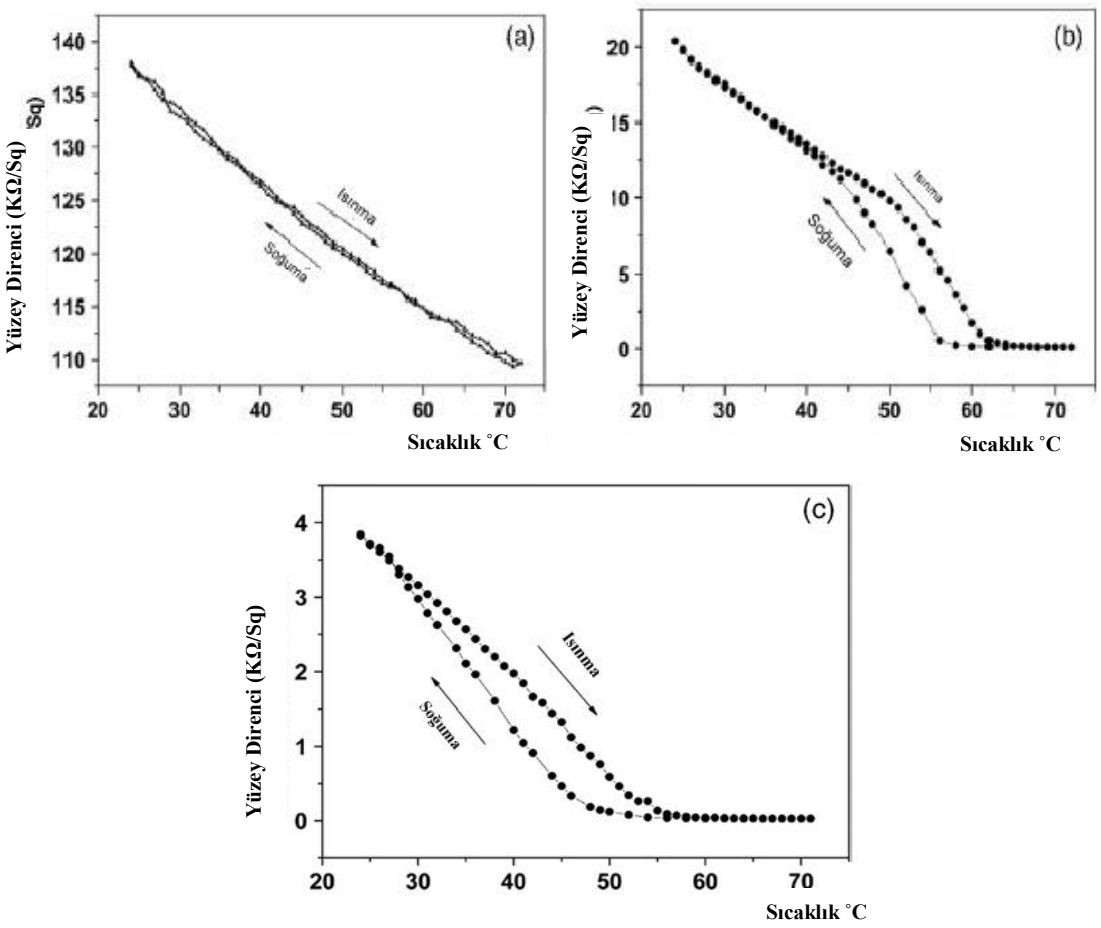
1993 yılında Jerominek H. ve ark. VO_2'nin elektriksel özelliğinin sıcaklıkla nasıl değiştiğini gözlemlemek için bir takım deneyler üzerinde çalışıp, sonuç olarak Şekil 2.1'de verilen elektriksel özdirenç-sıcaklık değişim grafiğini elde etmeyi başarmışlardır.



Şekil 2.1. VO_2 için sıcaklık-elektriksel özdirenç değişim grafiği

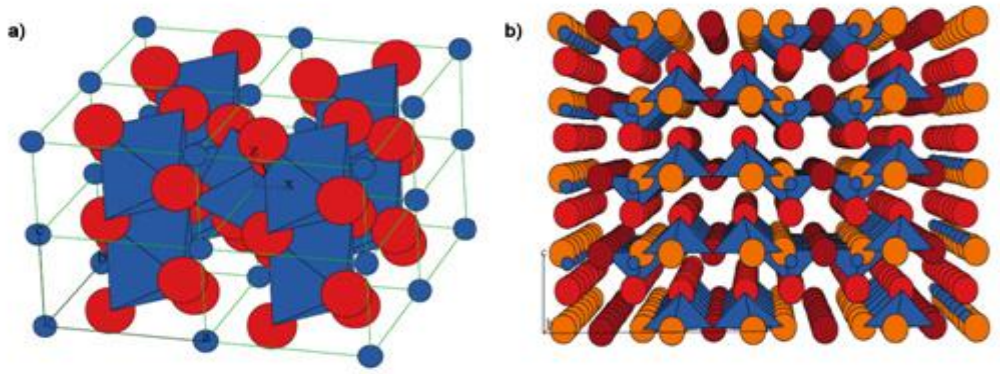
Aynı zamanda, VO_2'in 67°C'nin altındaki sıcaklıklarda yarıiletken fazda $20\Omega..cm$ değerinde elektriksel özdirence sahip olduğu ve sıcaklığın artmasıyla birlikte özdirenç değerinin $0.08\Omega..cm$'e düştüğü, metalik faza geçtiği ve MIT özelliği gösterdiği belirlenmiştir (Jerominek ve ark., 1993).

2008 yılında Wei X.B. ve ark. tarafından yapılan çalışmada, VO_x filmleri dc magnetron sıçratma tekniği ile cam tabanlar üzerine farklı kalınlıklarda büyütülmüş ve filmlerin bazı fiziksel özellikleri üzerine kalınlığın etkisi incelenmiştir. Kalınlığın artmasına bağlı olarak filmlerin kristalleşmesinin düzeldiği, tane büyüklüğünün arttığı ve yüzey direncinin azaldığı belirlenmiştir. SEM ve AFM analizlerinden tane büyüklüğünün kalınlık ile arttığı ve filmlerin tabana tutunmasının zayıf oldukları belirlenmiştir. Ayrıca dört uç metodu kullanılarak filmlerin sıcaklık değişimine bağlı olarak alınan yüzey direnci ölçümleri neticesince çizilen ve Şekil 2.2'de verilen histerisis eğrileri ile sıcaklık değişimine bağlı olarak yüzey dirençlerinin nasıl değiştiği de belirlenmeye çalışılmıştır (Wei ve ark., 2008).



Şekil 2.2. a) 80 b) 440 c) 1000 nm için VO_x filmlerin yüzey direnci-sıcaklık değişimleri

2009 yılında Darling R.B. ve ark. tarafından rapor edilen çalışmada VO_x'in yapısındaki oksijen miktarının değişimine bağlı olarak kristal yapıları ayrıntılı bir şekilde incelemiş ve bu değişim oranlarına bağlı olarak oluşan farklı fazlardaki VO_x bileşiklerinin kristal yapıları ve parametreleri hakkında bilgiler paylaşılmıştır (Darling ve ark., 2009).



Şekil 2.3. a)VO_2 b)V_2O_5 malzemelerinin kristal yapıları (Darling ve ark., 2009)

Farklı stokiyometrideki VO_x' lerin kristal yapıları birbirinden farklı olup bu malzemeler için belirlenen ve literatürde yer alan yapısal özellikleri Çizelge 2.1.' de listelenmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı stokiyometrideki vanadyum oksit yapıları için kristal örgü parametreleri (Inorganic Crystal Structure Database)

Malzeme	**a (Å)**	**b (Å)**	**c (Å)**	$\boldsymbol{\alpha}$	$\boldsymbol{\beta}$	$\boldsymbol{\gamma}$
VO	4,20	4,20	4,20	90,0	90,0	90,0
VO_2	13,965	4,978	4,978	90,0	90,0	120
V_2O_3	5,384	4,526	5,574	90,0	122,6	90,0
V_2O_5	4,368	3,564	10,011	90,0	90,0	90,0

BÖLÜM 3
MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Vanadyum oksit (VO_x) malzemesinin sıcaklık değişimine bağlı olarak hem yapısal hem de elektriksel ve optiksel gibi bazı fiziksel özelliklerinin değiştiği ve bu değişimleri sebebiyle farklı teknolojik alanlarda geniş uygulamalara sahip oldukları bilinmektedir.

Bu tez çalışmasının konusu da, vanadyum oksit ince filmlerinin basit, ekonomik, vakum gerektirmeyen, geniş alanlara (~cm^2) kaplama olanağı gibi avantajlara sahip ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak mikroskop cam tabanlar üzerine farklı taban sıcaklıklarında (200, 250, 300 ve 350°C) üretilmesi ve bazı fiziksel özellikleri üzerine taban sıcaklığının etkisinin incelenmesi ve filmlerin teknolojik uygulanabilirliklerinin belirlenmesi üzerinedir.

3.2. Kimyasal Püskürtme Tekniği

Kimyasal püskürtme tekniği önceden ısıtılmış taban üzerine yerleştirilen cam, seramik veya metalik gibi farklı tabanlar üzerine, büyütülecek film bileşimine bağlı olarak bir veya daha çok farklı iyon kaynağı içerecek şekilde istenilen molaritede hazırlanan kimyasal çözeltilerin belirli deney parametrelerinde püskürtülmesi temeline dayanan ince film büyütme yöntemidir. Bu teknik ile büyütülecek ince filmlerin kalınlıkları, püskürtme çözeltisi miktarı ve molaritesi, taban sıcaklığı, püskürtme hızı ve süresi gibi bazı deneysel parametrelerin ayarlanması ile kontrol edilebilir. Katı ince filmlerin büyütülmesi kimyasal reaksiyon sonucunda gerçekleştiği için, bu teknik kimyasal bir teknik olarak bilinir (Bilgin, 2003).

Kimyasal püskürtme tekniğinde kullanılacak püskürtme çözeltisinin konsantrasyonu ve miktarı, taban sıcaklığı, püskürtme başlığı ile taban arasındaki mesafe, kullanılan katkı elementinin cinsi ve miktarı, püskürtme işleminin hızı ve zamanı, taşıyıcı gaz ve taban cinsi gibi deneysel parametreler üretilecek yarıiletken filmlerin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Wei Y. ve ark., 2013; Mousavi M. ve ark., 2013). Üretilen yarıiletken ince filmin kalınlığı ve yasak enerji aralığı bahsedilen bu deneysel parametrelerin değiştirilmesiyle kontrol edilebilir (Afify ve ark., 1991, Yudin A. ve ark., 2016).

Kimyasal püskürtme tekniğinin diğer bütün yarıiletken ince film üretim tekniklerinde olduğu gibi bize sağladığı bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bize sağladığı avantajlardan bazıları yarıiletken ince filmlerin farklı sıcaklıklarda büyütülebilmesi, film kalınlığının kontrolü (Krishnakumar ve ark. 1987; Afify ve ark., 1991; Yudin A. ve ark., 2016),

uygulanabilirlik açısından basit olması, maliyet açısından ekonomik olması, ucuz ekipmanlar içermesi, üretimin kısa sürede gerçekleşmesi, farklı atom katkılanmasının basit olması, geniş yüzeylere (cm^2 mertebesinde) film çöktürülebilmesi ve vakum gerektirmemesi gibi bir takım avantajlara sahiptir. Bu teknikle elde edilen filmler polikristal yapıda olmaktadır (Bilgin, 2003). Bu teknik kullanılarak metal ve tek kristal ince filmlerin elde edilememesi, malzeme kalınlığının istenilen homojenliğe sahip olmaması, çöktürme hızının düşük olması gibi özellikler ise bu yöntemin dezavantajlarındandır.

Kimyasal püskürtme tekniğinde normal püskürtme başlığı yerine ultrasonik püskürtme başlığı kullanılarak filmlerin daha homojen yapıda ve kalınlıkta üretiminin gerçekleşmesi sağlanabilir. Bu teknikte, atomizasyon işleminin en verimli şekilde gerçekleşebilmesi için sıvı akışının havanın akış yoğunluğuna eşit veya küçük olması gerekmektedir.

Ultrasonik Kimyasal Püskürtme (UKP) tekniğinde bulunan osilatör adı verilen bir güç vericisine bağlı püskürtme başlığı sayesinde belirli frekansta gönderilen ultrasonik dalgalar püskürtme çözeltisinin daha iyi atomize edilmesini sağlayarak damlacık boyutunu küçültür ve böylece daha homojen dağılımlı kaliteli malzemeler üretilebilir. (Ivanov-Schitz ve ark., 2001; Taniguchi ve ark., 2002; Yudin A. ve ark., 2016).

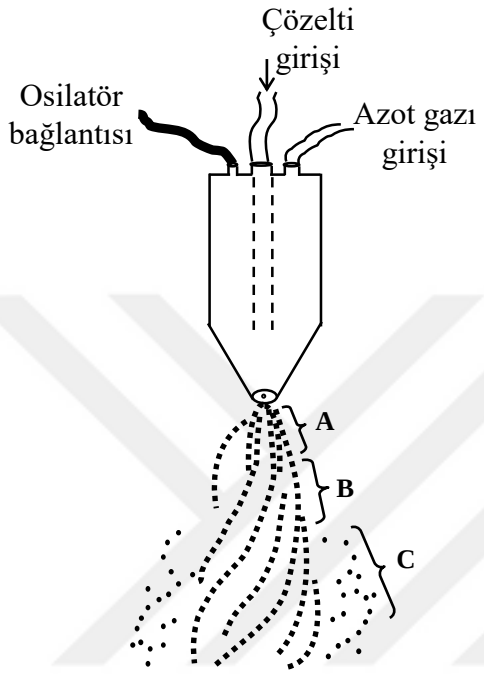
Başlığa gönderilen ultrasonik dalgaların frekansının ayarlanması ile damlacık boyutunun kontrolünü sağlamak mümkün olup, daha yüksek frekans değerlerinde daha küçük damlacık boyutuna ulaşılmaktadır (Rajan ve ark, 2001; Liu S., ve ark., 2015).

3.3. Kimyasal Püskürtme Tekniği Ekipmanları

Püskürtme başlığı paslanmaz çelikten veya ısıya ve kimyasal etkilere dayanıklı olan bir tür camdan (payreks) imal edilir. Bu yöntemde elektrostatik, ultrasonik ve normal cam başlıklar kullanılabilir. Kullanılan püskürtme başlığının, püskürtme esnasında iki yada üç boyutta belirli hızlarda hareket ettirilmesi kaplamaların daha düzgün ve homojen kalınlığa sahip olmasına olanak sağlayacaktır.

Ultrasonik püskürtme başlığı sayesinde oluşan filmler kalite açısından yüksek, maliyet bakımından düşük ve film yüzeyleri açısından daha düzgün elde edilmektedir. Fakat püskürtme işlemi esnasında ultrasonik püskürtme başlığıyla ilgili bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Ultrasonik püskürtme başlığının ağız kısmında kimyasal çözeltiler sebebiyle zaman içerisinde bazı tortuların birikmesi ve aşınmaların oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Bu da hava yardımıyla yüksek sıcaklıklara ısıtılmış olan taban üzerindeki cam alttaşlar üzerine ulaşan damlacıkların büyüklüğünü, geometrisini ve hızını bozmakta ve bu durum da taban sıcaklığında ani değişimlere sebep olmaktadır. Bu ani sıcaklık değişimleri sonucunda

cam tabanlar sıcaklık farkından dolayı kırılabilmekte, kaplama işlemi başarısız olmakta ve film kalitesini bozmaktadır. Bu gibi istenmeyen durumlara engel olabilmek için ultrasonik püskürtme başlığının ağız çıkış kısmının düzgün ve temiz olmasına dikkat edilmeli ve başlık ara sıra temizlenip, gerektiğinde değiştirilmelidir (Akyüz, 2005). Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinde kullanılan başlığın şematik diyagramı Şekil 3.1' de verilmektedir.

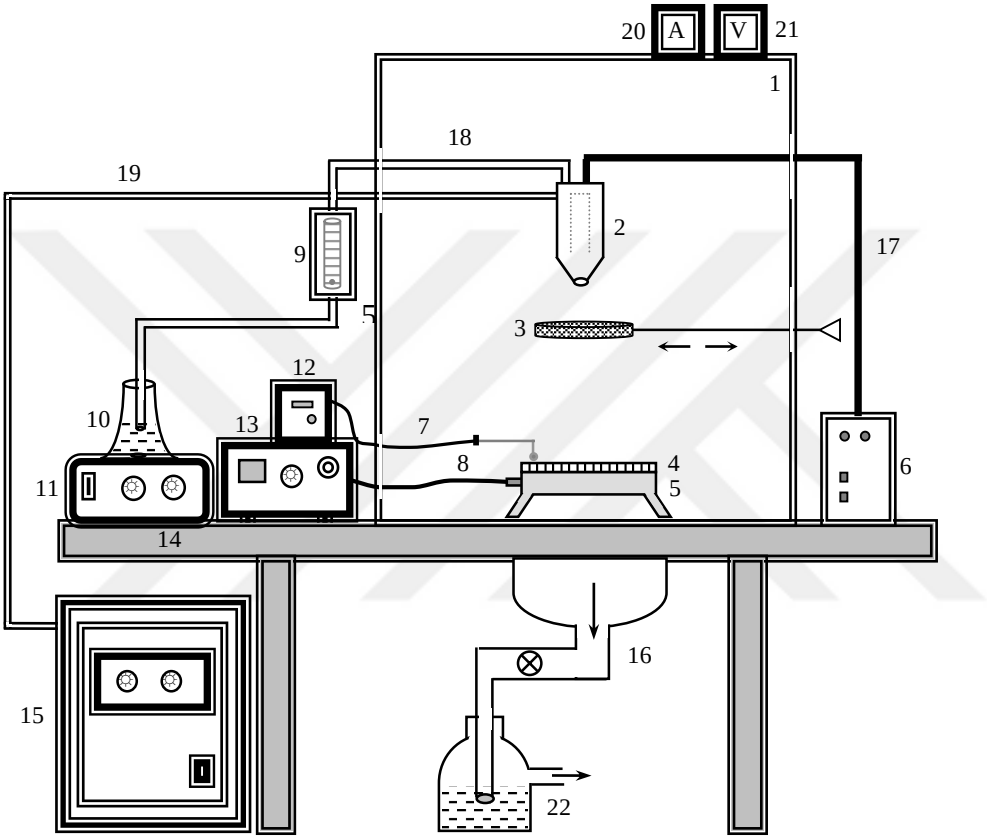


Şekil 3.1. Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinde kullanılan başlık (Bilgin, 2003)

Şekil 3.1.' de püskürtme konisi olarak gösterilen bölgede püskürtme işlemi A, B ve C bölgeleri olmak üzere üç grupta incelenmektedir. A kısmında çözelti atomize edilir ve basınçlı taşıyıcı gaz yardımı ile atomize olan çözelti hızlandırılır. A kısmı çözelti damlacıklarının en yüksek hıza sahip olduğu bölgedir. B kısmında ise, çözelti damlacıkları taşıyıcı gaz basıncına bağlı olarak biçimlenir. Bu bölgedeki damlacıkların akış hızı, A bölgesindeki damlacıkların akış hızından daha küçüktür. C kısmı ise bu iki alanın dışında kalır ve püskürtme hızının en düşük olduğu bölgedir. Bunun nedeni; bu bölgedeki taşıyıcı gazın kütlesel akış değerinin kimyasal püskürtme çözeltisininkinden daha büyük ya da eşit olması gerekirken (Lampkin, 1979) bu şartların sağlanamaması ve bunun sonucunda bu bölgede akan çözeltinin toplam kütlesinin diğer iki bölgeye göre daha geniş bir yüzeye dağılmasıdır (Köse, 1993).

Şekil 3.2' de UKP tekniğinin şematik diyagramı verilmiştir. Bu diyagrama göre sistem ekipmanları; (1) püskürtme odacığı, (2) ultrasonik püskürtme başlığı, (3) hareketli tava, (4)

cam tabanlar, (5) gömme rezistanslı bronz blok, (6) osilatör, (7) 1. termoçift, (8) 2. termoçift, (9) akış hızı ölçer, (10) çözelti kabı, (11) ısıtıcılı-manyetik karıştırıcı, (12) yüzey sıcaklık göstergesi, (13) gömme rezistanslı bronz bloğun ısı kontrol edici düzeneği, (14) masa, (15) hava kompresörü, (16) salyangoz fan, (17) osilatör kablosu, (18) çözelti akış hortumu, (19) hava hortumu, (20) ac ampermetre, (21) ac voltmetre, (22) içi kısmen su dolu kabı göstermektedir.



Şekil 3.2. Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniğinin şematik diyagramı

UKP tekniğinde taban sıcaklığı gömme rezistanslı bronz bloklu bir elektrik ısıtıcısı (2500-3000 watt) ile sağlanmaktadır. Bu ısıtıcının kontrolü demir-konstantan termoçift ile yapılmaktadır. Termoçift sayesinde taban sıcaklığı direkt veya dolaylı olarak gözlenebilmektedir. Taban sıcaklığının direkt gözlemlenebilmesi için termoçiftin çıkışına dijital bir gösterge takılması yeterli olacaktır. Termoçift ile taban arasına çok az miktarda indiyum konularak ısıl iletim sağlanmaktadır. UKP tekniğinde sabit sıcaklıkta çalışabilmek çok zordur, bu yüzden ayarlanan sıcaklıktan bazı sapmalar olmaktadır. Bu sıcaklık farkı yaklaşık olarak ±5-10°C aralığında olmaktadır. Deney sırasında püskürtme ve kullanılan taşıyıcı gazdan kaynaklı taban sıcaklığında bir düşme gözlenmektedir. Deneyi doğru ve

sağlıklı yapabilmek için oluşacak bu sıcaklık farkını önleyebilmek için taban deney öncesi istenilen sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmalıdır. Bu sıcaklık farkı yani taban sıcaklığının daha düşük ya da yüksek olması üretilecek filmlerin tabana tutunmasını ve kalınlıklarını etkiler. Bunun sonucunda filmlerin fiziksel özelliklerinde değişimler oluşur. Film kalınlıkları taban sıcaklığının düşük olması durumunda kalın, yüksek olması durumunda ince olmaktadır (Köse, 1993).

Ultrasonik kimyasal püskürtme başlığı ve taban arasındaki uzaklık malzeme üretimi açısından önemlidir. Çünkü bu uzaklığın değiştirilmesine bağlı olarak malzemenin kalınlığı ve fiziksel özelliği değişebilmektedir. Tipik olarak bu mesafe 30-40cm arasındadır. Başlığın taban ile arasındaki mesafenin az olması halinde taban üzerinde tortu oluşumu gözlenebilmektedir. Tabanda oluşan bu değişimler sıcaklığın ani bir şekilde düşmesini sağlamaktadır. Kimyasal püskürtme başlığının tabandan uzak olması durumunda ise tabana ulaşan damlacık sayısı azalmaktadır. Taban sıcaklığının artmasıyla birlikte oluşan filmler düzgün kalınlıkta üretilememektedir (Akyüz, 2005). Şekil 3.3.'te Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında kullanılan UKP sisteminin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.3. Ultrasonik kimyasal püskürtme sisteminin fotoğrafı

3.4. VO_x Filmlerinin Üretilmesi

Bu çalışmada VO_x ince filmlerinin büyütülmesi için ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği kullanılmış olup, farklı taban sıcaklığına bağlı olarak filmlerin yapısal, yüzeysel, optiksel ve elektriksel gibi bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir.

VO_x filmlerinin üretilebilmesi için kullanılacak olan başlangıç püskürtme çözeltisi için VCl_3 (vanadyum klorür) kimyasal tuzunun 0,01M'lık sulu çözeltisi hazırlanmış olup, çözücü olarak deionize su kullanılmıştır. Filmlerin üretilmesinde başlangıç püskürtme çözeltisi 100 ml olacak şekilde hazırlanmıştır. Başlangıç püskürtme çözeltisi üretilmesi istenen ince filmlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri için tayin edici bir unsurdur. Bu sebepten dolayı ince filmlerin üretiminde kullanılacak püskürtme çözeltileri hazırlanırken kullanılan çözücülerin ve kimyasal tuzların cinsi, çözeltinin konsantrasyonu büyütülmek istenilen filmlerin özelliğine uygun olarak belirlenmeli ve hazırlanmalıdır. Başlangıç püskürtme çözeltisi hazırlandıktan sonra, püskürtme işlemi öncesinde yaklaşık olarak 20-30 dakika erlanmayer içerisinde bekletilmiş ve bu esnada çözetide herhangi bir tortu oluşması riskine karşı manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırılmış ve daha sonra püskürtme sürecine geçilmiştir.

Cam tabanları ısıtmak için, ısıtıcı taban olarak 15×15×3 cm ebatlarında gömme rezistanslı bronz blok kullanılmıştır. Taban sıcaklığı, üretimi gerçekleştirilecek ince filmlerin tüm fiziksel, yapısal ve yüzeysel özelliklerini tayin eden ana parametrelerden biridir. Gömme rezistanslı bronz bloğun yüzeyinin temizlik işlemi her deney öncesi zımpara ile sağlanmıştır.

İnce film büyütmek için taban olarak mikroskop camlar kullanılmış ve bu camlar yaklaşık olarak 1×1 cm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Mikroskop camlar saf su ile yıkanarak temizlenmiş, kurulanmış ve ardından gömme rezistanslı bronz bloğun üzerine düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir.

Mikroskop camlar üzerine başlangıç püskürme çözeltisi basınçlı hava yardımıyla püskürtülmüştür. Mikroskop camlar üretimin gerçekleştirileceği sıcaklık değerinden daha yüksek sıcaklık değerlerine kadar ısıtılmıştır. Çünkü taşıyıcı gaz ve çözeltinin sıcaklığı etkisinde püskürtme işlemi başladıktan sonra cam tabanlar üzerinde ani sıcaklık değişimleri yaşanmaktadır. İstenilen sıcaklık değerine ulaşılınca, çözeltinin püskürtülmesine işlemine başlanmıştır. Hazırlanan başlangıç püskürtme çözeltisi 5 ml/dk püskürtme hızında 20dk süresince mikroskop cam tabanlar üzerine gönderilmiştir. Bu işlem sırasında püskürtme çözeltisinin akış hızı sürekli olarak kontrol edilmiş ve sabit tutulmaya çalışılmıştır.

Gömme rezistanslı bronz blok elektrik ısıtıcısı ile ısıtılmış ve taban sıcaklığı demir-konstantan termoçift ile sıcaklık göstergesinden okunmuştur. Mikroskop camları ve püskürtme başlığı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 40 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu mesafe tüm taban sıcaklıklarında yapılacak deneyler için de sabit tutulmuştur.

Üretim süreci tamamlandıktan sonra filmler bir süre püskürtme odacığı içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Bu esnada fan çalıştırılarak püskürtme odacığı içerisinde bulunan atık gazların dışarı atılması sağlanmıştır. Tüm bu işlemlerin ardından filmler ölçüm almak için hazır hale getirilmiş ve uygun saklama kapları içerisinde bekletilmiştir.

BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

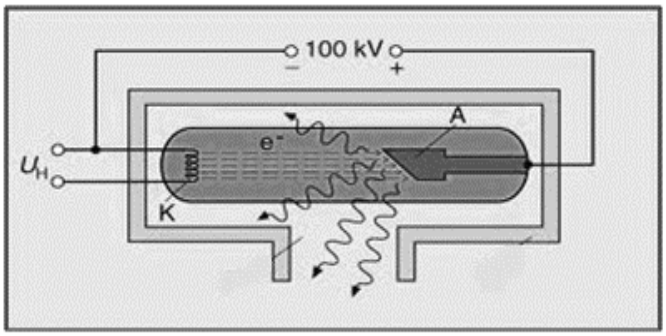
4.1. Yarıiletken Malzemelerin Yapısal Özellikleri

VO_x ince filmlerinin kristal yapıları, kristalleşme düzeyleri, örgü sabitleri ve parametreleri, tane büyüklüğü gibi bazı yapısal özelliklerinin belirlenebilmesi ve bu yapısal özellikleri üzerine taban sıcaklığının etkisinin incelenebilmesi için x-ışını kırınımı (XRD) yöntemi kullanılmış ve bunun için filmlerin XRD desenleri toz metodu kullanılarak $20 \leq 2\theta \leq 80^{o}$ kırınım açısı aralığında alınmıştır. XRD yöntemi ile her bir kristalin kendine özgü atomik dizilimleri incelenmekte olup, malzemenin kristal ya da amorf yapıda olup olmadığı, kristal fazları gibi bazı yapısal parametreleri analiz edilmektedir.

4.1.1. X-ışınları

X-ışınları Alman bilim adamı W.C. Röntgen tarafından 1895 yılında keşfedilmiş elektromanyetik dalgalardır. İlk bulundukları zaman özellikleri bilinemediği için "X" harfi ile temsil edilmiş olan x-ışınlarının dalga boyu 0,1-100Å arasında değişmektedir.

Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi vakum tüpü içerisinde elektronların hızlandırılması ile metal hedefin bombardımanı sonucunda hem hedef metale özgü karakteristik x-ışınları hem de sürekli spektrum gözlenir. Karakteristik x-ışınları hedef metalin atomlarının iç kabuklarındaki elektron geçişleri ile meydana gelirken, sürekli spektrum ise hedef metali bombardıman etmek için kullanılan elektronların yavaşlatılması sonucu oluşur. Kristal yapıdaki bir maddenin iki atomu arasındaki mesafe yaklaşık olarak ~1-3Å civarında olduğu için atomik boyutlarda sağlıklı yapısal analizler yapabilmek için dalgaboyu bu aralığa sahip x-ışınları kullanılmaktadır (Turtan, 2005). Katı malzemelerin kristal yapılarının analiz edilmesinde kullanılan x-ışınlarının dalga boyları yaklaşık olarak ~0,5-2,5Å arasındadır (Smith, 1990; Cullity, 1966; Kabak, 2004, Sarıca, 2012).

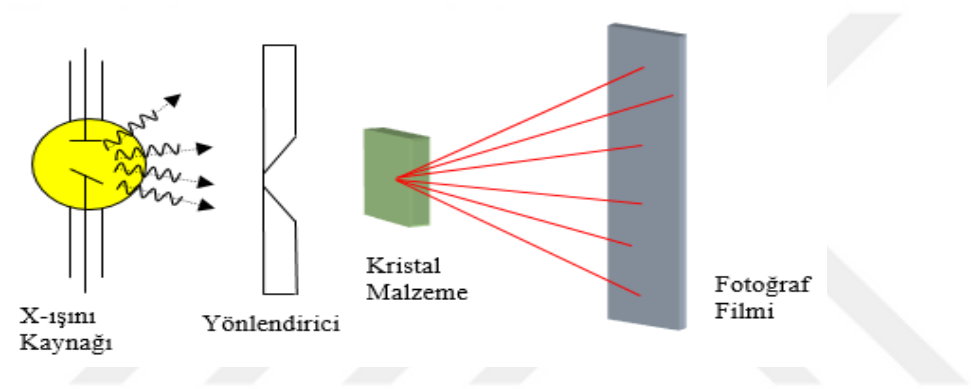


Şekil 4.1. X-ışını tüpü şematik diyagramı

X-ışınları, günümüzde tıp alanında nükleer görüntülemede ve endüstride çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Endüstrideki kullanım alanları enerji üretimlerinde, reaktör çalışmalarında ve özellikle inşaat sektöründe tahribatsız (hasarsız) muayene adında blokların iç kesitlerinin görüntülenmesinde kullanılmaktadır (Kabak, 2004).

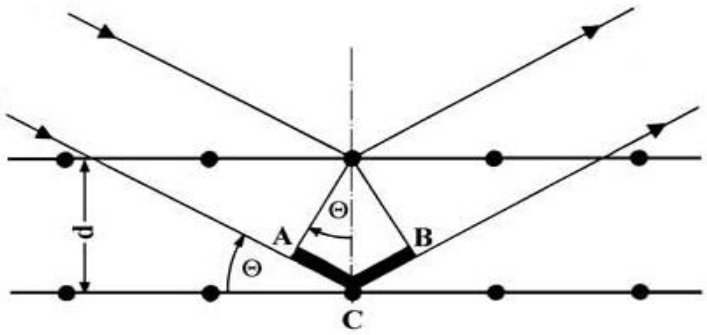
4.1.2. X-ışını Kırınımı (XRD)

İlk kez Max van Laue tarafından kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişleri x-ışını kırınım desenleri kullanılarak incelenmeye başlanmıştır. Kristal malzeme üzerine gönderilen x-ışını demeti, kristal yapı içerisinde kırınım uğrar. Kırınıma uğrayan x-ışınları belirli doğrultularda fotoğraf filmi yüzeyinde kırınım deseni oluşturur.



Şekil 4.2. X-ışını kırınım desenlerinin oluşumu

Saçılma ile dalga boyu değişmeyen ışınlar kırınım ve girişim olayını gerçekleştirirler (Turton, 2005; Dikici, 2012). X-ışınları kristal malzeme üzerine gönderildiğinde kristaldeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılırlar. Bu saçılmalar Bragg kırınımları olarak adlandırılırlar.



Şekil 4.3. Kristal düzlemde x-ışınları kırınımı

Şekil 4.3'te $|AC| + |CB|$ arası mesafe (iki ışın arasındaki yol farkı), ışının dalga boyunun tam katları olması durumunda yapıcı girişim oluşur ve kırınım olayı gerçekleşir. Bragg kırınım yasası,

$$n\lambda = 2\,\mathrm{d}\sin\theta \qquad \textbf{(4.1)}$$

denklemi ile verilir. Burada λ x-ışının dalga boyu, d paralel düzlemler arası mesafe ve θ x-ışının kristalin yüzeyi ile yaptığı açı olup, Bragg açısıdır. Kristal yapıda olan malzemeler için x-ışını kırınım yöntemleri; Laue metodu, toz kristal metodu ve döner kristal metodudur (Warren, 1969; Durlu, 1996; Yıldız ve ark., 1993). Laue yöntemi özellikle tek kristallerin yapısını belirlemek için kullanılmaktadır. Döner kristal metodu, tek dalga boyunda olan x-ışını kullanılarak tek kristal numunelerinin incelenmesinde kullanılan yöntemdir. Toz kristal yönteminde ise tek kristal malzemeler yerine toz haline getirilmiş polikristal malzemelerin yapısal özellikleri belirlenir. Toz kristal yöntemiyle toz taneciklerinin büyüklüğü,

$$D = {0{,}94\lambda}\Big/{\beta cos\theta} \qquad \textbf{(4.2)}$$

denklemi ile verilen Scherrer bağıntısı ile belirlenmektedir. Burada D taneciğin çap olarak büyüklüğü, λ kullanılan x-ışının dalgaboyu, β dikkate alınan pikin radyan cinsinden yarı pik genişliği (FWHM) ve θ ise dikkate alınan pikin Bragg açısıdır (Hammond, 1997, Mahalingamve ark., 2006; Zak ve ark., 2011).

Toz kırınım metodu polikristal malzemelerin taneciklerinin bütün tanelerinin doğrultularının farklı olduğunu varsaymaktadır. Fakat taneciklerinin tane yönelimlerinin baskın olduğu doğrultular vardır. Bu tür doğrultular tercihli yönelim olarak adlandırılır. Tercihli yönelim,

$$TC = \frac{{I_{(hkl)}}\Big/{I_{0(hkl)}}}{N^{-1}\left[\sum_N {I_{(hkl)}}\Big/{I_{0(hkl)}}\right]} \qquad \textbf{(4.3)}$$

denklemi ile verilen TC (texture coefficient) yapılanma katsayısı belirlenerek tespit edilir. Burada I kırınıma uğramış x-ışını şiddeti, I_0 gelen x-ışını şiddeti ve N ise yönelim sayısıdır

(Mariappan ve ark., 2011; Rashidi ve ark., 2011; Fanni ve ark., 2014; Yapan, 2014). İnce film malzemelerin kristalleşme seviyeleri,

$$\delta = {}^{n}/_{D^2} \tag{4.4}$$

denklemi ile verilen çizgisel kusur yoğunluğu (δ) ile belirlenir. Burada, D tane büyüklüğünü ve n herhangi bir tamsayıyı ifade etmekte olup, minimum çizgisel kusur yoğunluğu n=1 için elde edilir. Kristalleşme seviyesinin iyi olması δ değerinin küçük olduğu durumlarda meydana gelir (Williamson ve ark., 1956; Mariappan ve ark., 2011). Kristal yapısı incelenen malzemelerin birim hücresinin örgü sabitleri, düzlemler arası mesafe ve miller indisleri arasında geometrik bir bağıntı vardır. Kristal yapısı ortorombik olan sistem için örgü parametreleri a, b, c olup bu örgü sabitleri birbirine eşit değildir ($a \neq b \neq c$) ve birim hücrenin hacmi V ile gösterilmektedir. Fakat örgü sabitleri arasındaki açılar ortorombik yapı özelliği ($\alpha = \beta = \gamma$) sayesinde birbirlerine eşittir ve;

$${}^{1}/_{d^2} = h^2/a^2 + k^2/b^2 + l^2/c^2 \qquad V = a.b.c \tag{4.5}$$

ifadeleri ile verilirler. Aynı şekilde monoklinik yapı için bu ilişkiler;

$${}^{1}/_{d^2} = 1/sin^2\beta(h^2/a^2 + k^2 sin^2\beta/b^2 + l^2/c^2 - 2hlcos\beta/ac)$$
$$V = a.b.c.sin\beta \tag{4.6}$$

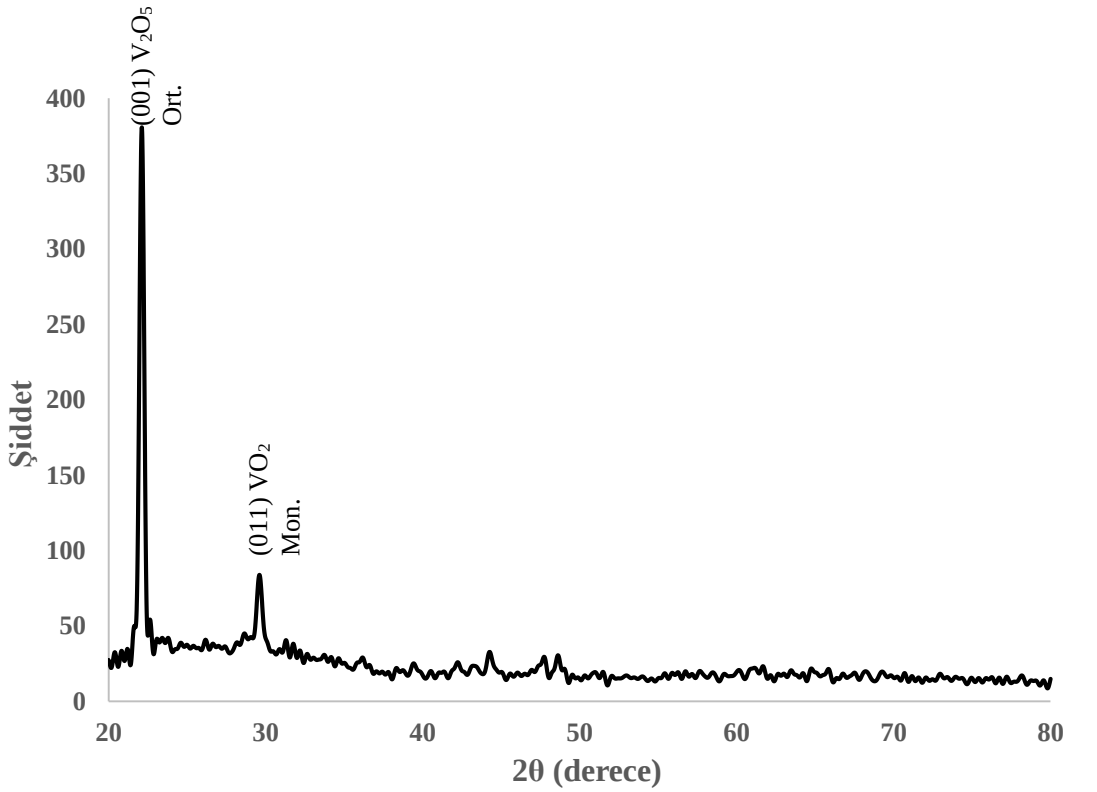
şeklindedir. Burada, h, k, l miller indislerini, d düzlemler arası mesafeyi a, b, c ise örgü sabitlerini ifade etmektedir (Cullity, 1956; Aksoy ve Önel, 2000; Pecharsky ve Zavalij, 2005; Hammad, 2009) .

4.1.3 VO_x Filmlerinin Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

VO_x ince filmlerinin yapısal özelliklerinin incelenmesi için gerekli kırınım desenlerinin alınmasında Rigaku Ultima-IV marka X-Işını Kırınım Cihazı kullanılmıştır. Büyütülen tüm filmlere ait x-ışını kırınım desenleri 1,5409Å dalga boyuna sahip CuK_α x-ışını kullanılarak, toz kırınım yöntemi ile $20 \leq 2\theta \leq 80^o$ kırınım açısı aralığında alınmıştır.

ASTM (American Society for Testing Materials) kartları kullanılarak her bir film için x-ışını kırınım deseninde gözlemlenen piklere ait kristal yapısı, kristal sistemleri ve miller indisleri (hkl) belirlenmiştir. VO_x ince filmlerinin tercihli yönelimlerinin belirlenmesinde, öncelikle kırınım desenindeki her bir pik için yapılanma katsayıları (TC) hesaplanmıştır. En yüksek yapılanma katsayısına sahip olan pik filmlerin tercihli yönelimi olarak kabul edilmiştir. Ortalama tane büyüklükleri en yüksek yapılanma katsayısına sahip pikler dikkate alınarak, denklem 4.2. ile verilen Scherrer denklemi ile ve çizgisel kusur yoğunlukları ise denklem 4.4 kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.4.'te 200ºC taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin x-ışını kırınım desenleri verilmektedir. Bu kırınım deseninde iki adet birbirinden farklı şiddet ve genişliklere sahip belirgin pikler gözlenmektedir. Bu piklere ait 2θ açısı, β (yarı pik genişliği), d (düzlemler arası mesafe), (hkl) miller indisleri, D (tane büyüklüğü), kristal fazı, I (şiddet), δ (çizgisel kusur yoğunluğu), TC (yapılanma katsayısı) gibi belirlenen yapısal parametreler Çizelge 4.1'de listelenmiştir. 2θ=22,14º'deki pik diğer pike göre şiddeti ve yapılanma katsayısı daha büyük olduğu için 200ºC'de üretilen VO_x filmlerinin tercihli yönelimi (001) doğrultusunda ve ortorombik yapıdadır, kristal fazı ise V_2O_5'dir. 2θ=22,14º kırınım açısında yer alan diğer pik (011) yönelimine sahip ve VO_2 monoklinik yapıdadır.



Şekil 4.4. 200ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni

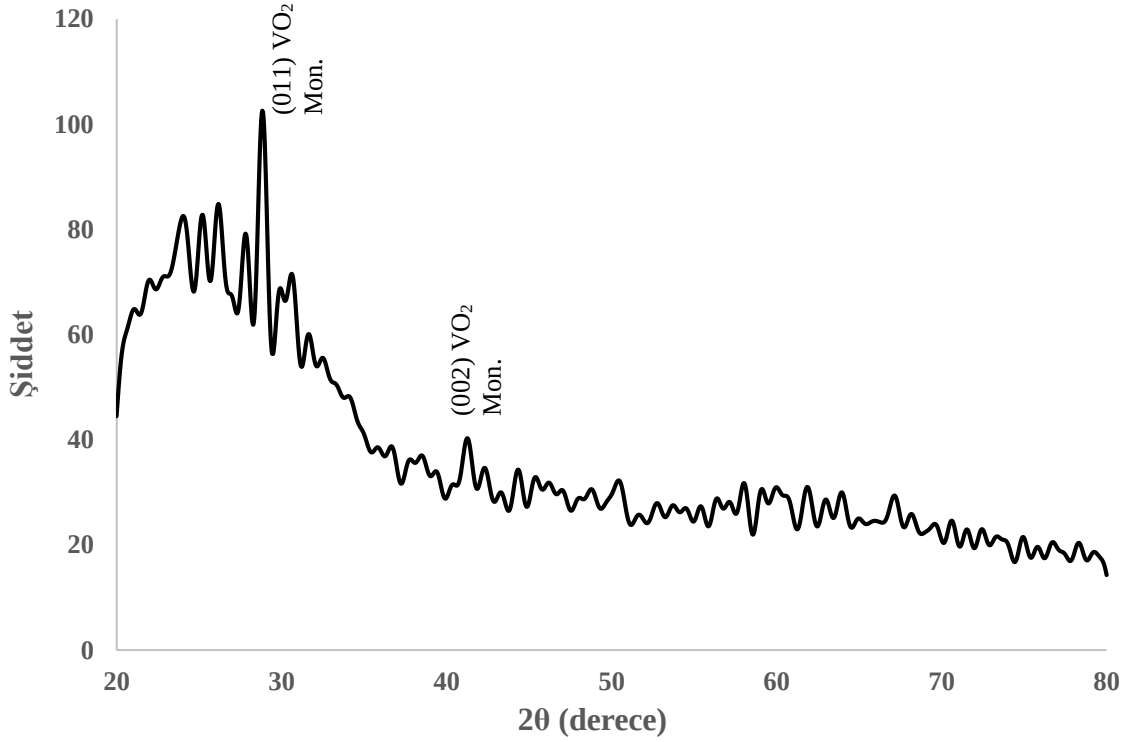
Çizelge 4.1. 200ºC'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri

2θ (derece)	d	(hkl)	Faz Yapısı	I	TC	D (Å)	$\beta\ (rad) \times 10^{-3}$	$\delta \times 10^{-6}$
22.14	4.0125	(001)	V_2O_5 Ort.	35	1.631	420	3,52	5,67
29.56	3.0101	(011)	VO_2 Mon.	8	0.368	320	4,70	9,76

Şekil 4.4 incelendiğinde, X ışını kırınım deseni üzerindeki özellikle tercihli yönelim için pik şiddetlerinin keskin ve yarı pik genişliklerinin dar olması filmlerin kristalleşmesinin iyi olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.5'de 250ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım desenleri gösterilmektedir. Bu kırınım deseni üzerinde iki adet birbirinden farklı şiddet ve genişliklere sahip pikler gözlenmektedir. Şekil 4.5.'deki x ışını kırım deseninde gözlemlenen piklere ait hesaplanan bazı yapısal veriler ise Çizelge 4.2.' de belirtilmiştir.

2θ=28,86º'deki pik diğer pike göre şiddeti daha büyük ve yapılanma katsayısı daha büyük olduğu için, bu filmlerin tercihli yöneliminin (011) doğrultusunda ve VO_2 monoklinik yapıda olduğu belirlenmiştir. Bir diğer belirgin pik ise 2θ=41,26º'deki (002) yöneliminde ve VO_2 ortorombik yapıdadır.



Şekil 4.5. 250ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni

250ºC'de üretilen VO_x filmlerinin kırınım deseni üzerindeki pik şiddetlerinin düşük olduğu ve yarı pik genişliklerinin geniş olduğu ve böylelikle kristalleşmenin biraz kötü olduğunu söyleyebiliriz. Aynı zamanda 200ºC'de üretilen filmlerin kırınım deseni ile kıyaslandığında, öncelikle pik şiddetlerinin önemli derecede azaldığı, tane boyutlarının küçüldüğü, kristalleşmenin kötüleştiği ve amorf yapıya doğru kaydığı görülmektedir. Aynı zamanda 200ºC'deki filmlerin kırınım deseninde görülen (001) V_2O_5 fazının bu filmler için görülmediği, bunun sonucu olarak hem kristal yapının ortorombik yapıdan monoklinik yapıya geçiş yaptığı hem de tercihli yönelimin değiştiği hem de kristalleşmenin kötüleştiği göze çarpan belirgin yapısal değişimler olup, bu bağlamda taban sıcaklığının önemli rol oynadığını söyleyebiliriz.

Çizelge 4.2. 250ºC'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri

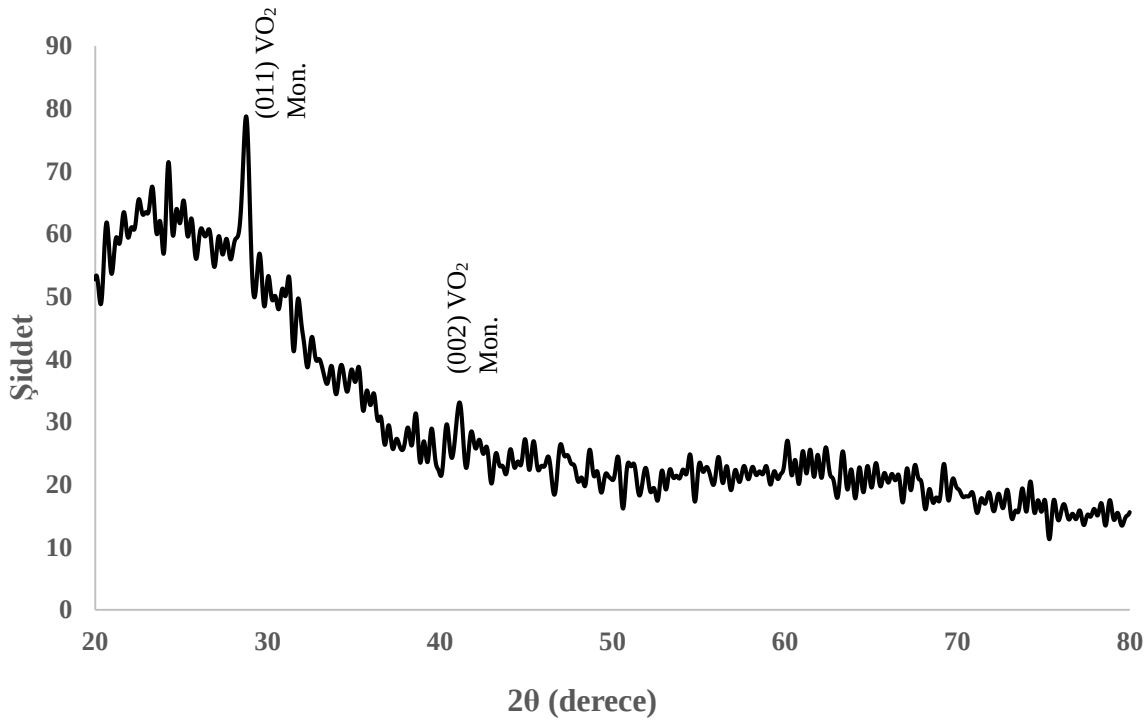
2θ (derece)	d	(hkl)	Faz Yapısı	I	TC	D (Å)	$\beta\ (rad) \times 10^{-3}$	$\delta \times 10^{-6}$
28.86	3.0917	(011)	VO_2 Mon.	147	1.454	294	3.25	11.5
41.26	2.1867	(002)	VO_2 Mon.	55	0.545	236	2.18	17.9

300ºC taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin x-ışını kırınım deseni Şekil 4.6.'da ve bu kırınım desenine ait bazı yapısal parametreler ise Çizelge 4.3'de verilmektedir. Bu kırınım deseninde belirgin olarak iki adet birbirinden farklı şiddet ve genişliklere sahip pikler gözlenmekte olup aynı zamanda çok küçük şiddetli farklı pikler de göze çarpmaktadır.

Çizelge 4.3. 300°C'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri

2θ (derece)	d	(hkl)	Faz Yapısı	I	TC	D (Å)	$\beta\ (rad) \times 10^{-3}$	$\delta \times 10^{-6}$
28.8	3.0980	(011)	VO_2 Mon.	98.33	1.268	216	0.98	21.4
41.04	2.1979	(002)	VO_2 Mon.	56.66	0.731	282	0.78	12.5

2θ=28,8º'deki deki pik diğer belirgin pike göre daha şiddetli ve yapılanma katsayısı daha büyük olduğu için bu pik 300℃ taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin tercihli yönelimi olarak belirlenmiş olup, (011) doğrultusunda ve VO_2 monoklinik kristal yapısındadır. Diğer belirgin pik ise 2θ=41,04º kırınım açısında (002) yöneliminde ve VO_2 monoklinik yapıdadır.

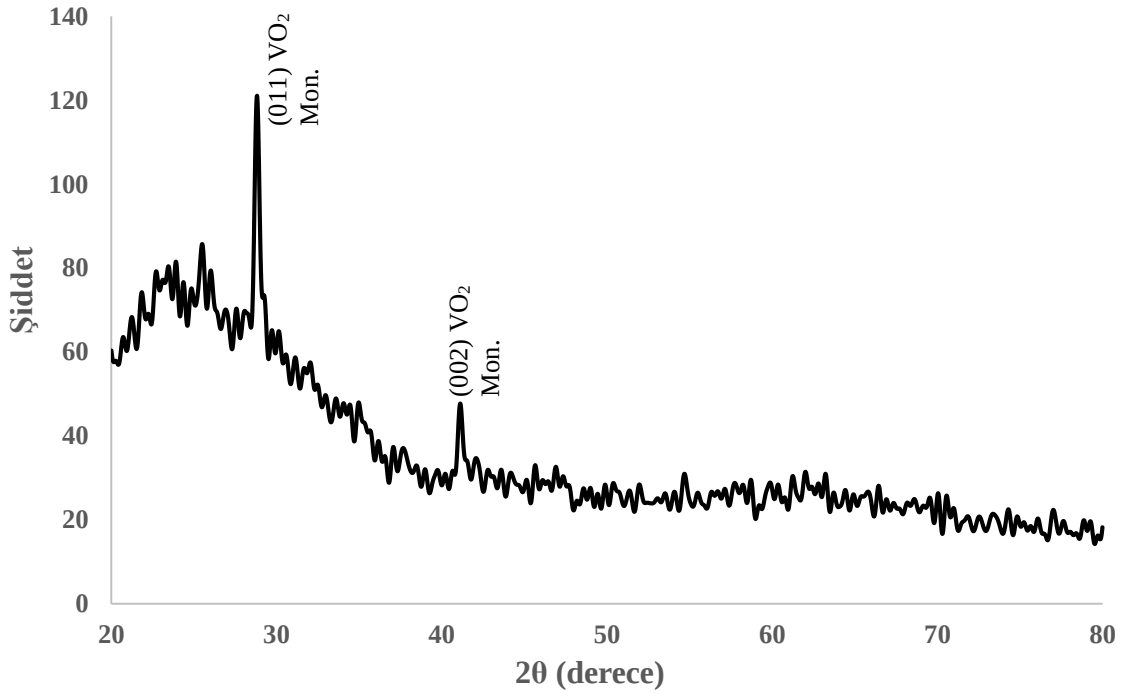


Şekil 4.6. 300ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni

300ºC taban sıcaklığında üretilen filmlerin kırınım deseni üzerindeki pik şiddetlerinin düşük ve yarı pik genişliklerinin geniş olması bu filmler için kristalleşmenin biraz kötü olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda 200ºC ve 250ºC'de üretilen filmlerin kırınım desenleri ile kıyaslandığında, 200ºC'dekine göre pik şiddetlerinin önemli derecede azaldığı, tane boyutlarının küçüldüğü, kristalleşmenin kötüleştiği ve amorf yapıya doğru kaydığı, fakat 250ºC'deki filmlere göre ise pik şiddetlerinde çok küçük bir azalmanın olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 200ºC'deki filmlerin kırınım deseninde görülen (001) V_2O_5 fazının bu filmler için de görülmediği, bunun sonucu olarak kristal yapının ortorombik yapıdan monoklinik yapıya geçiş yaptığı, fakat 250ºC'deki filmlere göre ise yapısal fazlarda herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 4.7.' de 350ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni verilmiş olup, bu kırınım deseni kullanılarak hesaplanan bazı yapısal veriler ve parametreler ise Çizelge 4.4'de listelenmiştir. Bu kırınım desenlerinde de diğer tüm fillerde olduğu gibi iki adet birbirinden farklı şiddetlere ve yarı pik genişliklerine sahip pikler gözlenmektedir.

$2\theta=28,78^{o}$ kırınım açısına sahip pik diğer pike göre daha keskin ve yapılanma katsayısı daha büyüktür. Bu sebeple bu filmler için tercihli yönelim (011) doğrultusunda, monoklinik yapıda ve faz yapısı VO_2 olarak belirlenmiştir. $2\theta=41,04^{o}$ kırınım açısına sahip diğer pik ise (002) VO_2 monoklinik yapıdadır.



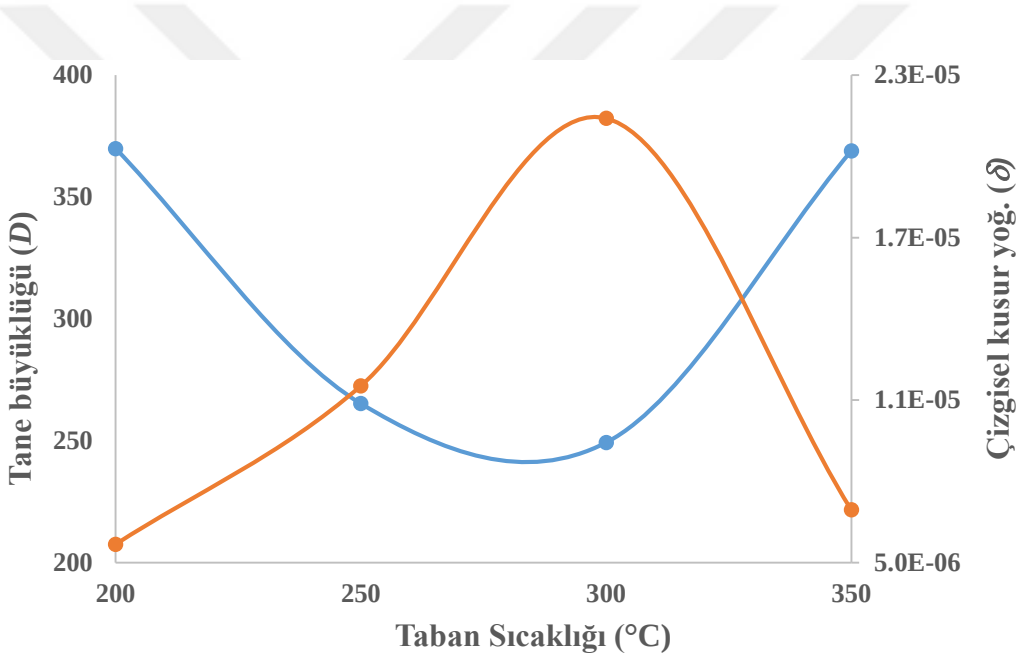
Şekil 4.7. 350ºC'de üretilen VO_x filmlerinin x ışını kırınım deseni

Çizelge 4.4. 350°C'de üretilen filmlerin x ışını kırınım deseni verileri

2θ (derece)	d	(hkl)	Faz Yapısı	I	TC	D (Å)	$\beta\ (rad) \times 10^{-3}$	$\delta \times 10^{-6}$
28.78	3.1001	(011)	VO_2 Mon.	128	1.362	379	5.11	6.9
41.04	2.1907	(002)	VO_2 Mon.	60	0.637	358	1.55	7.7

350ºC taban sıcaklığında üretilen filmlerin kırınım deseni üzerindeki pik şiddetlerinin nispeten şiddetli ve yarı pik genişliklerinin dar olması bu filmler için kristalleşmenin daha iyi olduğunu göstermektedir. Diğer taban sıcaklıklarında üretilen VO_x filmlerinin kırınım desenleri ile kıyaslandığında, 200ºC'dekine göre pik şiddetlerinin biraz azaldığı, tane boyutlarının küçüldüğü, kristalleşmenin kötüleştiği, fakat 250ºC ve 300ºC'deki filmlere göre ise pik şiddetlerinde artmanın gözlendiği ve kristalleşmenin daha iyi olduğu ve tekrar bir iyileşmenin olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 200ºC'deki filmlerin kırınım deseninde görülen (001) V_2O_5 fazının bu filmler için de görülmediği, bunun sonucu olarak kristal yapının ortorombik yapıdan monoklinik yapıya geçiş yaptığı, fakat 250ºC ve 300ºC'deki filmlere göre ise yapısal fazlarda herhangi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

VO_x filmlerinin tercihli yönelimleri için hesaplanan ortalama tane büyüklükleri (D) ve çizgisel kusur yoğunluklarının (δ) taban sıcaklığına bağlı değişim grafiği Şekil 4.8.'de verilmektedir. Taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak, 300ºC taban sıcaklığına kadar çizgisel kusur yoğunluğu artarken tane büyüklüğünün küçüldüğü, bu sıcaklıktan sonra ise çizgisel kusur yoğunluğunun azaldığı ve tane büyüklüğünün ise tekrar artmaya başladığı görülmektedir. Bir malzeme için çizgisel kusur yoğunluğunun küçük ve tane büyüklüğünün yüksek olması, o malzemenin kristalleşme kalitesinin iyi olduğunu ifade etmektedir. Bu durumda da bu tez çalışmasındaki filmler için 200ºC'deki filmlerin kristalleşmesinin iyi olduğu fakat taban sıcaklığı arttıkça hem kristalleşme kalitesinin bozulduğu hem de yapının değiştiği belirlenmiş olup, bu durumun 350ºC'deki filmler için tekrar olumlu yönde değişmeye başladığı görülmektedir.



Şekil 4.8. VO_x filmlerinin tane büyüklükleri ve çizgisel kusur yoğunlukları

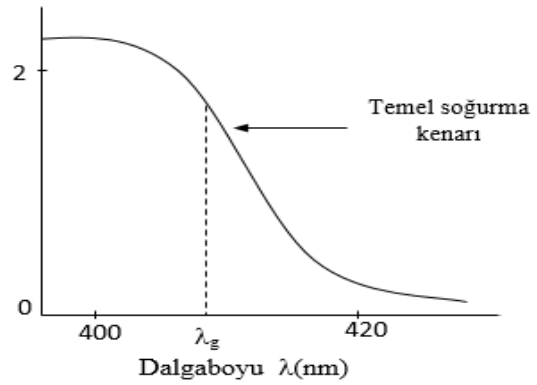
Sonuç olarak, VO_x filmlerinin yapısal analizlerinin detaylı bir şekilde incelenmesinin sonucunda; 200 ve 350°C civarındaki taban sıcaklıklarında filmlerin kristalleşme kalitesinin iyi olduğu ve vanadyum oksitin farklı fazlara sahip olduğu belirlenmiştir. Filmlerin üretimi için 350°C taban sıcaklığının üzerine çıkıldığında ise kristalleşmenin daha da düzeleceğini, büyük olasılıkla vanadyum oksitin farklı fazlarının da ortaya çıkabileceğini öngörmekteyiz ve bu tez çalışmasından daha sonraki yapılabilecek olası çalışmalar için önerilmesinin uygun olacağını düşünmekteyiz.

4.2. Yarıiletken Malzemelerin Optiksel Özellikleri

Son yıllarda yarıiletkenler, temel bileşeni olduğu optoelektronik aygıtlarda sıklıkla kullanılmakta olup, teknolojik aygıtlarla entegrasyonu sonucu insanoğlunun günlük yaşantısını her açıdan oldukça kolaylaştırmakta ve verimli duruma getirmektedir.

Yarıiletken bir malzeme üzerine foton gönderilmesi ile malzemenin elektronlarının fotonlarla etkileşmesi sonucu çeşitli optik olayların meydana geldiği veya tespit edildiği bilinmektedir. Bu optik olaylar; soğurma, yansıma, geçirgenlik ve kırılma olarak adlandırılır (Askeland, 1998). Optoelektronik cihazların çalışma prensibi, yarıiletken malzemenin elektronları ile fotonların etkileşmesi sonucu malzeme içindeki serbest yük taşıyıcılarının oluşturulması esasına dayanır (Sing, 1995). Yarıiletkenler üzerine gönderilen fotonlar sayesinde bazı yarıiletken malzemeler kendine özgü özellikler sergilemektedirler. Bu özelliklerden bazıları opak, yansıtıcı ve geçirgen olmalarıdır (Ziman, 1972; Grundmann, 2010). Yarıiletkenler üzerine gönderilen fotonlar malzeme üzerinden geçerken dalga boylarının bazıları kaybolur. Bunun sebebi yarıiletken malzeme üzerine gönderilen foton ile yarıiletkenin yüklerinin etkileşmesinden kaynaklanmaktadır. Bu etkileşimin sonucunda enerji kaybı yaşanır ve bu enerji kaybı soğurma olarak adlandırılmaktadır.

Yarıiletkenler üzerine gönderilen fotonlar uzun dalga boylarına sahip ise geçirgenlik olayının, kısa dalga boylarına sahip ise soğurma olayının gerçekleşmesi olasılığı yüksektir. Şekil 4.9'da görülen dalgaboyuna karşılık optik soğurma değişim grafiğinde, uzun dalgaboylarında ($h\nu$ küçük) ihmal edilebilir bir soğurma ve hc/E_g'den daha küçük dalgaboylarının önemli bir optik soğurma vardır (Rudden ve Wilson., 1980).



Şekil 4.9. Yarıiletken malzeme için temel soğurma spektrumu

Temel soğurma olayının gerçekleşmesi için, belli bir frekansa sahip fotonlar yarıiletken malzeme üzerine gönderildiğinde, denklem 4.7 ile verildiği gibi fotonun enerjisinin yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük olması gerekmektedir. Böylece valans bandında bulunan bir elektronun iletim bandına uyarılması olayı gerçekleşir. Yarıiletkenlerde soğurma ya da geçirgenlik gönderilen fotonun $h\nu$ enerjisine ve yarıiletkenin E_g yasak enerji aralığına bağlıdır (Streetman, 1980).

$$h\nu \geq E_g \tag{4.7}$$

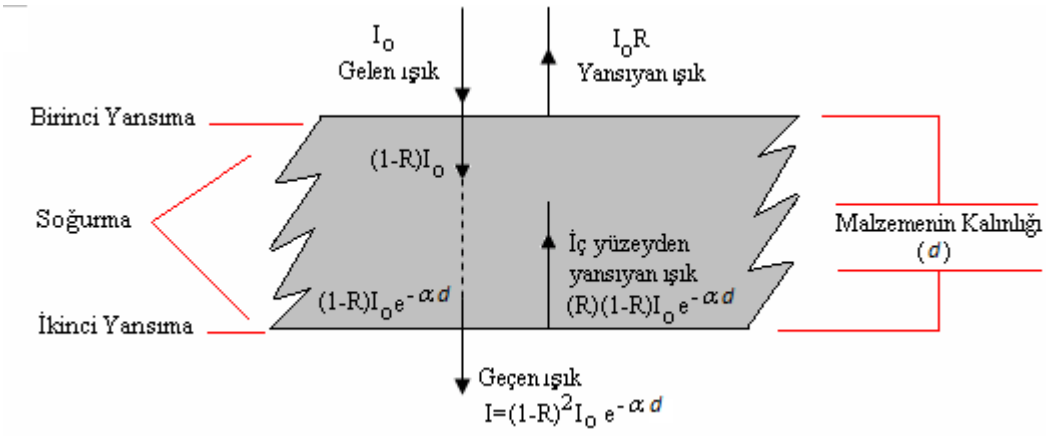
Temel soğurma bölgesindeki geçişler direkt ve indirekt olmak üzere ikiye ayrılır (Bilgin, 2003; Streetman, 1980). Direkt ve indirekt geçişlerde elektronlar valans bandından iletim bandına geçiş yaparlar. Geçişler aynı olmasına rağmen elektronların tercih ettikleri yollar farklı olabilir (Atay, 2002). Bant geçişleri;

$$n_o \alpha h\nu \sim (h\nu - E_g)^n \tag{4.8}$$

denklemi ile belirlenir. Bu denklem n_o kırılma indisi; α ve gönderilen fotonun enerjisi $h\nu$ ile E_g arasındaki ilişkiyi verir ve n ile gösterilen izinli direkt geçişler için 1/2 ve izinsiz geçişler için 3/2 değerini alan bir sabittir. (Kim ve ark.,2000; Ammar, 2002; Natsume ve ark., 2000; Park ve Mackenzie, 1995; Terrier ve ark., 1997; Bouderbala ve ark., 1999; Derraz ve ark., 2002). Temel soğurma spektrumunu kullanarak bir yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığı;

$$(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu \tag{4.9}$$

değişim grafiğinden faydalanılarak bulunur. Bu değişim grafiğinin lineer kısmının $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2 = 0$ noktasında kestiği nokta ise o malzemenin yasak enerji aralığını vermektedir (Silva ve ark., 1999; Paraguay ve ark. 1999; Purica ve ark., 2002; Qadri ve ark., 2000; Lokhande ve Uplane ve ark., 2000; Derraz ve ark., 2002; Zhang ve ark., 2001; Nag, 1980; Ammar, 2002). Yarıiletken malzeme üzerine gönderilen ışığın malzemeden geçen şiddeti, malzemenin alt ve üst yüzeyleri tarafından yansıtılan ve soğurulan ışık şiddetine bağlıdır. Malzeme üzerine dik olarak gönderilen bir ışık için optik süreçler; Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Yarıiletkene ışığın dik geliş durumu; soğurma, geçirme ve yansıma

Gelen ışığın yarıiletkenin alt yüzeyine gelen şiddeti $(1-R)(I_oe^{-\alpha d})$, alt yüzeyden yansıyan ışığın şiddeti ise $(R)(1-R)(I_oe^{-\alpha d})$ ile gösterilir. Yarıiletken malzemenin alt yüzeyine gelen ışık ile alt yüzeyinden yansıyan ışık şiddeti arasındaki fark, malzemeyi geçen ışık şiddetine eşit olacaktır. (Smith, 1990; Sze, 1981).

$$I = (1-R)^2(I_oe^{-\alpha d}) \quad \textbf{(4.10)}$$

Yarıiletken malzemenin geçirgenlik katsayısı T, geçirgenlik yüzde oranı $\%T$, yansıma katsayısı R, yansıma yüzde oranı $\%R$, soğurma A, lineer soğurma katsayısı α, kalınlık ise d olmak üzere;

$$T = {}^{I}/_{I_0} \quad \textbf{(4.11)}$$

$$\%T = {}^{T}/_{100} \quad \textbf{(4.12)}$$

$$R = 1 - \left[\left(\frac{\%T}{100}\right)A\right]^{1/2} \quad \textbf{(4.13)}$$

$$\%R = \frac{R}{100} \quad \textbf{(4.14)}$$

$$A = log_{10}\%T = log_{10}\frac{{}^{I}/_{I_0}}{100} \quad \textbf{(4.15)}$$

$$\alpha = {}^{A}/_{d} \tag{4.16}$$

denklemleriyle verilmektedir (Askeland, 1998; Kittel, 1996; Köse ve ark., 2004). Ayrıca lineer soğurma katsayısının yansıma, geçirgenlik ve film kalınlığına bağımlılığı denklem 4.17 ile de verilmektedir (Altıokka ve Aksay, 2005).

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \tag{4.17}$$

Benzer olarak;

$$\alpha = 2{,}303 \frac{log_{10}({}^{I}/_{I_o})}{d} \tag{4.18}$$

lineer soğurma katsayısı bu bağıntıyla da verilebilir (Smith, 1990; Bilgin, 2003). λ dalga boylu ve şiddeti I_o olan ışığı yarıiletken malzeme üzerine düşürdüğümüzde bu ışığın bir kısmı malzemeyi geçecek (I_T), bir kısmı yansıyacak (I_R) ve bir kısmı soğurulacaktır (I_A). Dolayısıyla gelen ışık, bu üç ışık şiddetinin toplamına eşit olacaktır (Smith, 1990).

$$I_o = I_T + I_R + I_A \tag{4.20}$$

Denklem 4.20 diğer bir şekilde herhangi bir yarıiletken malzeme için,

$$1 = T + R + A \tag{4.21}$$

şeklinde verilebilir. Ayrıca soğurmanın maksimum olduğu durumda yarıiletken malzemeyi geçen ışığın şiddeti $I = 0$' dır (Callister, 2004).

Yarıiletken üzerine gelen ışık malzemenin içinden geçerken bir miktar enerji kaybına uğrar. Enerjinin kaybolmasıyla birlikte gelen ışığın hızında düşme meydana gelir, böylelikle ışık demeti yön değiştirir ve kırılma olayı gerçekleşir. Gelen ışığın boşluktaki hızının malzeme içindeki hızına oranı yarıiletken malzemenin kırılma indisi olarak tanımlanır ve herhangi bir yarıiletken malzeme için;

$$n = n_o - ik \tag{4.22}$$

denklemi ile verilir. Yarıiletken malzemenin kompleks kırılma indisinin gerçek kısmı (n_o) gelen ışığın malzemede kırılmaya uğramasını, sanal kısmı (k) ise malzemede soğurma ölçüsü olan sönüm katsayısını ifade eder (Goca, 1993). n kırılma indisi ve yansıma arasındaki bağıntı;

$$n_o = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad \textbf{(4.23)}$$

şeklindedir ve denklem 4.23 ışığın yarıiletken malzemedeki kırılmasını verir. Denklem 4.23' deki k değeri yarıiletken malzeme içindeki soğurmanın ölçüsü olup, sönüm katsayısı olarak ifade edilir ve denklem 4.24 ile verilir (Askeland, 1998; Kittel, 1996; Tigau, ve ark., 2004; Köse ve ark., 2004).

$$k = {a\lambda}/{4\pi} \quad \textbf{(4.24)}$$

Yarıiletken malzemelerde kırılma indisi atom numarasıyla doğru orantılıdır. Dolayısıyla elektron sayısı ne kadar fazla ise kırılma indisi de o kadar büyük olur (Van Vlack, 1998). Yarıiletken malzemelerin kırılma indisi büyük olanlar düşük kırılma indisine sahip olanlardan daha yüksek yansıma değerine sahiptir (Askeland, 1998). Yarıiletken malzemelerin valans bandıyla iletim bandı arasındaki geçişler soğurma kenarının oluşumunu sağlamaktadır, böylelikle yasak enerji aralığının altındaki doğrudan geçişlerde soğurma olayı gözlemlenmez. Fakat uygulamada, genelde üstel (eksponansiyel) olarak artan bir soğurma kenarı oluşumu gözlenmektedir. Doğrusal (lineer) soğurma katsayısı α'nın foton enerjisi ($h\nu$) ile bağlantısı;

$$\alpha(h\nu) = \alpha_0 e^{h\nu/E_0} \quad \textbf{(4.25)}$$

denklemi ile verilir ve Urbach kuralı olarak bilinmektedir. Burada E_0,

$$E_0 = \left(\frac{d(ln\alpha)}{d(h\nu)}\right)^{-1} \quad \textbf{(4.26)}$$

denklemi ile ifade edilir ve Urbach enerjisi olarak ifade edilmektedir. Burada E_0'ın değeri $\ln(\alpha)$'nın $(h\nu)$' ye göre değişim grafiğinin doğrusal kısmının eğiminden bulunur. Birimi

enerji biriminde olup yasak enerji aralığındaki yerleşik enerji seviyeleri uzantısının genişliği olarak ifade edilmektedir (Pankove, 1971; Natsume ve ark., 2000; Vigil ve ark., 2000; Ikhmayies ve ark., 2013; Shin ve ark., 2013; Choudhury ve ark., 2014).

4.2.1. VO_x Filmlerinin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi

Farklı taban sıcaklıklarında büyütülen VO_x ince filmlerinin soğurma ve geçirgenlik spektrumları 300-900 nm dalga boyu aralığında, Shimadzu SolidSpec-2550 UV-VIS-NIR Spektrofotometresi ile alınmıştır. Bu ölçümlerden faydalanılarak filmlerin soğurma, geçirgenlik, yansıma gibi bazı optiksel özellikleri incelenmiştir. Üretilen VO_x ince filmlerinin soğurma (A) ve geçirgenlik (T) spektrumlarını kullanlarak, sönüm sabitleri (k), yansıma katsayıları (R), yasak enerji aralıkları E_g, kırılma indisleri (n) hesaplanarak her bir optiksel parametrenin dalga boyuna göre değişimleri incelenmiştir.

Farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x ince filmlerinin yüzde geçirgenliklerinin $(\%T)$ dalga boyuna göre değişim grafikleri Şekil 4.11.'de ve bu değişim grafiğine ait verileri Çizelge 4.5.'de listelenmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin görünür bölgede yaklaşık olarak %30 civarında optiksel geçirgenliğe sahip oldukları belirlenmiş ve taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak optiksel geçirgenliğin arttığı gözlenmiştir. 200°C'de üretilen filmlerin kristalleşme düzeylerinin diğer sıcaklıklarda üretilen filmlerden daha iyi olmasına rağmen geçirgenlik değerinin düşük olmasının kristal yapı farklılığından kaynaklandığını düşünmekteyiz. 200°C de üretilen filmler ortorombik V_2O_5 yapısında iken diğer sıcaklıklarda üretilen filmler için baskın yapının monoklinik VO_2 yapısında olduğu XRD sonuçlarından görülmektedir. Diğer taraftan, 250-350°C'de üretilen filmler arasındaki geçirgenlik değerinin değişiminin ise filmlerin kristalleşme düzeyleri ile ilşkilendirilebileceğini ve bu yüzden bu filmler arasındaki en iyi kristalleşmeye sahip 350°C'deki filmlerin de en yüksek geçirgenliğe sahip olduğıunu söyleyebiliriz. VO_x ince filmlerin optiksel geçirgenliklerinin dalga boyuna göre değişimi incelendiğinde ise, her bir film için azalan dalga boyuna bağlı olarak geçirgenliklerin 550 nm'den daha düşük dalgaboyları için azaldığı ve temel soğurma olayının başladığı görülmektedir.

Farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x ince filmlerinin optik soğurma (A) spektrumlarının dalga boyuna göre değişim grafikleri Şekil 4.12'de ve bu spektruma ait optik soğurma verileri ise Çizelge 4.6.'da verilmektedir. VO_x ince filmlerinin yaklaşık olarak 550-900 nm dalga boyu aralığında düşük soğurma değerlerine sahip oldukları ve bütün filmler için soğurma değerlerindeki belirgin artışın yaklaşık olarak 550 nm'den daha kısa dalgaboylarında gerçekleştiği görülmektedir. VO_x filmlerinin temel soğurma kenarının

yaklaşık olarak 400-500 nm arasında olduğu ve taban sıcaklığı arttıkça filmlerin temel soğurma kenarının daha kısa dalgaboylarına doğru hafifçe kaydığı görülmektedir.

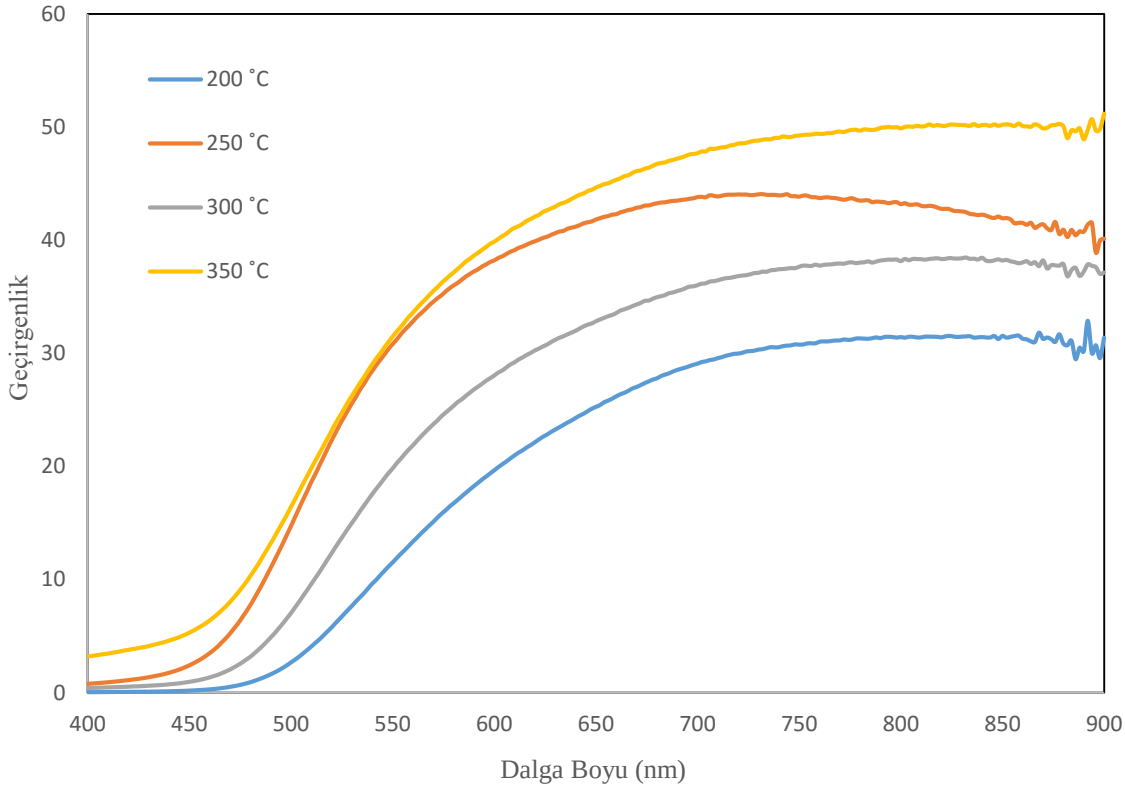
Artan taban sıcaklığına bağlı olarak VO_x ince filmlerinin yüzde yansımalarının dalga boyuna göre değişim grafiği Şekil 4.13'te, bu grafiğe ait veriler ise Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu veriler incelendiğinde, 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin görünür bölgede yaklaşık olarak %30 civarında yansımaya sahip oldukları ve taban sıcaklığı arttıkça filmlerin yansıma değerlerinde gözle görülür bir azalışın olduğu belirlenmiştir. 200°C'de üretilen VO_x filmlerin yasıma değerlerinin diğer filmlere nispeten daha yüksek olmasının kristal yapı farklılığından ve filmlerin kristalleşme düzeylerinin diğer filmlere nazaran çok daha kaliteli olmasından kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Aynı zamanda tüm filmler için, daha kısa dalgaboylarına doğru gidildikçe malzeme yüzeyine gönderilen ışığın enerjisinin artması, malzeme elektronlarıyla daha çok etkileşmesi ve böylece kırıcılığın artması sonucu olarak yansımanın arttığı görülmektedir.

VO_x filmlerinin sönüm katsayılarının dalga boyuna göre değişim grafiği Şekil 4.14'te ve bu grafiğe ait veriler Çizelge 4.8'de verilmiştir. 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin görünür bölgede düşük bir ortalama sönüm katsayısına sahip oldukları ve taban sıcaklığı arttıkça filmlerin sönüm katsayısı değerlerinde küçük bir azalışın olduğu belirlenmiştir. VO_x filmlerin uzun dalga boylarında sönüm katsayılarının dalga boyuna bağlı değişimlerinin hemen hemen sabit olduğu, daha kısa dalga boylarına doğru gidildikçe ise arttığı tespit edilmiştir. Kısa dalga boylarında sönüm katsayısının artmasının sebebinin soğurmanın artmaya ve geçirgenliğin azalmaya başlamasıyla ilgili olduğunu söyleyebiliriz.

VO_x ince filmlerinin kırılma indislerinin dalga boyuna göre değişim grafiği Şekil 4.15'te ve bu grafiğe ait veriler Çizelge 4.9'da verilmiştir. 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin kırılma indilerinin 650-900 nm aralığındaki ortalama değeri yaklaşık 3,3 civarında olduğu ve taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak kırılma indilerinde azalmanın olduğu belirlenmiştir. 200°C'de üretilen VO_x filmlerin kırılma indisi değerlerinin diğer filmlere nazaran daha yüksek olmasının kristal yapı farklılığından, filmlerin kristalleşme düzeylerinin diğer filmlere nazaran çok daha kaliteli olmasından ve yüksek yansıma değerlerine sahip olmasından kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz. Aynı zamanda VO_x filmleri için, uzun dalgaboylarından daha kısa dalgaboylarına gidildikçe kırılma indislerinin arttığı görülmektedir. Malzeme üzerine gelen fotonların enerjileri arttığında, elektronlar ile daha kuvvetli etkileşecekler ve böylece daha çok kırılmaya uğrayacaklardır. Bunun sonucu olarak da malzemenin kırılma indisinin daha kısa dalgaboylarına doğru gidildikçe artması beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 4.5. VO_x filmlerinin optik geçirgenlik verileri

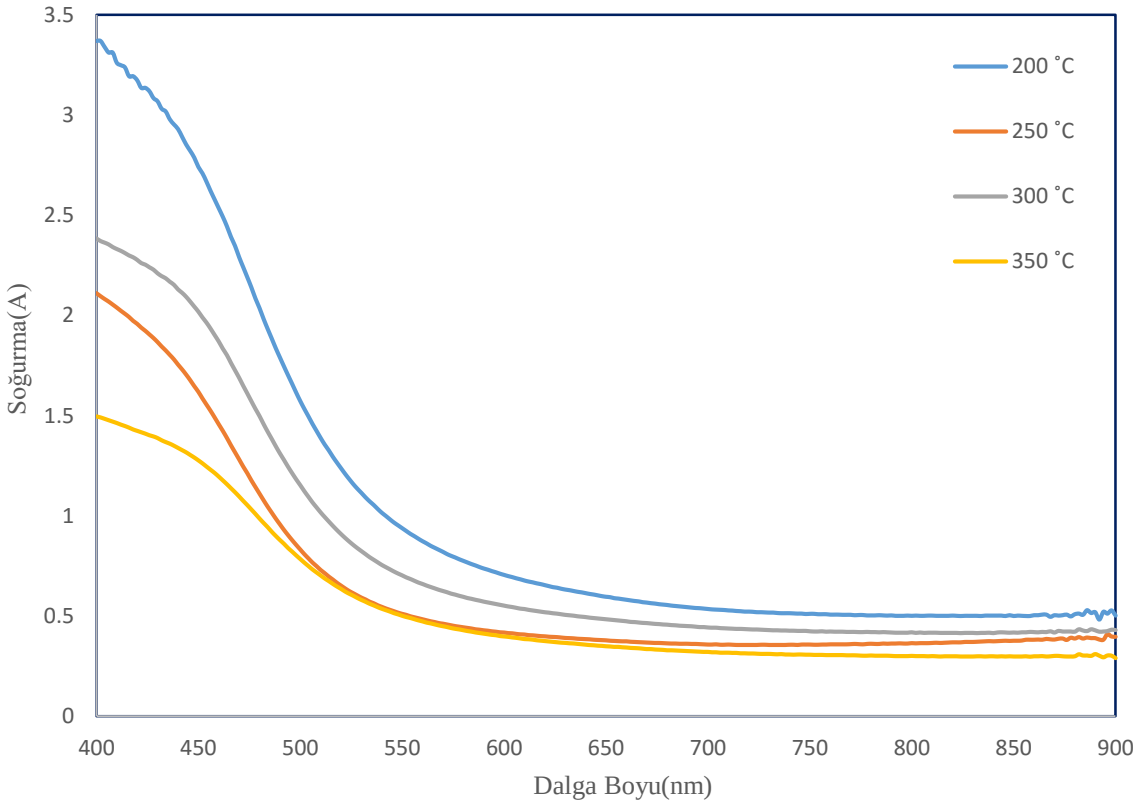
$\lambda\ (nm)$	**200** ℃	**250** ℃	**300** ℃	**350** ℃
400	0.043	0.774	0.414	3.195
450	0.182	2.406	0.958	5.29
500	2.672	14.722	7.037	16.403
550	11.517	30.815	19.823	31.468
600	19.658	38.213	28.035	39.861
650	25.269	41.829	32.825	44.649
700	29.094	43.81	36.02	47.681
750	30.775	43.843	37.646	49.246
800	31.445	43.185	38.148	49.886
850	31.546	41.934	38.196	50.2
900	31.386	40.129	37.135	51.18



Şekil 4.11. VO_x filmlerinin optik geçirgenlik spektrumları

Çizelge 4.6. VO_x filmlerinin optik soğurma verileri

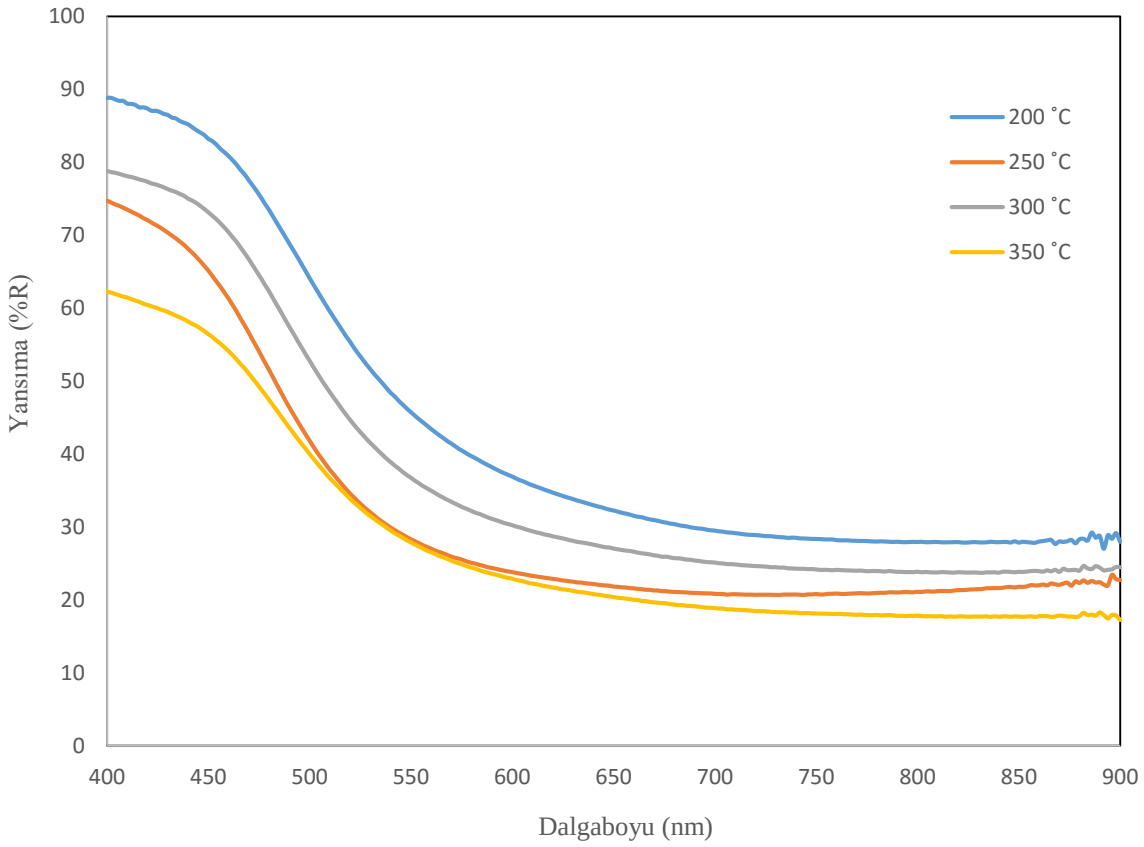
$\lambda\ (nm)$	**200** ℃	**250** ℃	**300** ℃	**350** ℃
400	3.369	2.111	2.384	1.496
450	2.741	1.619	2.019	1.277
500	1.573	0.832	1.153	0.785
550	0.939	0.511	0.703	0.502
600	0.706	0.418	0.522	0.399
650	0.597	0.379	0.484	0.35
700	0.536	0.358	0.443	0.322
750	0.512	0.358	0.424	0.308
800	0.502	0.365	0.419	0.302
850	0.501	0.377	0.418	0.299
900	0.503	0.397	0.43	0.291



Şekil 4.12. VO_x filmlerinin optik soğurma spektrumları

Çizelge 4.7. VO_x filmlerinin optik yansıma verileri

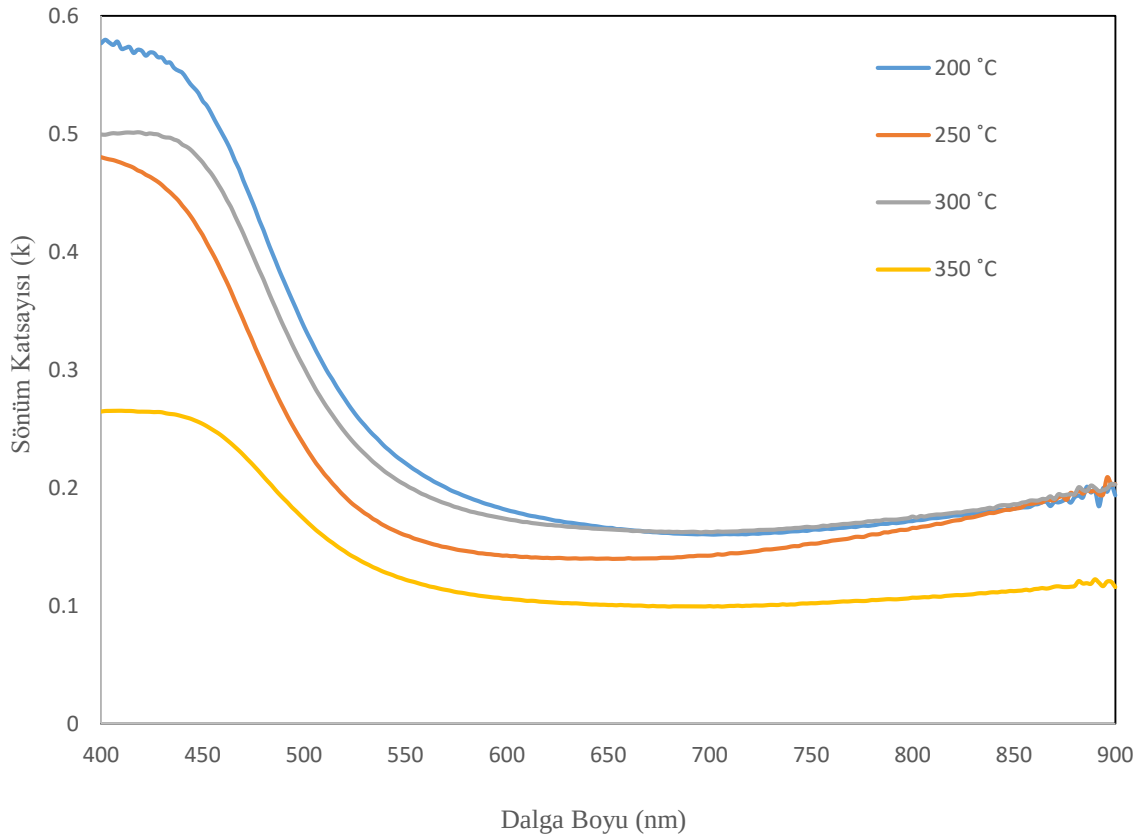
$\lambda\ (nm)$	**200** ℃	**250** ℃	**300** ℃	**350** ℃
400	88,82	74,72	78,80	62,23
450	83,20	65,14	73,14	56,44
500	64,10	41,83	52,78	40,03
550	45,72	28,32	36,72	27,89
600	36,89	23,81	30,22	22,92
650	32,24	21,83	27,02	20,40
700	29,48	20,83	25,10	18,88
750	28,33	20,80	24,15	18,14
800	27,92	21,12	23,84	17,85
850	27,84	21,81	23,83	17,72
900	27,95	22,74	24,44	17,25



Şekil 4.13. VO_x filmlerinin yüzde yansıma spektrumları

Çizelge 4.8. VO_x filmlerin sönüm katsayısı verileri

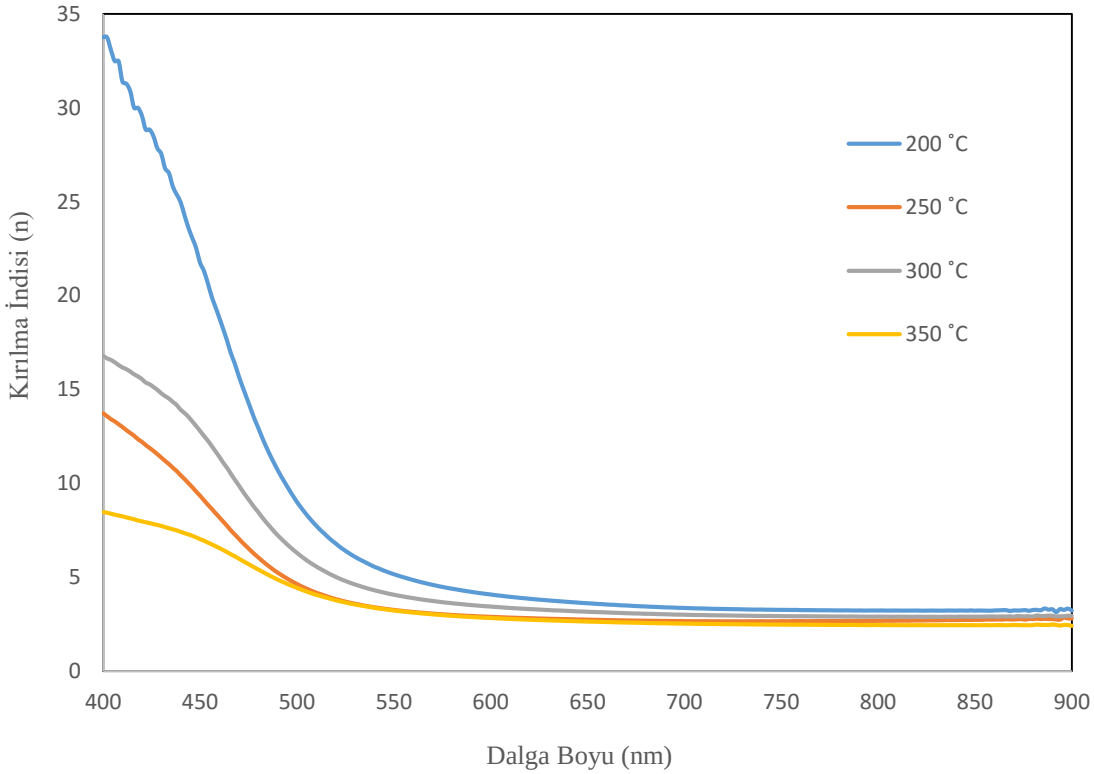
$\boldsymbol{\lambda}$ $(\boldsymbol{nm})$	**200** ℃	**250** ℃	**300** ℃	**350** ℃
400	0,576	0,480	0,499	0,264
450	0,527	0,414	0,475	0,254
500	0,336	0,236	0,301	0,173
550	0,181	0,142	0,173	0,122
600	0,166	0,140	0,164	0,105
650	0,160	0,142	0,162	0,100
700	0,164	0,152	0,166	0,099
750	0,171	0,166	0,175	0,102
800	0,182	0,182	0,186	0,106
850	0,193	0,203	0,202	0,112
900	0,576	0,480	0,499	0,115



Şekil 4.14. VO_x filmlerinin sönüm katsayısı spektrumları

Çizelge 4.9. VO_x filmlerinin kırılma indisi verileri

$\lambda\ (nm)$	**200** ℃	**250** ℃	**300** ℃	**350** ℃
400	33,75	13,73	16,80	8,46
450	21,75	9,35	12,79	7,03
500	9,02	4,65	6,29	4,43
550	5,16	3,26	4,06	3,23
600	4,08	2,89	3,43	2,83
650	3,61	2,74	3,15	2,64
700	3,36	2,67	2,99	2,53
750	3,26	2,66	2,92	2,47
800	3,23	2,68	2,89	2,45
850	3,22	2,73	2,89	2,44
900	3,23	2,80	2,94	2,41



Şekil 4.15. VO_x filmlerinin kırılma indisi spektrumları

Bu tez çalışmasında, farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x ince filmlerinin yasak enerji aralıklarını belirlemek için optik metot kullanılmıştır. Bunun için $(\alpha h\nu)^2$'nin $h\nu$' ye göre değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerin doğrusal kısmının eğiminin $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2 = 0$' da kestiği nokta filmlerin yasak enerji aralıkları olarak belirlenmiştir (Chavhan ve ark., 2005; Ikhmayies ve Bitar, 2010; Mariappan ve ark., 2011). Aynı zamanda, VO_x ince filmlerinin direkt band ya da indirekt band yapısına sahip olup olmadıklarının belirlenebilmesi için tüm filmlerin $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ ve $(\alpha h\nu)^{1/2}$- $h\nu$' ye göre değişim grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafiklerde $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ değişim grafiğinin eğiminin $(\alpha h\nu)^{1/2}$- $h\nu$'ye göre olan değişim grafiğinin eğiminden daha doğrusal olduğu belirlenmiş ve böylece VO_x ince filmlerinin direkt band yapısına sahip oldukları tespit edilmiştir. Bununla birlikte; VO_x ince filmlerinin $ln(\alpha)$- $h\nu$'ye göre çizilen değişim grafiklerinin eğimlerinden ise tüm filmler için denklem 4.26 ile verilen Urbach parametreleri (E_0) hesaplanmıştır.

200°C taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ değişim grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde; VO_x filmleri için, lineer soğurma katsayısındaki değişimin yaklaşık olarak 2.48 eV değerine kadar çok yavaş bir şekilde olduğu ve keskin artışın başladığı temel soğurma olayının bu enerji değerinden daha büyük enerji değerlerinde başladığı gözlenmektedir. 200°C taban sıcaklığında üretilen VO_x filmleri için; yasak enerji aralığı 2.37 eV ve Urbach parametresi ise E_0=134 meV olarak belirlenmiştir.

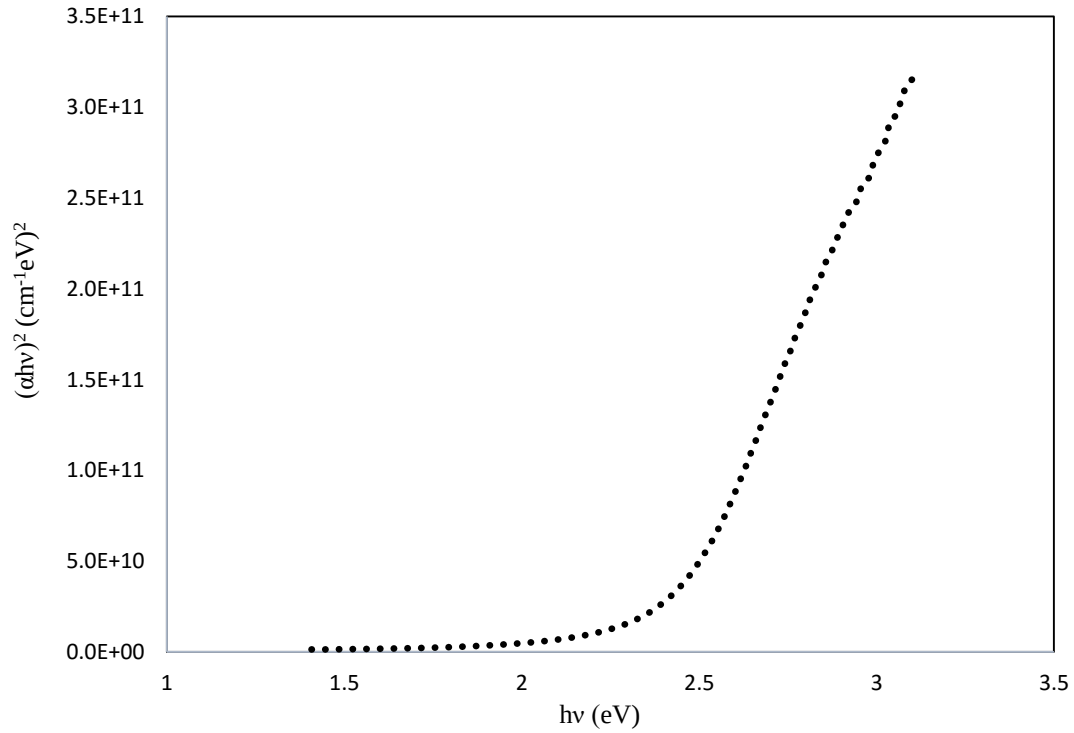
Şekil 4.17'de ise 250°C taban sıcaklığında üretilen VO_x ince filmlerinin $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ değişim grafiği verilmiştir. Buna göre 250°C taban sıcaklığında üretilen VO_x ince filmleri için lineer soğurma katsayısındaki artışın yaklaşık olarak 2,56eV değerine kadar yavaş bir şekilde olduğu, fakat bu değerden sonra keskin artışın başladığı gözlenmektedir. Bu filmler için yasak enerji aralığı 2,45eV ve Urbach parametresi ise 178 meV olarak bulunmuştur. 200°C taban sıcaklığında üretilen VO_x filmleri ile kıyaslandığında; hem yasak enerji aralığının hem de Urbach parametresinin arttığı belirlenmiştir. Bu değişimin XRD desenlerinden de tespit edildiği üzere hem kristal yapının değişmesinden hem de kristalleşme düzeyinin daha kötü olmasından dolayı kaynaklandığını düşünmekteyiz.

300°C ve 350°C taban sıcaklıklarında üretilen VO_x ince filmlerinin $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ değişim grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Her iki film için de lineer soğurma katsayısındaki artışın yaklaşık olarak 2,52eV enerji değerine kadar yavaş bir şekilde olduğu ve bu değerden sonra keskin bir şekilde artmaya başladığı temel soğurma

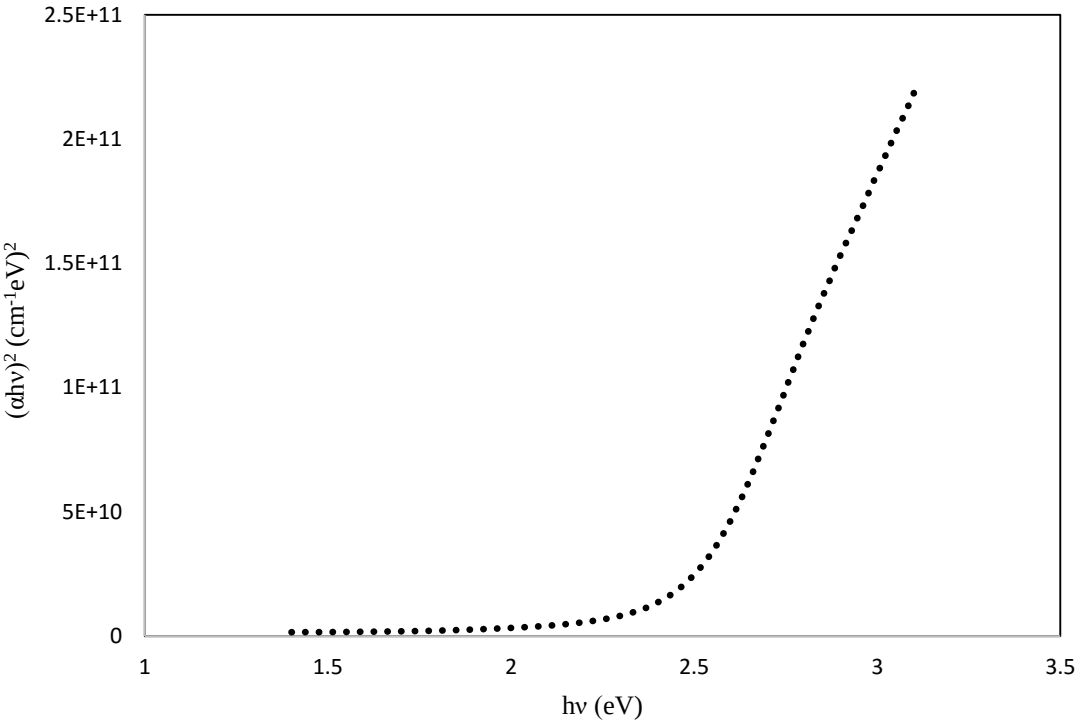
olayının gerçekleşmeye başladığı görülmektedir. 300°C taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin yasak enerji aralığı 2,41eV ve Urbach parametresi 172meV olarak, 350°C taban sıcaklığında üretilen VO_x ince filmleri için ise yasak enerji aralığı 2,48eV ve Urbach parametresi 145 meV olarak belirlenmiştir.

Farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x ince filmlerinin yasak enerji aralıkları ve Urbach parametreleri Çizelge 4.10'da ve bu optiksel parametrelerin taban sıcaklığına bağlı değişim grafikleri ise Şekil 4.20'de verilmektedir. Çizelge 4.10 ve Şekil 4.20 incelendiğinde; filmlerin yasak enerji aralığı değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. VO_x filmleri için literatürde rapor edilen yasak enerji aralıkları değerleri sıcaklık değişimine, katkılama cinsi ve oranına, filmlerin üretim tekniği ve süreci gibi farklı parametrelere bağlı olarak ~2,29-2,83eV arasında değişmektedir (Mane ve ark.,2015; Abyazisani ve ark., 2015; Margoni ve ark., 2016).

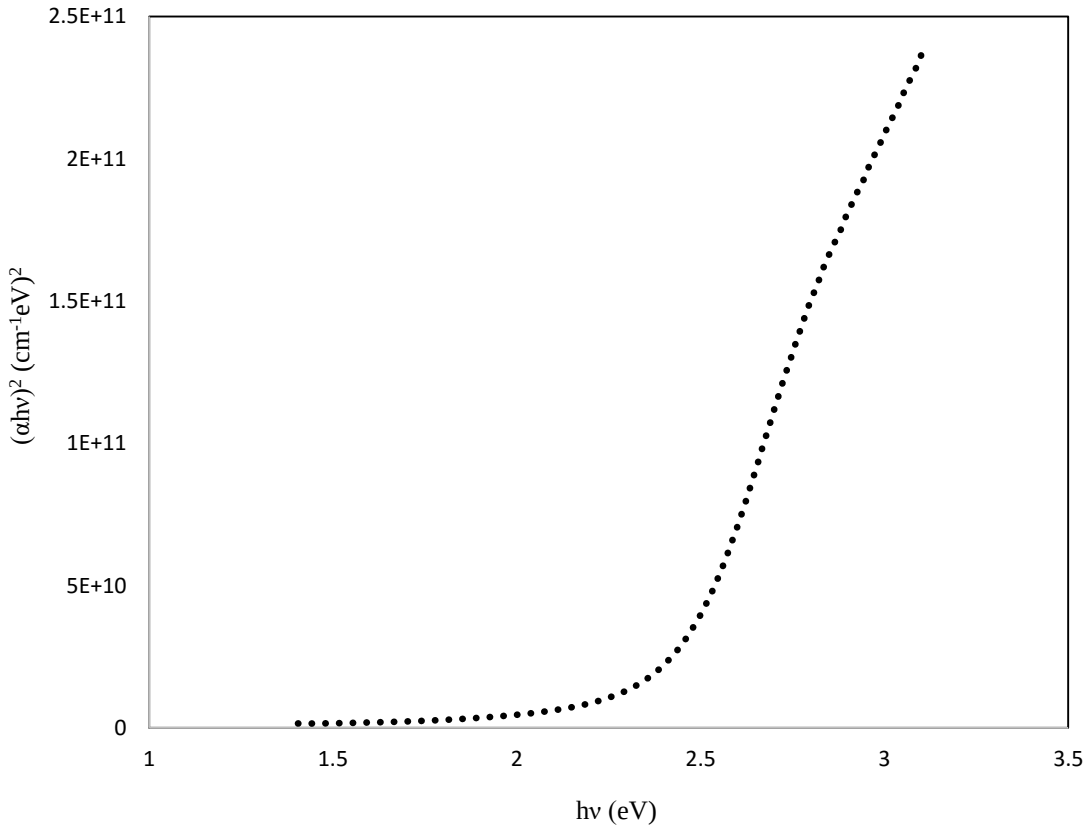
Aynı zamanda taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak bu optiksel parametrelerin değişimi değerlendirildiğinde; 200°C de üretilen filmlerin hem yasak enerji aralığı hem de Urbach parametresinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun 200°C'de üretilen filmlerin kristal yapısının diğer filmlerden farklı olması ve aynı zamanda kristalleşme düzeyinin daha kaliteli olmasından, yani kısacası kristal yapı farklılıklarından dolayı kaynaklandığını düşünmekteyiz. 250-350°C aralığında üretilen diğer filmler monoklinik VO_2 kristal yapısına sahip oldukları için, bu filmlerin E_g ve E_0 değerleri kendi arasında kıyaslama yapıldığında; kristalleşme düzeyi kalitesi açısından hemen hemen aynı özelliğe sahip 250 ve 300°C'de üretilen filmler için bu değerlerinde hemen hemen birbirlerine yakın olduğu, fakat bu filmlere nazaran daha iyi kristalleşmeye sahip olan 350°C'deki filmlerin yasak enerji aralığının arttığı ve Urbach parametresinin ise azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun da kristal yapıdaki düzelme ile ilişkilendirilebileceğini düşünmekteyiz.



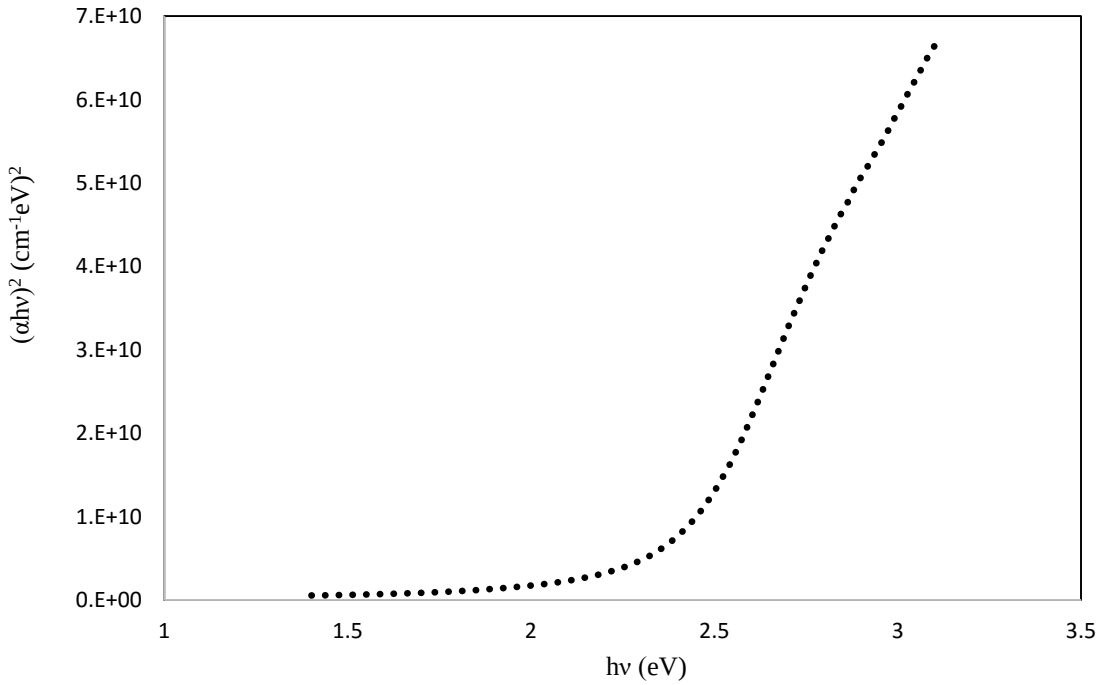
Şekil 4.16. 200°C'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği



Şekil 4.17. 250°C'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği



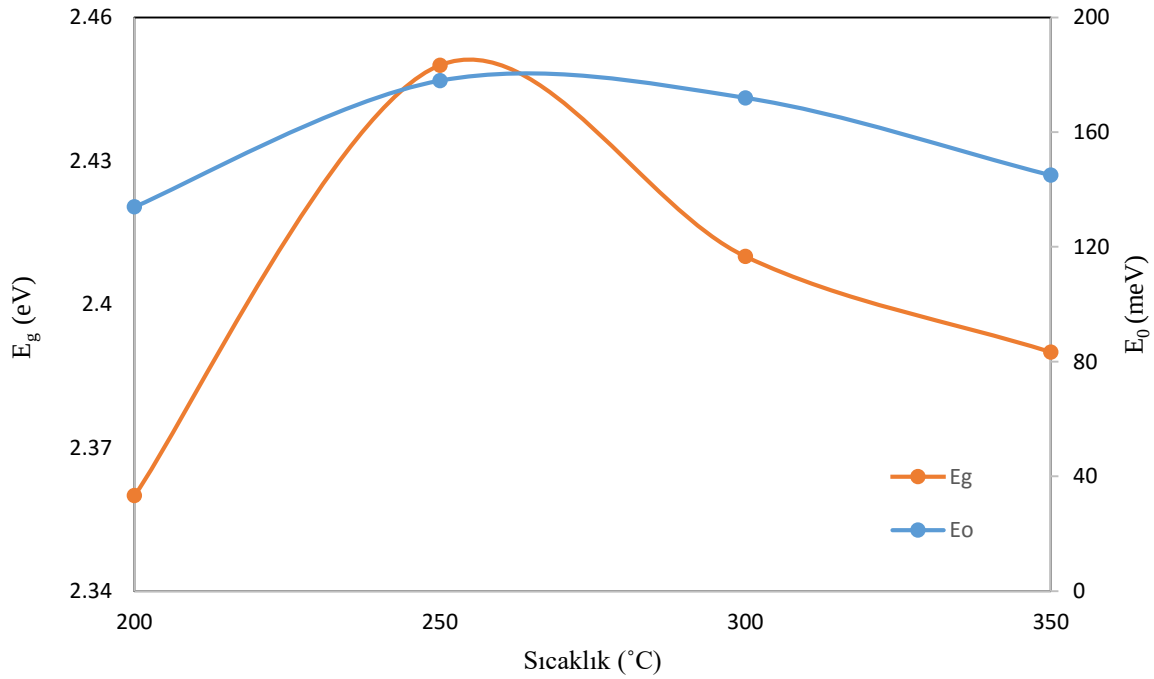
Şekil 4.18. 300°C'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği



Şekil 4.19. 350°C'de üretilen VO_x ince filmleri için $(\alpha h\nu)^2$- $h\nu$ grafiği

Çizelge 4.10. VO_x filmlerinin E_0 ve E_g değerleri

Sıcaklık (°C)	$E_0\ (meV)$	$E_g\ (eV)$
200	134	2,37
250	178	2,45
300	172	2,41
350	145	2,48



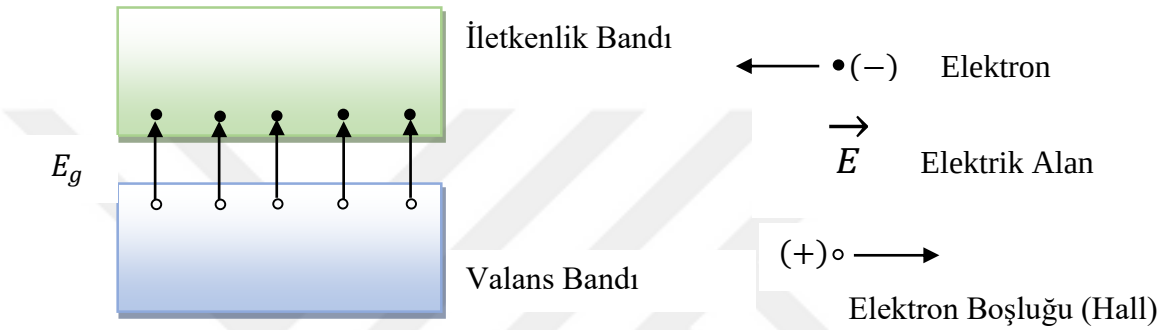
Şekil 4.20. VO_x ince filmlerinin taban sıcaklığına bağlı E_0 ve E_g değişim grafiği

4.3 Yarıiletken Malzemelerin Elektriksel Özellikleri

Yarıiletken mazlemelerin elektriksel özelliklerinin incelenmesi; bu malzemeler kullanılarak üretilecek optoelektronik aygıtların kaliteleri, verimlilikleri ve kullanılabilirlikleri açısından oldukça önemlidir. Yarıiletken malzemelerin elektriksel özellikleri özdirenç, iletkenlik, iletim mekanizmaları, taşıyıcı konsantrasyonu ve mobilitesi gibi bazı fiziksel özellikleri ile belirlenir. Yarıiletken malzemelerin üretim tekniği, katkılama cinsi ve miktarı, üretim parametreleri, üretim sonrası uygulanabilen birtakım işlemler, bu malzemelerin elektriksel özelliklerini önemli ölçüde etkileyen parametrelerdir. Metaller ve yarıiletkenlerin elektriksel iletim mekanizmalarını karşılaştırdığımızda; yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliğinin metallere göre oldukça düşük olmasına rağmen, yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliğinin ve özelliklerinin yukarıda belirtilen pek çok parametreye bağlı

olarak kontrol edilebilir olması ve geniş bir elektriksel iletkenlik aralığına sahip olması bu malzemeleri optoelektronik aygıtlar için vazgeçilmez kılmaktadır.

Yarıiletken bir malzemenin yasak enerji aralığı tipik olarak $1 < E_g < 3{,}5\ eV$ civarındadır. 0K sıcaklıkta yarıiletken malzemenin valans bandı tam dolu olup, yarıiletken hiçbir serbest taşıyıcıya sahip olmadığı için, yalıtkan özellik gösterir. Şekil 4.21'de verildiği gibi valans bandında bulunan bir elektron en az yasak enerji aralığı kadar bir enerjiye sahip olduğunda iletim bandına geçer ve yerinde hol denilen bir boşluk bırakır. Bu durumda hem elektron hem de hol elekriksel katkıda bulunurlar.



Şekil 4.21. Elektron-hol çifti oluşumu (Wilson ve Hawkes, 1989)

Yarıiletken malzeme üzerine elektrik alan uygulandığında, elektronlar ve holler üzerinde bir elektriksel kuvvet oluşturur. Böylelikle düşük elektrik altında yarıiletkenler metallere yakın bir seviyeye kadar iletkenlik gösterebilirler (Schroder, 2006). Metallerde iletkenlik serbest elektronlar sayesinde olurken, yarıiletkenlerde hem serbest yüklü parçacıklar (elektronlar) hem de holler (boşluklar) aracılığı ile olur (Dikici, 1993). Yarıiletkenlere elektrik alan uyguladığımızda yük taşıyıcıları ivme kazanır ve harekete başlar, yüklerin bu hareketine sürüklenme, hızlarına da sürüklenme hızı (v_s) denir ve oldukça düşük bir hızdır. Bu sürüklenme hareketi ile elektriksel iletim gerçekleşir. Bu da gösterir ki elektronlar ve hollerin oluşturacağı akım yoğunluğu (J), kendi yükleriyle hızlarının çarpımına eşit olacaktır. E elektrik alanını yarıiletken malzemeye uyguladığımızda, malzemede oluşacak toplam akım yoğunluğu J denklem 4.27'de verilmektedir. Burada; $-e$ elektron yükü, n elektronlar için taşıyıcı konsantrasyonu, v_e elektronun sürüklenme hızı; $+e$ holün yükü, p holler için taşıyıcı konsantrasyonu, v_h holler için sürüklenme hızıdır.

$$J = J_e + J_h = -env_e + epv_h \qquad \textbf{(4.27)}$$

Elektronun önündeki $(-)$ işareti, elektronun hareketinin yönünü belirtmektedir. Yarıiletken malzemeye elektrik alan uygulandığında elektronlar ve hollerin sürüklenme hızları elektrik alan büyüklüğü ile orantılı olmaktadır. Bu da bize yarıiletkenin mobilite özelliğini göstermektedir. Mobilite (μ) terim anlamı olarak birim elektrik alandaki yüklü parçacıkların hızı olarak adlandırılır ve,

$$\mu = \mu_e + \mu_h = \frac{v_e}{E} + \frac{v_h}{E} \quad \textbf{(4.28)}$$

denklemi ile verilir. Yarıiletkenlerde mobilite malzemenin sıcaklığına, cinsine ve saflığına bağlıdır. Bir malzemenin elektriksel iletkenliği birim elektrik alan (E) başına düşen akım yoğunluğuna eşit olup,

$$\sigma = {}^{J}/_{E} \quad \textbf{(4.29)}$$

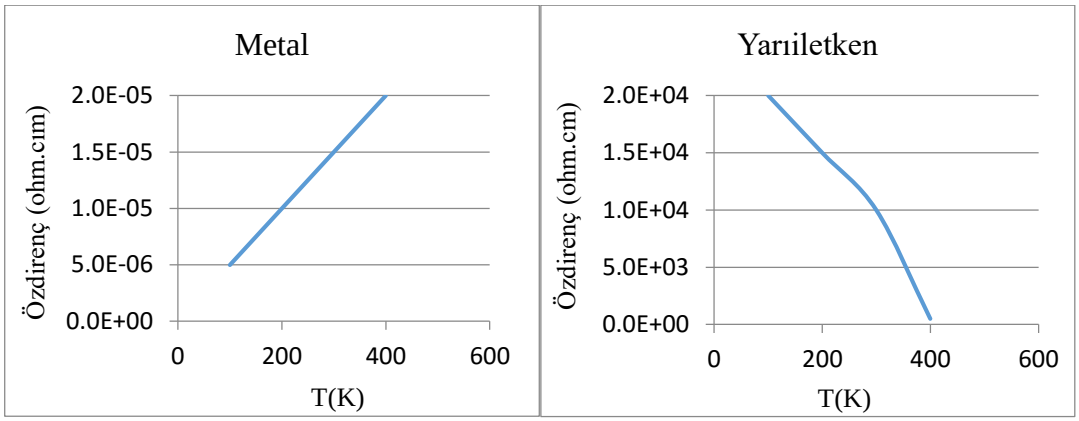
ile verilir. Elektrik alan altındaki yarıiletken malzemede elektron ve hollerin oluşturduğu toplam akım yoğunluğu ve elektriksel iletkenlik,

$$J = J_e + J_h = e(n\mu_e + p\mu_h)E \quad \textbf{(4.30)}$$

$$\sigma = e(n\mu_e + p\mu_p) \quad \textbf{(4.31)}$$

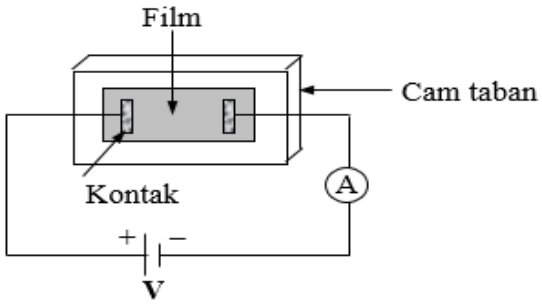
denklemleri ile ifade edilir.

Metaller ve yarıiletkenlerin elektriksel özdirençlerinin sıcaklığa bağlı değişimlerini kıyasladığımızda, Şekil 4.22'de verildiği gibi, metallerde sıcaklığın artmasına bağlı olarak elektriksel özdirencin arttığı, yarı iletkenlerde ise azaldığı bilinmektedir. (Caferov, 1998).



Şekil 4.22. Metal (Fe) ve yarıiletken (Si) özdirencinin sıcaklıkla değişimi (Caferov, 1998)

Yarıiletkenlerde elektriksel iletkenliğin ölçülmesi için iki uç, dört nokta uç ve Van der Pauw gibi çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmamızda farklı taban sıcaklıklarda üretilen VO_x ince filmlerin elektriksel özelliklerini incelemek ve özdirençlerini hesaplamak için Şekil 4.23'de şematik diyagramı verilen iki uç tekniği kullanılmıştır.



Şekil 4.23. İki uç tekniğinin şematik gösterimi

İki uç düzeneği oldukça basittir, taban üzerine yarıiletken ince film kaplandıktan sonra iki tane metal kontak yüzey üzerine yapılır. Daha sonra bu metal kontaklar bir ampermetre ve gerilim kaynağına bağlanır. Bu şekilde akım-voltaj (I-V) ölçümleri alınmaktadır. Bu ölçümlerden faydalanarak ve,

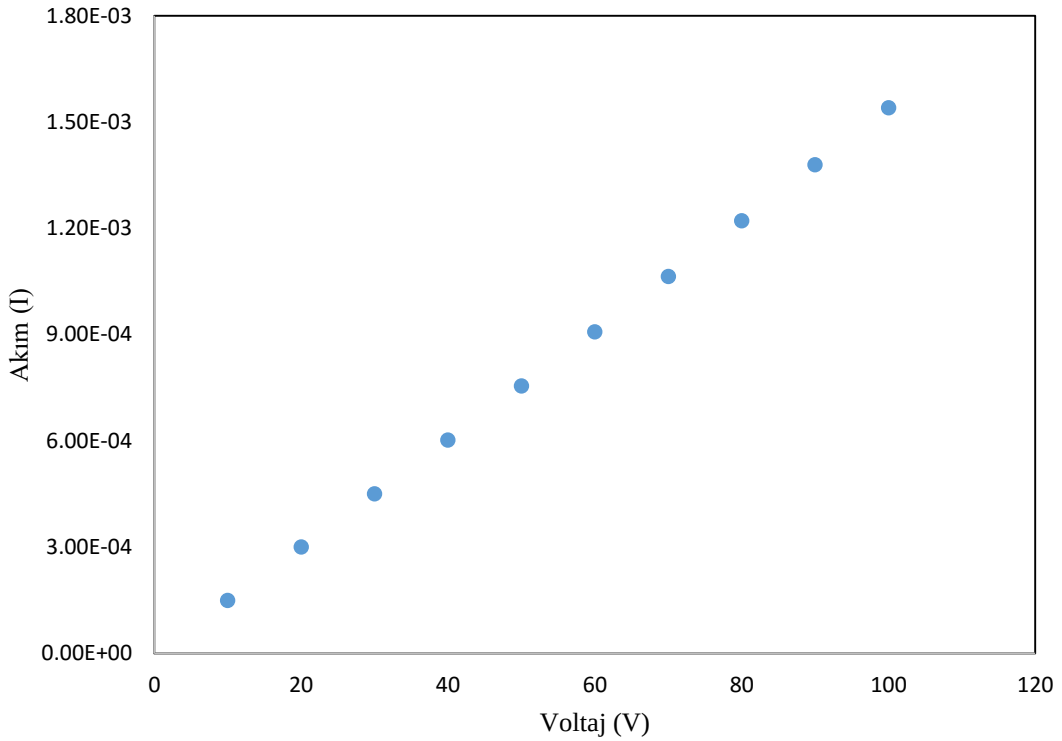
$$\rho = \frac{\Delta V}{\Delta I}\frac{d \times l}{L} \tag{4.32}$$

denklemi kullanılarak yarıiletken malzemenin elektriksel özdirenci bulunabilir. Denklem 4.32' deki parametreler; kontaklar arası mesafe L, kontak uzunluğu l ve film kalınlığı d ile gösterilmektedir.

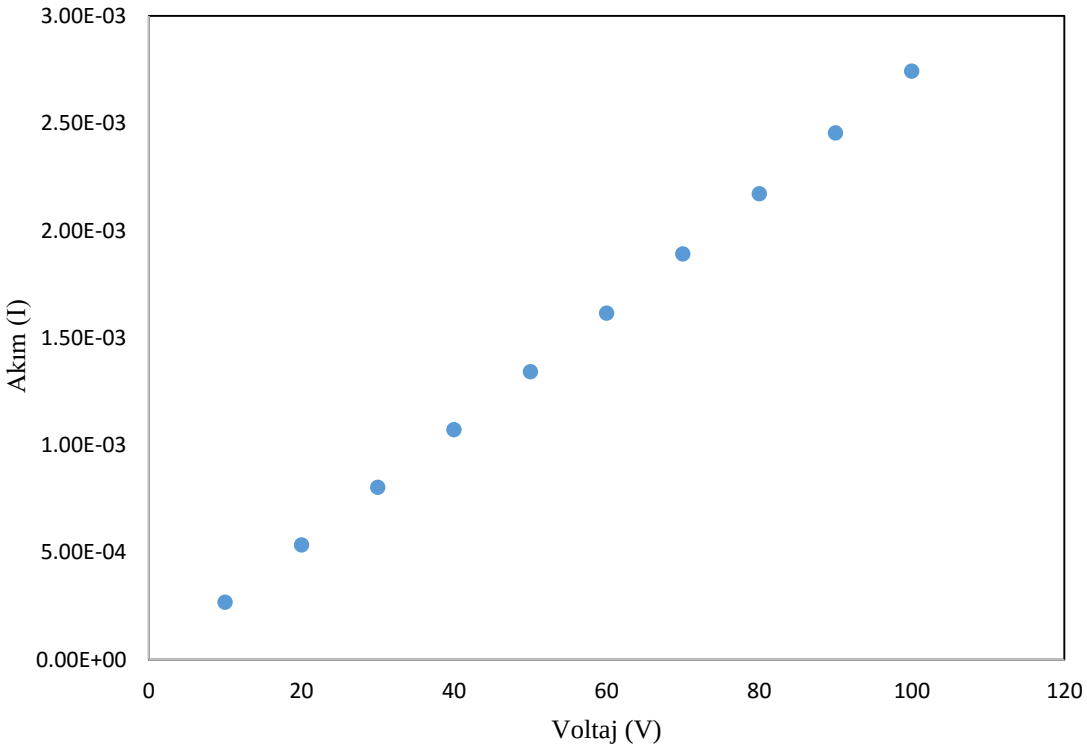
4.3.1. VO_x Filmlerinin Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

Ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği kullanılarak farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x filmlerinin elektriksel özdirençleri ve iletkenlikleri, karanlık ve hava ortamında alınan akım-voltaj karakteristiklerinden faydalanılarak hesap edilmiştir. Filmlerin akım-voltaj ölçümleri Keithley 2400 Sourcemeter cihazı ile alınmıştır. Filmlerin elektriksel ölçümleri için gerekli olan metal kontaklar silver paint ile yapılmıştır. Sıcak-uç (hot-probe) metodu kullanılarak bütün filmlerin elektriksel iletkenlik türlerinin n-tipi olduğu gözlenmiştir.

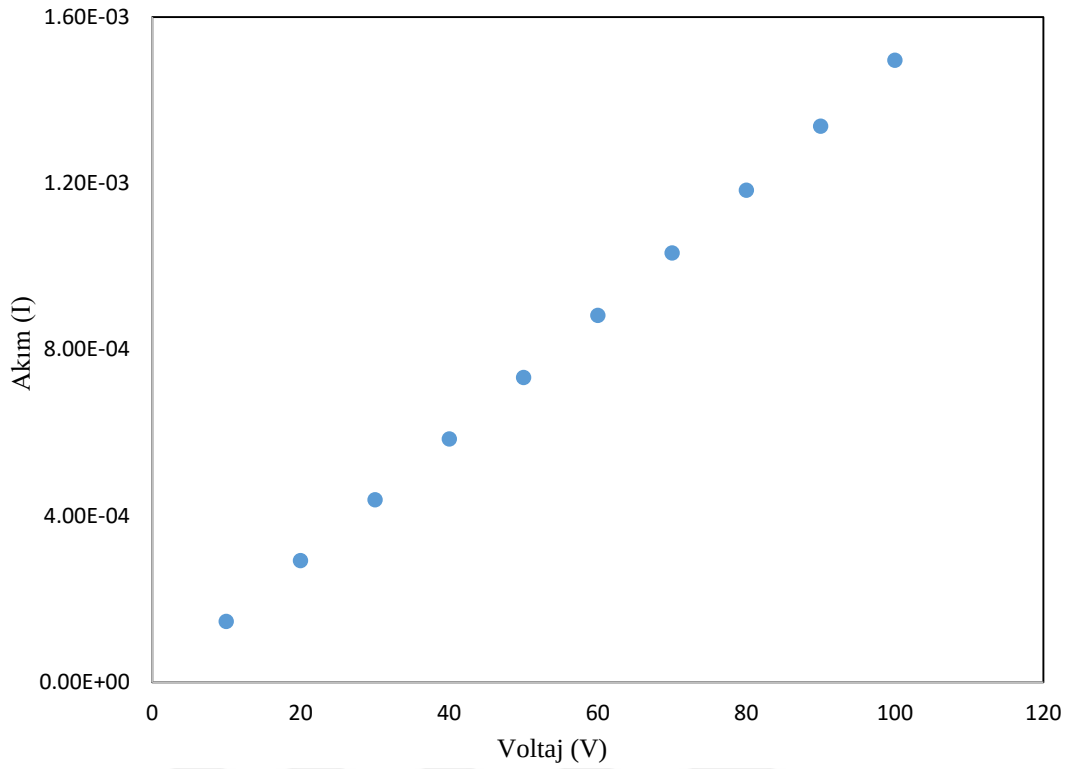
200°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde; filmlerin I-V değişimlerinin doğrusal olduğu, grafiğin eğiminin ~1 civarında olduğu (m~1) ve omik iletim sergilediği görülmektedir. Film yüzeylerine yapılan metal kontaklar arası mesafenin ~5 mm ve film kalınlığının 186 nm olduğu 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç değerlerinin 12,26 Ωcm olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.25'te 250°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde; grafiğin eğiminin ~1 civarında olduğu ve bu filmler için de omik iletimin baskın olduğu görülmektedir. Metal kontaklar arası mesafe ~5 mm ve 140 nm film kalınlığına sahip 250°C'de üretilen VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç değerlerinin ise 5,19 Ωcm olduğu belirlenmiştir. 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin özdirenç değerleri ile karşılaştırıldığında özdirenç değerinin düştüğünü ve bu durumun da yapısal farklılıklardan kaynaklandığını düşünmekteyiz. 300°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde; filmlerin I-V değişimlerinin doğrusal olduğu, grafiğin eğiminin ~1 civarında olduğu (m~1) ve omik iletim sergilediği görülmektedir. Film yüzeylerine yapılan metal kontaklar arası mesafenin ~5 mm ve film kalınlığının 152 nm olduğu 300°C'de üretilen VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç değerlerinin 9,51 Ωcm olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.27'de 350°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği verilmektedir. Bu grafik incelendiğinde; grafiğin eğiminin ~1 civarında olduğu ve bu filmler için de omik iletimin baskın olduğu görülmektedir. Metal kontaklar arası mesafe ~5 mm ve 180 nm film kalınlığına sahip 350°C'de üretilen VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç değerlerinin ise 5,74 Ωcm olduğu belirlenmiştir.



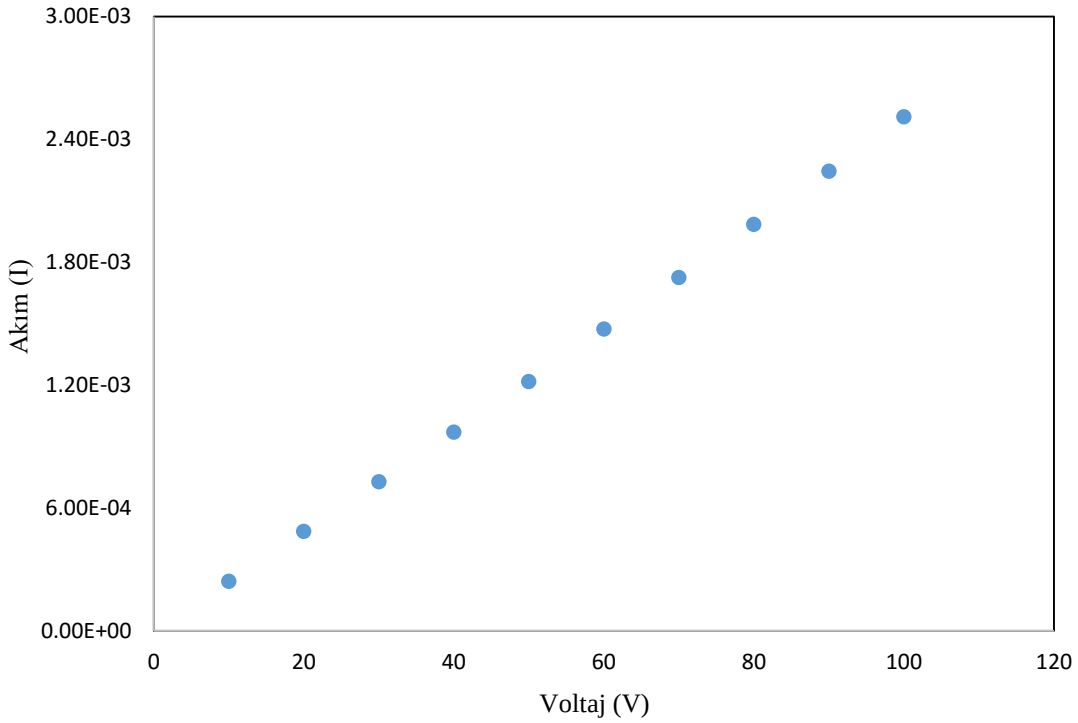
Şekil 4.24. 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği



Şekil 4.25. 250°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği



Şekil 4.26. 300°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği



Şekil 4.27. 350°C'de üretilen VO_x filmlerinin I-V değişim grafiği

Farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç ve iletkenlik değerleri Çizelge 4.11'de listelenmektedir.

Çizelge 4.11. VO_x filmlerinin elektriksel özdirenç ve iletkenlik değerleri

Sıcaklık (℃)	Elektriksel Özdirenç (Ωcm)	Elektriksel İletkenlik $(\Omega cm)^{-1}$
200	12,26	0,082
250	5,19	0,193
300	9,51	0,105
350	5,74	0,174

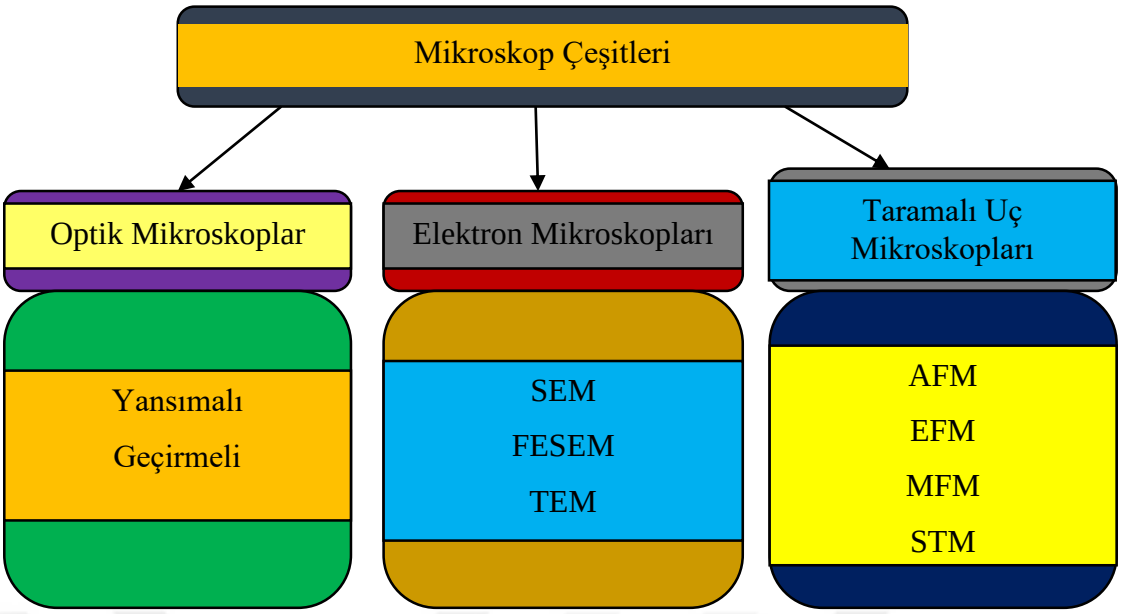
Bu çizelge incelendiğinde, taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak elektriksel özdirenç değerlerinde küçük de olsa bir azalma olduğu görülmektedir. Elektriksel özdirenç değerindeki bu küçük değişimlerin kristal yapı farklılıklarından ve filmlerin farklı kalınlıklara sahip olmalarından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

4.4. Yarıiletken Malzemelerin Yüzeysel Özellikleri

Yarıiletken malzemelerin elektriksel ve optiksel gibi bazı fiziksel özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de sahip oldukları yüzeysel özellikleridir. Bunlar yüzey pürüzlülükleri, tabana tutunma dereceleri, yüzey homojenlikleri ve tane yapıları ve dağılımları şeklinde sıralanabilir.

Yarıiletken malzemelerin yüzeysel özelliklerinin incelenmesi makro ve mikro boyutlarda olmaktadır. Makro durumlardaki incelemeler, ince filmlerin yüzeysel özellikleri hakkında kısmen bilgi verir, çünkü bu görüntüleme için kullanılan optik mikroskop gibi cihazların büyütme oranları nispeten daha düşüktür. Mikro durumlarda kullanılan cihazlar ise ince filmlerin yüzeysel özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi verirler. Çünkü kullanılan cihazlar büyütme kapasiteleri oldukça yüksek olan elektron mikroskoplarıdır ve ince filmlerin yüzeysel özelliklerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesine olanak tanırlar.

Yarıiletken malzemelerin sahip oldukları yüzeysel özellikleri, malzemenin kullanılacağı optoelektronik cihazlardaki verimliliğini önemli bir şekilde etkilemektedir. Yüzey analizinde kullanılan mikroskop çeşitleri şekil 4.28.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Yüzey analizlerinde kullanılan mikroskop çeşitleri

Bu tez çalışmasında, UKPT ile üretilen VO_x ince filmlerinin yüzey topografilerini ve morfolojik değerlerini belirlemek amacıyla AFM cihazı kullanılmıştır. Yüzey topografisi, kullanılacak malzemenin yüzey özellikleri veya görünüşü ile yapısal özellikleri (sertlik, yansıtıcılık, kalınlık gibi), yüzey morfolojisi, parçacıkların şekilleri, boyutları ve oluşma biçimleri ile bu parçacıkların malzeme içerisindeki dağılımları arasındaki bağıntıyı vermektedir. Bu bağıntılar malzemenin yüzey özellikleri hakkında bilgi edinmemizi sağlar.

4.4.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)'nin tarihi gelişimine bakacak olursak, ilk olarak taramalı tünelleme mikroskobu (STM) seksenli yılların başında Gred Binnig ve Heinrich Roher tarafından Zürih'te icat edilmiştir. STM' nin icadı bilim adamlarına seksen altı yılında Nobel ödülü kazandırmıştır. 1986 yılında Gred Binnig, Calvin Quate ve Christoph Gerber tarafından ilk atomik kuvvet mikroskobu geliştirilmiş olup ticari olarak ilk AFM 1989 yılında piyasaya sürülmüştür (Binnig ve ark., 1986).

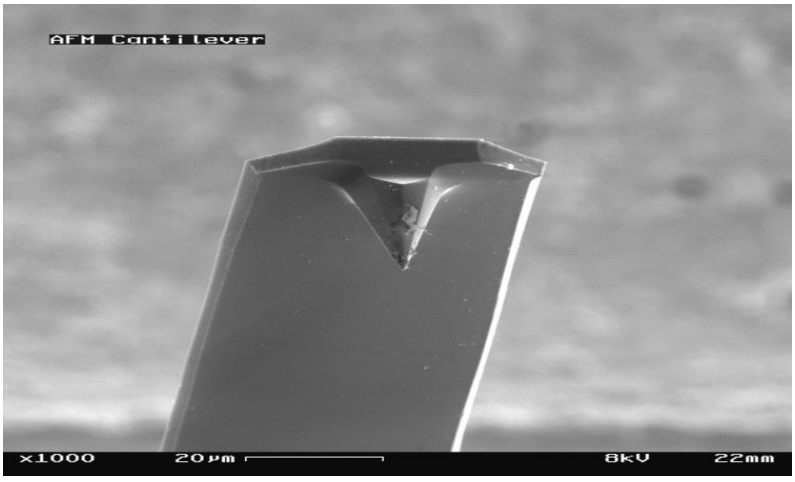
Günümüzde AFM, nanoteknoloji alanında en gelişmiş araçlardan biridir. Bu cihazın kullanıldığı alanlara örnek verecek olursak; temel bilimler (fizik, kimya, biyoloji), elektronik, elektronik haberleşme, otomotiv, uzay-havacılık ve enerji gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.4.2. Atomik Kuvvet Mikroskobunun Çalışma Prensibi

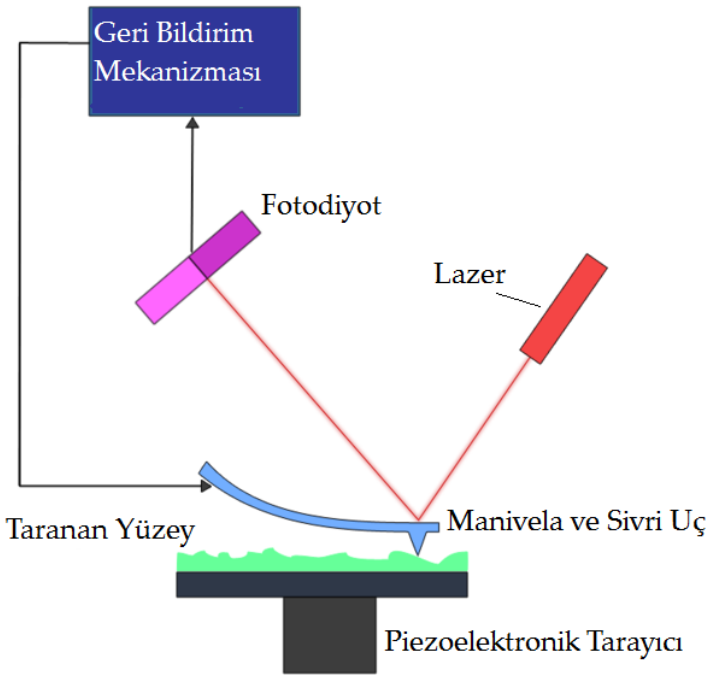
AFM cihazı malzemedeki bilgiyi mekanik bir ucun yüzeyi taramasıyla elde eder. AFM, Şekil 4.29'da görülen esnek bir manivela (silikon, silikon oksit ya da silikon nitrür) ve bu manivelaya bağlı sivri bir uçtan oluşur (Wikipedia, n.d, 2014). Tipik bir manivela $100\ \mu m$ uzunluğa ve $20\ \mu m$ genişliğe sahiptir (Schroder, 2006). Manivelaya bağlı olan bu uç tip olarak adlandırılır ve nano boyutta eğrilik yarıçapına ($100\ Å$' dan daha az) sahiptir. Nano boyuttaki bu uç, malzeme üzerine getirildiğinde uç ile yüzey arasında bazı kuvvetler meydana gelerek Hooke kanunu gereğince manivelanın bükülmesine yol açacaktır. Bu kuvvetlerden bazıları elektrostatik kuvvet, manyetik kuvvet, van der Walls kuvveti, kimyasal bağ kuvveti ve sürtünme kuvvetidir.

Manivelanın bükülmesi, manivelanın yüzeyinden yansıyan lazer ışınlarının bir detektör yardımı ile ölçülmesiyle elde edilir. Bu bükülme hareketlerinin bilgisayara aktarılmasıyla görüntü elde edilir.

Oluşan görüntülerde, numune üzerindeki beyaz bölgeler atomların üst üste yığılmalarını, siyah bölgeler ise numune üzerindeki boşlukları göstermektedir. Kullanılan taban yüzeyinde bulunan herhangi bir kusur, filmlerin homojenliğini önemli ölçüde etkilemektedir. AFM'nin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Tip dediğimiz keskin uç malzeme yüzeyini sabit bir yükseklikte tararsa, malzeme yüzeyine çarpmasına ve bu yüzden hasar görmesine sebep olabilir. Bunun önlenmesi için geri besleme mekanizması geliştirilmiştir. Malzeme genellikle "z" yönünde hareket edip yüksekliği ayarlayan, "x" ve "y" yönünde hareket edip piezoelektrik bir cihazla taranır. Bu cihaz tüp tarayıcılarda görülen bozulmaları da ortadan kaldırır ve yüzeyin morfolojisini temsil eder (Binnig ve ark., 1986). Şekil 4.30'da AFM'nin şematik diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.29. Atomik kuvvet mikroskobunun manivelası ve sivri ucu



Şekil 4.30. Atomik kuvvet mikroskobu şematik diyagramı

AFM iki modda çalışır. Bu görüntüleme modları temaslı (statik) ya da temassız (dinamik) olarak adlandırılır.

4.4.2.1. Piezoelektrik Tarayıcı

AFM tarayıcılar, uygulanan voltajın büyüklük ve küçüklüğü ile orantılı olacak şekilde piezoelektrik malzemelerden yapılmıştır. Piezoelektrik özelliği, mekanik basınç uygulanan malzemelerde elektrik alan ya da elektrik potansiyel değiştirme özelliğine denir. Bu değişim malzeme içindeki polarizasyon yoğunluğu ile ilgilidir. Malzeme kısa bir devre değil ise uygulanan mekanik basınç bir voltaj meydana getirir. Piezoelektrik malzemeler tersilenebilir özelliğe sahiptir. Direkt piezoelektrik etki gösteren (elektrik potansiyel) malzemeler, ters piezoelektrik etki (elektrik alan) de gösterirler.

Piezoelektrik etki sayesinde, sesin oluşup algılanması, yüksek voltajların oluşturulması, mikro balans ve optik çevrimcilerin aşırı ince odaklanması gibi uygulamaları vardır. Ayrıca atomik çözünme sonucunda birçok tekniğin (SEM, AFM gibi) temelini oluşturmaktadır.

AFM cihazlarında piezoelektrik tarayıcılar manivelanın numune üzerinde x, y ve z doğrultularında 0,5 veya 127 mikron çözünürlükte hareketini sağlar. Bu sayede iki boyutlu veya üç boyutlu görüntüler için topografik veriler elde edilir (Mironov, 2004).

4.4.2.2. Temas (Statik) Mod

Bu modda manivelanın ucu ile numune yüzeyi arasında çok küçük bir temas vardır. Örnek yüzeyinin topografik değişiklerinden dolayı manivela ucu ve yüzey arasındaki kuvvetlerde değişimler olmaktadır. Bu kuvvet değişikliği manivelanın bükülmesine sebep olmaktadır. Bu bükülme olayından kaynaklanan sinyal geri bildirim tarafından sabit tutularak tarama süresince numune üzerine uygulanan kuvvet sabitlenmiş olur. Uç üzerindeki kuvvet iticidir ve 10^{-9} N civarındadır (Oura, 2003).

Temaslı mod ile yapılan AFM görüntülenmesinde dikey çözünürlüğün 0,1 nm 'den düşük, yatay çözünürlüğün ise yaklaşık 0,2 nm olarak elde edildiği belirtilmiştir (Bhushan ve Marti., 2010).

4.4.2.3. Temassız (Dinamik) Mod

Tip (uç) bir piezo cihazının yardımı ile kendi titreşim frekansında salınım yapar ve tarama esnasında sanlım hareketinin aşağı doğrultusunun en uç kısmında numune yüzeyine kesikli bir şekilde temas eder. Kesikli temas etmesinden salınımın büyüklüğünde azalma gerçekleşir. Bu azalma geri besleme düzeneğinde sabit tutulur. Tip (uç), manivelanın aşağı hareketinin en uç noktasında yüzeye kesikli temas ettiği için örnek üzerine etkiyen kuvvetler en aza indirilerek zarar en aza indirgenir.

Salınım esnasında, salınım hareketinin genliği, faz ve titreşim frekansı tip-numune etkileşme kuvvetleri nedeni ile değişir. Tip (uç)' in salınımdaki bu değişiklikler numunenin karakteristiği hakkında bilgi verir.

4.4.3. VO_x Filmlerinin Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi

Bu tez çalışmasında, farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x filmlerinin üç boyutlu AFM yüzey görüntülerinin alınmasında Park-System XE-70 Model AFM cihazı kullanılmıştır.

200°C taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin üç boyutlu AFM görüntüleri Şekil 4.31'de verilmektedir. Filmlerin yüzey fotoğrafı incelendiğinde hemen hemen homojen bir yüzey dağılımına sahip olduklarını söylemek mümkündür. Film yüzeyleri üzerinde koyu ve açık bölgeler dikkat çekmekte olup koyu bölgeler, filmlerin yüzeyleri

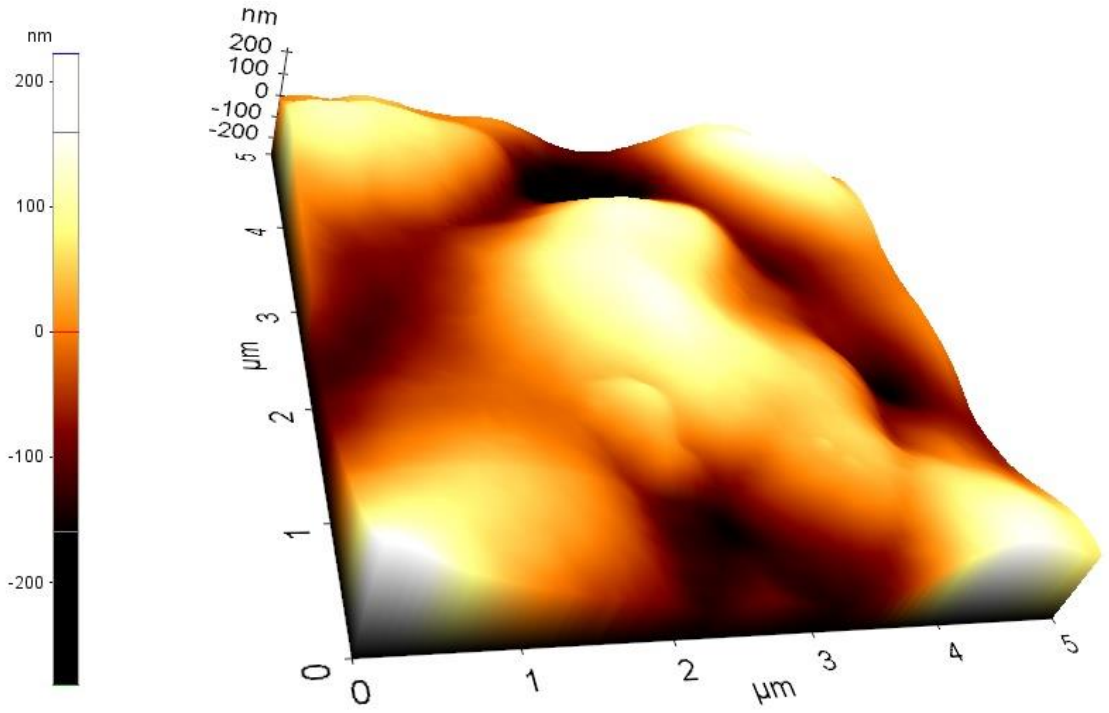
üzerinde çukur şeklinde oluşumların bulunduğunu ve açık renkli bölgeler ise filmlerin yüzeyinde farklı büyüklüklere sahip tane oluşumlarının bulunduğunu temsil etmektedir. Bu tepecik şeklinde oluşan tane boyutlarının nispeten büyük olduğunu söylemek mümkündür.

250°C'de üretilen VO_x filmlerinin üç boyutlu AFM görüntüleri ise Şekil 4.32'de verilmektedir. Bu taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin yüzey dağılımlarının hemen hemen homojen olduğu görülmektedir. 200°C'de üretilen VO_x ince filmlerine nazaran tane boyutlarının belirgin bir şekilde azaldığı ve oluşan küçük boyutlu tanelerin hemen hemen homojen bir şekilde yüzeye dağıldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda filmlerin tabana tutunmasının iyi olduğunu söyleyebiliriz.

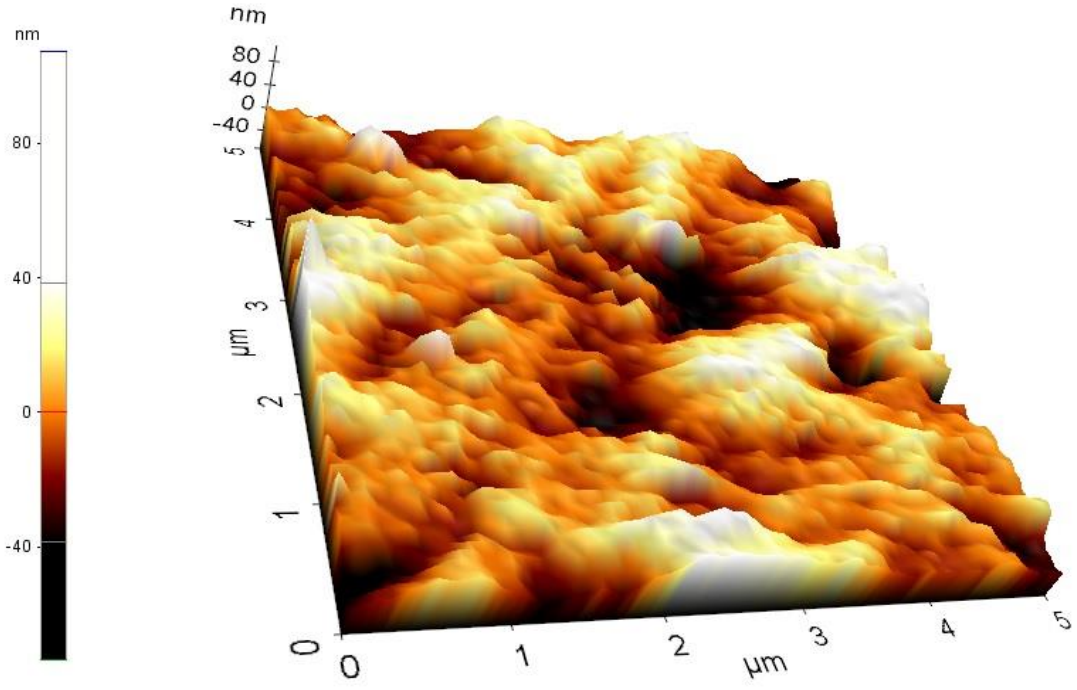
Şekil 4.33'de verilen 300°C'de üretilen VO_x ince filmlerinin üç boyutlu AFM görüntüleri incelendiğinde filmlerin yüzeylerinin hemen hemen homojen olduğu görülmektedir. Ayrıca, 250°C'de üretilen filmlere oranla daha fazla beyaz bölgelerin ve beyaz tepeciklerin oluştuğu göze çarpmaktadır. Bu filmlerin yüzeylerinde oluşan çukur bölgeler ile tepe bölgeler arasındaki yükseklik farkının arttığı ve filmlerin 250°C'de üretilen VO_x ince filmlerine oranla daha pürüzlü bir yüzeye sahip oldukları belirlenmiştir.

350°C'de üretilen VO_x filmlerinin üç boyutlu AFM görüntüleri ise Şekil 4.34'de verilmektedir. Bu taban sıcaklığında üretilen VO_x filmlerinin yüzey dağılımlarının da diğer filmler gibi hemen hemen homojen olduğu görülmektedir. 300°C'de üretilen VO_x ince filmlerine nazaran tane boyutlarının çok hafif bir bir şekilde arttığı ve oluşan küçük boyutlu tanelerin hemen hemen homojen bir şekilde yüzeye dağıldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda bu filmler için de filmlerin tabana tutunmasının iyi olduğunu söylemek mümkündür.

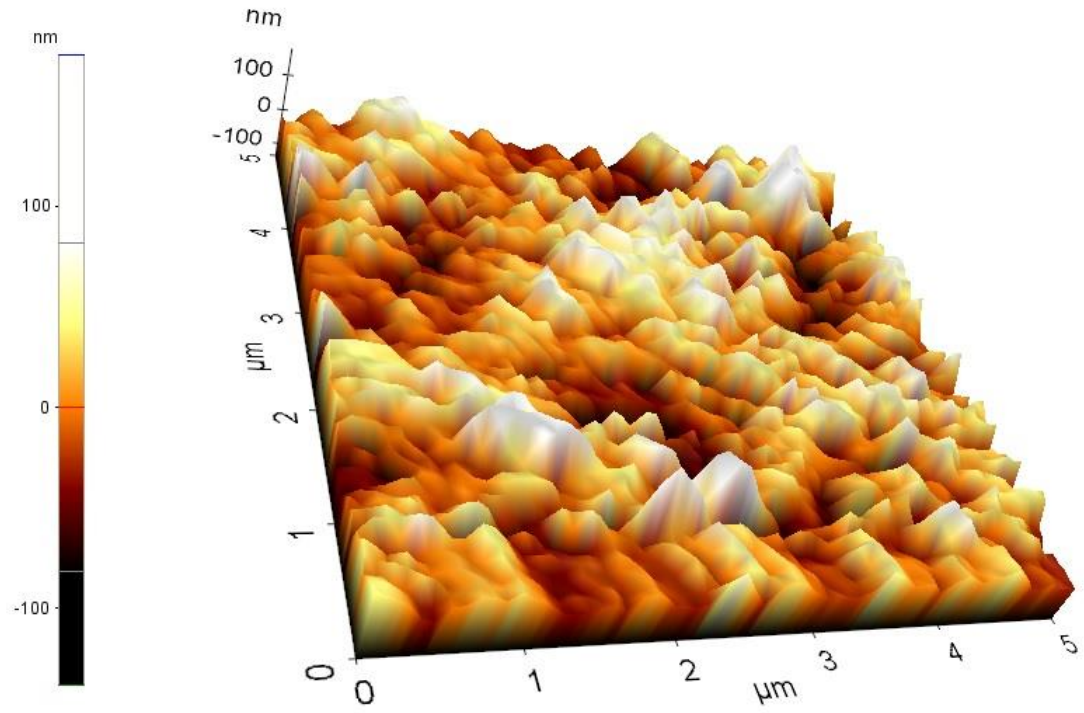
Sonuç olarak, farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x filmlerinin üç boyutlu AFM yüzey görüntüleri birbirleri ile kıyaslandığında, ilk göze çarpan 200°C'de üretilen filmlerin yüzey durumlarının diğer sıcaklıklarda üretilen filmlerin yüzey durumlarından ve dağılımlarından tamamen farklı olmasıdır. Bu durumun, XRD analizlerinden de belirlendiği üzere filmlerin kristal yapılarının birbirlerinden farklı olması ile açıklanabileceğini düşünmekteyiz. XRD sonuçlarından, 200°C'de üretilen filmler için V_2O_5 ortorombik yapı baskın iken, diğer filmler için VO_2 monoklinik yapı baskın durumdadır. 200°C'de üretilen filmler hariç, diğer filmlerin AFM görüntüleri birbirleri ile kıyaslandığında ise, filmlerin yüzey oluşumlarının ve tanecik dağılımlarının hemen hemen birbirine benzediği, sadece taneciklerin boyut ve sayılarında ufak değişimlerin olduğu göze çarpmaktadır. Bu durumun da, XRD sonuçlarından da belirlendiği üzere filmlerin kristalleşme düzeylerinin birbirlerinden küçük farklılıklar göstermesi sonucu oluştuğunu söyleyebiliriz.



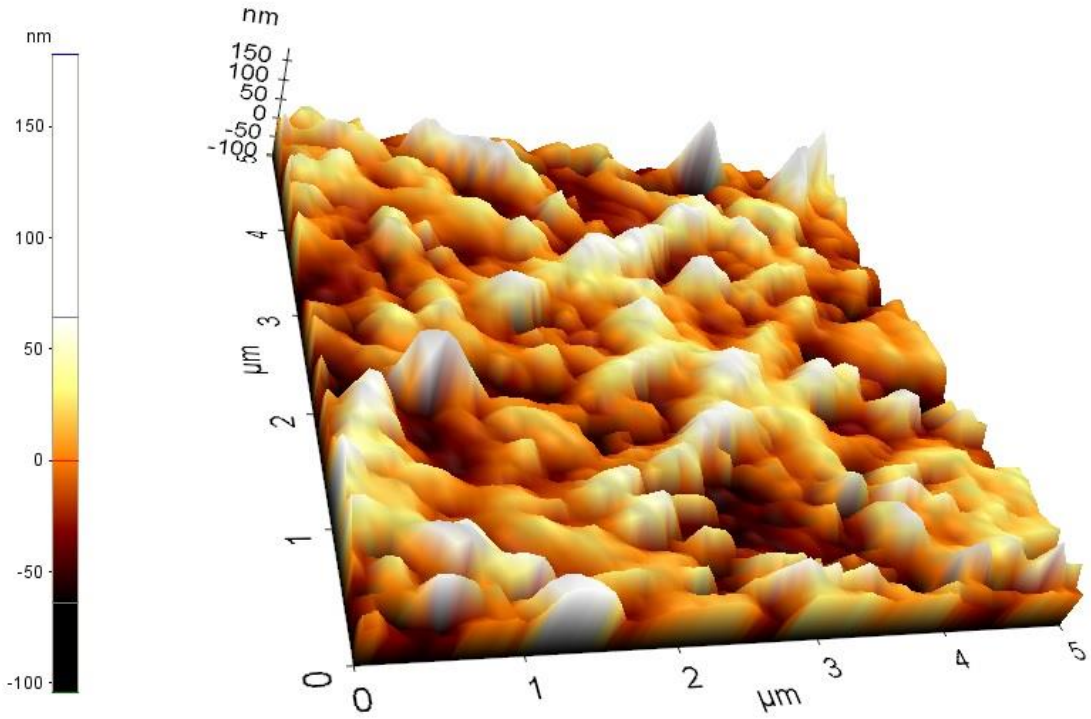
Şekil 4.31. 200°C'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü



Şekil 4.32. 250°C'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü



Şekil 4.33. 300°C'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü

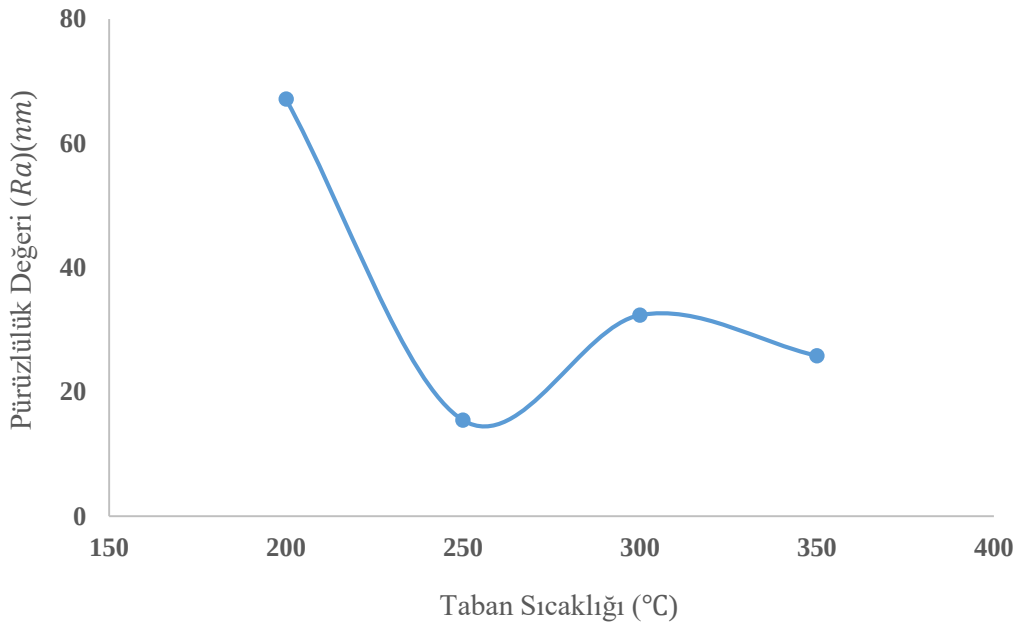


Şekil 4.34. 350°C'de üretilen VO_x ince filmlerinin AFM görüntüsü

Farklı taban sıcaklıklarında üretilen VO_x filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.12'de ve bu değerlerin taban sıcaklığına bağlı değişim grafiği ise Şekil 4.35.'de verilmektedir. Çizelge 4.12 ve Şekil 4.35 incelendiğinde, 200°C'de üretilen filmlerin yüzey pürüzlülük değerleri diğer sıcaklıklarda üretilen filmlerinkine göre oldukça yüksektir. Kristalleşme düzeyinin diğer filmlere göre çok daha iyi olmasına rağmen, pürüzlülük değerinin bu kadar yüksek olmasının sebebinin XRD analizlerinden de belirlendiği üzere filmlerin kristal yapılarının birbirlerinden farklı olması ile açıklanabileceğini düşünmekteyiz. 200°C'de üretilen filmler hariç, diğer filmlerin pürüzlülük değerleri birbirleri ile kıyaslandığında ise, ufak değişimlerin olduğu göze çarpmaktadır. Bu durumun da, XRD sonuçlarından da belirlendiği üzere filmlerin kristalleşme düzeylerinin birbirlerinden küçük farklılıklar göstermesi sonucu oluştuğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 4.12. VO_x filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri

Taban Sıcaklığı (℃)	Pürüzlülük Değeri $(Ra)(nm)$
200	67
250	15
300	32
350	26



Şekil 4.35. VO_x filmlerinin yüzey pürüzlülük değerleri

BÖLÜM 5
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma

VO_x filmler günümüz teknolojisinde elektronik cihazlarda örneğin, elektronik anahtar yapımında, renkli hafıza aygıtları, elektronik bilgi ekranları, katalitik yapımında, termokromik cihazlarda örnek olarak pencereler için kaplamalar, gaz ve termal algılayıcı yapımında, güneş hücreleri için küçük paneller, seramik sanayide katalizör ve boya sabitleyici olarak, dayanıklı ve ömrü uzun alaşım yapımında, süperiletken mıknatıs yapımında, optik alanında örneğin UV ışık yayıcı, güç elektroniği üretiminde, yüksek kapasitede lityum pil yapımında sıklıkla kullanılmaktadır.

VO_x ince filmler farklı yöntemler ile elde edilirler. Bunlardan bazıları sol-gel metodu, kimyasal buhar biriktirme yöntemi, elektrokimyasal, termal ve hidrotermal kaplama, UKP (ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği)'dir. Bu çalışmada kullandığımız UKP basit ve ekonomik bir yöntem olup bu yöntem ile daha geniş yüzeylere kaplama yapılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, VCl_3 kimyasal tuzunun başlangıç püskürtme çözeltisi 100 ml ve 0,01M konsantrasyonunda olacak şekilde hazırlanmış ve farklı taban sıcaklıklarında (200, 250, 300 ve 350°C), 20 dakika süresince, taşıyıcı gaz olarak 1,5bar basınçlı hava yardımı ile cam alttaşlar üzerine püskürtülerek VO_x filmleri büyütülmüştür. Farklı taban sıcaklıklarında üretimi tamamlanan VO_x filmlerinin yapısal, optiksel, elektriksel ve yüzeysel özellikleri incelenmiş ve analizleri yapılmıştır.

VO_x filmlerinin x-ışını toz kırınım desenlerinin incelenmesi sonucunda, filmlerin polikristal yapıda oldukları belirlenmiştir. XRD desenlerinden 200°C'de üretilen VO_x filmlerinin kristalleşmesinin iyi olduğu görülmüştür. Bu filmler için tercihli yönelim ortorombik V_2O_5 sistemde (001) doğrultusunda iken, taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak filmlerin tercihli yöneliminin monoklinik VO_2 sistemde (011) doğrultusunda değiştiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, 200 ve 350°C civarında taban sıcaklıklarında filmlerin kristalleşme kalitesinin iyi olduğu ve vanadyum oksitin farklı fazlara sahip olduğu belirlenmiştir. Filmlerin üretimi için 350°C taban sıcaklığının üzerine çıkıldığında ise kristalleşmenin daha da düzeleceğini, büyük olasılıkla vanadyum oksitin farklı fazlarının da ortaya çıkabileceğini öngörmekteyiz ve bu tez çalışmasından daha sonraki yapılabilecek olası çalışmalar için önerilmesinin uygun olacağını düşünmekteyiz.

VO_x filmlerinin geçirgenlik ve soğurma spektrumlarından faydalanılarak; yansıma katsayıları, lineer soğurma katsayıları, kırılma indisleri, sönüm katsayıları, yasak enerji aralıkları ve Urbach parametreleri hesaplanmıştır. 200°C'de üretilen filmlerinin görünür bölgede yaklaşık olarak %30 civarında geçirgenliğe sahip oldukları, taban sıcaklığı arttıkça filmlerin geçirgenliklerinde önemli bir artışın olduğu ve filmlerin geçirgenliklerinin daha kısa dalgaboylarına doğru gidildikçe azaldığı tespit edilmiştir. 200°C'de üretilen filmlerin yaklaşık olarak %30 civarında yansımaya sahip oldukları ve taban sıcaklığı artarken filmlerin yansıma değerlerinde azalışın olduğu belirlenmiştir. 200°C'de üretilen filmlerin kırılma indisi değerinin görünür bölgede ortalama 3,32 civarında olduğu, taban sıcaklığına bağlı olarak filmlerin kırılma indislerinin azaldığı ve tüm filmler için daha kısa dalgaboylarında filmlerin kırılma indislerinin arttığı belirlenmiştir. Filmlerin yasak enerji aralıklarının 2,37-2,48eV arasında ve Urbach parametrelerinin ise 134-178meV arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı zamanda taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak bu optiksel parametrelerin değişimi değerlendirildiğinde; 200°C de üretilen filmlerin hem yasak enerji aralığı hem de Urbach parametresinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun 200°C'de üretilen filmlerin kristal yapısının diğer filmlerden farklı olması ve aynı zamanda kristalleşme düzeyinin daha kaliteli olmasından, yani kısacası kristal yapı farklılıklarından dolayı kaynaklandığını düşünmekteyiz.

VO_x filmlerinin elektriksel ölçümleri yüzeyleri üzerine planar formda silver paint ile metal kontak yapılarak 0-100 V aralığında değişen voltaj uygulanarak akım değerlerinin belirlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen I-V karakteristikleri incelendiğinde tüm filmler için omik iletimin baskın olduğu görülmüştür. 200°C'de üretilen filmlerin elektriksel özdirenç değerinin 12,26Ω.cm olduğu ve taban sıcaklığının artmasına bağlı olarak elektriksel özdirenç değerlerinde küçük de olsa bir azalma olduğu görülmektedir. Elektriksel özdirenç değerindeki bu küçük değişimlerin kristal yapı farklılıklarından ve filmlerin farklı kalınlıklara sahip olmalarından kaynaklandığını düşünmekteyiz.

VO_x filmlerinin yüzeysel özellikleri atomik kuvvet mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Tüm filmler için yüzey durum dağılımlarının hemen hemen homojen olduğunu ve tabana tutunmanın iyi olduğunu söyleyebiliriz. Aynı zamanda, 200°C'de üretilen filmlerin yüzey durumlarının diğer sıcaklıklarda üretilen filmlerin yüzey durumlarından ve dağılımlarından tamamen farklı olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, XRD analizlerinden de belirlendiği üzere filmlerin kristal yapılarının birbirlerinden farklı olması ile açıklanabileceğini düşünmekteyiz.

5.2 Sonuçlar ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, VO_x ince filmleri farklı taban sıcaklıklarında üretilmiş ve buna bağlı olarak bazı fiziksel özellikleri üzerindeki değişimler araştırılmıştır. Bu tez çalışması için 200-350°C aralığında olmak üzere 4 adet sıcaklık değeri belirlenmiş ve deneyler bu taban sıcaklıklarında yapılmıştır. Fakat tez çalışması sonuçlarından da görüleceği üzere taban sıcaklığının filmlerin bazı fiziksel özelliklerinde çok önemli etkiye ve yapısal değişimlere sebep olduğu görülmektedir. Bu sebeple, bundan sonraki yapılacak olası çalışmalarda filmerin bu sıcaklıklar dışındaki farklı taban sıcaklıklarında üretilmesi sonucu VO_x filmleri için farklı fazların da ortaya çıkabileceğini ve farklı fiziksel özelliklerinin elde edilebileceğini ve dolayısıyla teknolojik kullanım alanlarının yaygınlaştırılabileceğini düşünmekte ve öngörmekteyiz. Aynı zamanda bu tez çalışmasında üretilen filmlerin üretim sonrası sıcaklıkta ve vakumda tavlama gibi bazı üretim sonrası işlemlere de maruz bırakılmasının fiziksel özelliklerini daha da iyileştirebileceğini düşünmekteyiz.

Bu çalışmada kullanılan UKPT sisteminde kullanılan taban ve püskürtme başlığı film üretimi süresince sabit olarak tutulmuştur. Fakat, bu sistemde tabanın döner veya püskürtme başlığının ileri geri hareket ettirilmesi daha düzgün kalınlığa ve daha homojen filmlerin oluşmasına sebep olacağını düşünmekteyiz. Ayrıca, UKPT'deki deneysel parametrelerin bilgisayar kontrolünde takip edilmesi sonucu daha kaliteli filmlerin üretileceğini düşünmekteyiz.

KAYNAKLAR

Abyazisani M., Bagheri-Mohagheghi M.M., Benam M.R., 2015. Study of structural and optical properties of nanostructured V_2O_5 thin films doped with fluorine, Materials Science in Semiconductor Processing, Elsevier, 31: 693-699

Afify H.H., Momtaz R.S., Badawy W.A. ve Nasser S.A., 1991. Some Physical Properties Of Flourine-Doped SnO_2 Films Prepared By Spray Pyrolysis, Journal of Materials in Electronics, 2(1): 40-45.

Akyüz İ., 2005. CdO filmlerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine Al katkılama ve tavlama işlemlerinin etkileri (Doktora Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Alie D., Gedvilas L., Wang Z., Tenent R., Engtrakul C., Yan Y., Shaheen S.E., Dillon A.C., Ban C., 2014. Direct synthesis of thermochromic VO_2 through hydrothermal reaction, Journal of Solid State Chemistry 212: 237–241.

Altıokka B. ve Aksay S., 2005. Optical Properties Of $CuInS_2$ Films Produced By Spray Pyrolysis Method, Çankaya Uni. J. of Arts and Sciences, 3: 27-34

Ammar A.H., 2002. Studies On Some Structural and Optical Properties of $Zn_xCd_{1-x}Te$ Thin Films, Applied Surface Science. 201: 9-19.

Askeland D.R., 1998. Malzeme Bilimi Ve Mühendislik Malzemeleri (2nd ed.), Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara. 572-575.

Atay F., 2002, $Cd_xNi_{1-x}S$ Filmlerinin Elektriksel, Optiksel, Yapısal Ve Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi (Doktora Tezi), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir. 145s (Yayımlanmamış).

Bhushan B, Marti O., 2010. Scanning probe microscopy-principle of operation, instrumentation, and probes. In: Bhushan B, editor. Handbook of nanotechnology. 3rd ed. Heidelberg: Springer; 2010. p. 573–617.

Bilgin V., 2003, ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi (Doktora Tezi), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Binnig G., Quate C. F., Gerber C., 1986. Atomic Force Microscope, Physical Review Letters, 56: 930–933.

Bouderbala M., Hamzaoui S., Stambouli A.B. ve Bouziane H., 1999. Effects Of The Position Subsratate Upon The Structural Behaviour, Electirical And Optical Properties Of Zinc-Oxide Films Used In Solar Cells, Applied Energy, 64(1-4): 84-96.

Berezina O., Kirienko D., Pergament A., Stefanovich G., Velichkoa A., Zlomanov V., 2015. Vanadium oxide thin films and fibers obtained by acetylacetonate sol–gel method, Thin Solid Films, 574: 15–19.

Caferov T., 1998. Yarı İletken Fiziği-1, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul, 226s.

Callister W.D., 2004. Fundamentals Of Materials Science & Engineering, John Wiley & Sons Ltd, USA. 752p.

CED Magic, 1947: Invention of the Transistor. (n.d.). Retrieved November 8, 2013, from http://www.cedmagic.com/history/transistor-1947.html

Chavhan S., Sharma R.P., 2005. Growth, Structural and Optical Transport Properties of Nanocrystal Zn1-xCdS Thin Films Deposited by Solution Growth Technique (SGT) For Photosensor Applications. Journal of Physics and Chemistry of Solids. 66: 1721–1726.

Chen S., Ma H., Wang S., Schen, N., Xiao J., Zhou H., Zhao X., Li Y. ve Yi X., 2006. Vanadium oxide thin films deposited on silicon dioxide buffer layers by magnetron sputtering, Thin Solid Films, 497(1-2): 267.

Cullity B.D., 1956. Elements of X-ray Diffraction. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA. 514p.

Cullity B.D., 1966. X-ışınlarının difraksiyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları. İstanbul, 546p.

Choudhury B., Choudhury A., 2014. Oxygen Defect Dependent Variation of Band Gap, Urbach Energy and Luminescence Property of Anatase, Anatase–Rutile Mixed Phase and of Rutile Phases of TiO_2 Nanoparticles. Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures. 56:364-371.

Connoly J.R., 2012. Elementary Crystallography for X-Ray Diffraction. Introduction to X-Ray Powder Diffraction., EPS 400-002.

Darling R.B. ve Iwanaga S., 2009. Structure, Properties, and MEMS and Microelectronic Applications Of Vanadium Oxides. Sadhana, 34(4): 531-542.

Derraz H.T., Benramdane N., Nacer D., Bouzidi A. and Medles, M., 2002. Investigations On $Zn_xCd_{1-x}O$ Thin Films Obtained By Spray Pyrolysis, Solar Energy Materials & Solar Cells. 73: 249-259.

Deutschmann L., Messelhauser J., Suhr H., Herrmann W., Harter P., 1994. Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition Of Vanadium Carbide VC_{1-X} And VO_x From Vanadocene Cp_2V, Advanced Materials, 6(5): 392–395.

Dikici M., 1993. Katıhal Fiziğine Giriş. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun. 276s.

Dikici M., 2012. Katıhal Fiziğine Giriş (2rd ed.). Seçkin Yayıncılık, Çankaya, Ankara. 424s.

Durlu T.N., 1992. Katıhal Fiziğine Giriş (3rd ed.). Zirve Ofset, Ankara Üniversitesi, Ankara. 311s.

Fanni L., Aebersold B.A., Alexander D.T.L., Ding L., Morales Masis M., Nicolay S., Ballif C., 2014. c-texture versus a-texture low pressure metalorganic chemical vapor deposition ZnO films: Lower resistivity despite smaller grain size. Thin Solid Films, Elsevier, 565: 1-6.

Fujita S., Jovaini A., Godoy S. ve Suzuki A., 2012. On The Metal–Insulator Transition In Vanadium Dioxide. Physics Letters A, 376 (44): 2808-2811.

Goca N., 1993. Optik, Kültür Eğitim Vakfı Yayınları. Erzurum. 468p.

Grundmann M., 2010. The Physics of Semiconductors (2nd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 864p.

Hébert C., Willinger M., Su D.S., Pongratz P., Schattschneider P., Schlögl R., 2002. Oxygen K-Edge In Vanadium Oxides: Simulations And Experiments, European Physical Journal B, 28: 407–414.

Horiuchi S., Saeki M., Matsui Y. ve Nagata F., 1975. Transition of V_6O_{13} to VO_2 observed with a high-resolution electron microscope, Acta Crystallographica Section A, 31(5): 660–664.

Hudson R.D., 1969. Infrared System Engineering, Wiley - Interscienoe, London.

Hammond C., 1997. The basics of crystallography and diffraction, School of Materials. University of Leeds, England. 249p.

Ivanov-Schitz A.K., Nistuk A.V., Chaban N.G., 2001. $Li_3Fe_2(PO_4)_3$ Solid Electrolyte Prepared By Ultrasonic Spray Pyrolysis, Solid State Ionics. 139: 153-157.

Ikhmayies S.J, Ahmad-Bitar R.N.A., 2010. The Influence of The Substrate Temperature On The Photovoltaic Properties of Spray-Deposited CdS:In Thin Films. Applied Surface Science. 256: 3541–3545.

Ikhmayies S.J, Ahmad-Bitar R.N.A., 2013. A Study of The Bandgap Energy and Urbach Tail of Spray-Deposited CdS:In Thin Films. Journal of Materials Research and Technology. 2: 221-227.

Jerominek H., Pikard F. ve Vincent, D., 1993. Vanadium Oxide Films For Optical Switching And Detection, Optical Engineering, 32(9) 2092–2099.

Kabak M., 2004. X-Işınları Kristalografisi, Aydan Ofset, Ankara, 237s.

Kim H., Pique A., Horwitz J.S., Murata H., Kafafi Z.H., Gilmore C.M. ve Chrisey D.B., 2000. Effect Of Aluminum Doping On Zinc Oxide Thin Films Grown By Pulsed Laser Deposition For Organic Light-Emitting Devices, Thin Solid Films. 377-378: 798-802p.

Kittel C., 1996. Katıhal Fiziğine Giriş, (Çeviri: B. Karaoğlu), Bilgi Tek Yayınları, İstanbul, 434p.

Kosuge K., Kachi S., Nagasaki H. ve Minomura S., Phase Transition in V_6O_{13}, 1965. Journal of the Physical Society of Japan, 20: 178.

Köse S., 1993. Spray-Pyrolysis Metodu İle Elde Edilen $Cd_{1-x}Zn_xS$ Filmlerinin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Köse S., Atay F., Bilgin V. ve Akyüz I., 2004. Some Physical Properties Of CdS:Sn Films Obtained By Ultrasonic Spray Pyrolysis Technique, Anadolu Uni. J. of Sci. And Tech., 5(2): 237-243

Krishnakumar R., Subramonian V., Ramprakash Y. ve Lakshmanan A.S., 1987. Thin Film Preparation By Spray Pyrolaysis For Solar Cells. Materials Chem. Phys, 16(5-6): 385-395.

Lampkin C.M., 1979. Prog. Crys. Growth Charac., Pergamon Press, London-GB.

Leroy J., Bessaudou A., Cosset F., Crunteanu A., 2012. Structural, electrical and optical properties of thermochromic VO_2 thin films obtained by reactive electron beam evaporation, Thin Solid Films 520: 4823–4825.

Liu S., Wang X., Nie L., Chen L., Yuan R., 2015., Spray pyrolysis deposition of Cu_3BiS_3 thin films, Thin Solid Films, 585: 72–75.

Lokhande B.J. and Uplane M.D., 2000. Structural, Optical And Electrical Studies On Spray Deposited Highly Oriented ZnO Films, Applied Surface Science. 167: 243-246.

Lubianiker Y. ve Balberg I., 1998. Observation Of A Meyer-Neldel Rule For Hopping Conductivity, Physica Status Solidi (b)**,** 205(1): 119-124.

Mahalingam T., Kathalingam A., Velumani S., Lee S., Sun M.H., Deak K.Y., 2006. Electrochemical Synthesis and Characterization of Zinc Selenide Thin Films. Journal of. Materials Science, 41: 3553-3559.

Manea A.A., Ganbavlec V.V., Gaikwada M.A., Nikama S.S., Rajpurec K.Y., Moholkar A.V., 2015. Physicochemical properties of sprayed V_2O_5 thin films: Effect of substrate temperature. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 115: 57-65

Mariappan R., Ragavendar M., Ponnuswamy V., 2011. Growth and Characterization of Chemical Bath Deposited $Cd_{1-x}Zn_xS$ Thin Films. Journal of Alloys and Compounds. 509: 7337–7343.

Mironov V.L., 2004. Fundamentals of Scanning Probe Microscopy, The Russian Academy of Sciences Institute for Physics of Microstructures, Nizhniy Novgorod.

Morin F.J., 1959. Oxides Which Show A Metal-To-Insulator Transition At The Neel Temperature , Physical Review Letters, 3(1): 34–36.

Mousavi M., Kompany A., Shahtahmasebi N., Bagheri-Mohagheghi M.M., 2013. Study Of Structural, Electrical And Optical Properties Of Vanadium Oxide Condensed Films Deposited By Spray Pyrolysis Technique. Adv. Manuf., 1: 320-328.

Margoni M.M., Mathuri S., Ramamurthi K.,. Ramesh Babu R, Sethuraman K., 2016. Investigation on the pure and fluorine doped vanadium oxide thin films deposited by spray pyrolysis method. Thin Solid Films, Elsevier, 606: 51-56.

Nag B.R., 1980. Electron Transport In Compound Semiconductors, Springer-Verlag, Berlin Heildelberg, New York, USA 461p.

Natsume Y., Sakata H., 2000. Zinc Oxide Films Prepared By Sol-Gel Spin-Coating, Thin Solid Films. 372(1-2): 30-36.

Oura K., Katayama M., Ion Beam As A Probe To Study The Behavior Of Hydrogen On Silicon Surfaces. Current Applied Physics, 3 (1): 39-44.

Pankove J.I., 1971. Optical Process In Semiconductors, Solid State Physical Electronics Series. Prentice-Hall, New Jersey, 422p.

Paraguay D., Estrada F., Acosta W., Andrade D.R. ve Yoshida M.M., 1999. Growth, Structure And Optical Characterization Of High Quality Zno Thin Films Obtained By Spray Pyrolysis, Thin Solid Films. 350(1-2): 192-202.

Park S.S., Mackenzie J.D., 1995. Sol-Gel-Derived Tin Oxide Thin Films, Thin Solid Films. 258(1-2): 268-273.

Partlow D.P., Gurkovich S.R., Radford, K.C. ve Denes L.J., 1991. Switchable Vanadium Oxide Films By A Sol-Gel Process, Journal of Applied Physics, 70(1): 443-452.

Pecharsky V.K. ve Zavalij P.Y., 2005. Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials. Springer Science-Business Media, Inc., New York. 713p.

Purica M., Budianu E., Rusu E., Danila M. and Gavrila R., 2002. Optical And Structural Investigation Of ZnO Thin Films Prepared By Chemical Vapor Deposition (CVD), Thin Solid Films. 403-404, 485-488.

Qadri S.B., Kim H., Horwitz J.S. ve Chrisey D.B., 2000. Transparent Conducting Films Of Zno-Zro_2: Structure And Properties, Journal of Applied Physics, 88(11): 6564-6566.

Qazilbash M.M., Burch K. S., Whisler D., Shrekenhamer D., Chae B. G., Kim H. T. ve Basov D. N., 2008. Correlated Metallic State Of Vanadium Dioxide. Physical Review B, 74(20): 5p.

Rajan R., Pandit A.B., 2001. Correlations To Predict Droplet Size In Ultrasonic Atomisation. Ultrasonics, 39: 235-255

Rashidi A.M., Hayati M. Rezaei A., 2011. Prediction of The Relative Texture Coefficient of Nanocrystalline Nickel Coatings Using Artificial Neural Networks. Solid State Sciences. 13: 1589-1593.

Rudden M.N. ve Wilson, J., 1980. Elements Of Solid State Physics, J. Wiley & Sons Ltd., GB, 186p.

Saeli M., Piccirillo C., Parkin I.P., Binions R., Ridley I., 2010. Energy modelling studies of thermochromic glazing, Energy and Buildings 42: 1666–1673.

Sarıca E., 2012. Ultrasonik Kimyasal Püskürtme Tekniği İle Vanadyum Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Büyütülmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Schroder D.K., 2006. Semiconductor Material and Device Characterization (3rd ed.). John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, New Jersey. 779p.

Silva R.F. ve Zaniquelli M.E.D., 1999. Aluminium Doped Zinc Oxide Films: Formation Process And Optical Properties, Journal of Non-Crystalline Solids. 247(1-3): 248-253.

Sing J., 1995, Semiconductor Optoelectronics, McGraw-Hill, Inc., USA, 725p.

Shintani T., Murata Y., 2011. Evaluation of the dislocation density and dislocation character in cold rolled Type 304 steel determined by profile analysis of X-ray diffraction. Acta Materialia. 59: 4314–4322.

Shin C., Iftiquar S.M., Park J., Kim Y., Baek S., Jang J., 2013. Optimization of Intrinsic Hydrogenated Amorphous Silicon Deposited by Very High-Frequency Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Using The Relationship Between Urbach Energy and Silane Depletion Fraction for Solar Cell Application. Thin Solid Films. 547: 256-262.

Skoog D.A. ve West D.M., 1980. Principles of Instrumental Analysis, Saunders College, Philadelphia, 769p.

Smith W.F., 1990. Principles Of Materials Science And Engineering, McGraw-Hill, Inc. USA, 864p.

Streetman B.G., 1980. Solid state electronic devices (2nd ed.), Prentice-Hall, Inc., 07632, 461p.

Sze S.M., 1981. Physics Of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, Ltd. USA, 868p.

Taniguchi I., Song D. and Wakihara, M., 2002. Electrochemical properties of $LiM_{1/6}Mn_{11/6}O_4$ (M= Mn, Co, Al and Ni) as cathode materials for Li-ion batteries prepared by ultrasonic spray pyrolysis method, Journal of Power Sources. 109: 333-339.

Terrier C., Chatelon, J.P. and Roger, J.A., 1997, Electrical And Optical Properties Of $SbSnO_2$ Thin Films Obtained By Sol-Gel Metod, Thin Solid Films, 295(1-2): 95-100.

Tigau N., Ciupina V., Rusu G.I., Prodan G. ve Vasile E., 2004. Influence Of Substrate Temperature On The Structural And Optical Properties Of Sb_2S_3 Thin Films, Romania Journ. Phys., 50(7-8): 859-868

Turton R., 2005. Katkıların Fiziği (Çev. Kemal Yoğurtçu). Aktif Yayınevi, İstanbul. 436 s.

Türhan İ., Tepehan G.G., 2009. Tantalum Oksit Katkılı Vanadyum Oksit İnce Filmlerin Özellikleri. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Programı, İTÜ. Derg./C., 7(1): 27-37.

Van Vlack L.H., 1998. Malzeme Bilimine Giriş, Birsen Yayınevi, İstanbul, 272p.

Vigil O., Vaillant L., Cruz F., Santana G., Acevedo A.M. ve Puente G.C., 2000. Spray Pyrolysis Deposition Of Cadmium-Zinc Oxide Thin Films, Thin Solid Films. 361-362: 53-55.

Warren B. E., 1969. X-ray Diffraction. Dover Publications, Inc., New York. 381p.

Wang H., Yi X. ve Chen S., 2006. Low Temperature Fabrication Of Vanadium Oxide Films For Uncooled Bolometric Detectors, Infrared Physics & Technology, 47(3): 273–277.

Wei X.B., Wu Z.M., Xu X.D., Wang T., Tang J.J., Li W.Z. ve Jiang Y.D., 2008. Growth Mode And Texture Study In Vanadium Dioxide Thin Films Deposited By Magnetron Sputtering. Journal of Physics D: Applied Physics, 41(5): 6p.

Wei Y., Li M., Zheng J., Xu C., 2013. Structural characterization and electrical and optical properties of V_2O_5 films prepared via ultrasonic spraying, Thin Solid Films, 534: 446–451.

Wikipedia, View of cantilever in Atomic Force Microscope, Retrieved July 14, 2009, from (http://en.wikipedia.org/wiki/File:AFM_(used)_cantilever_in_Scanning_Electron_Microscope,_magnification_1000x.JPG)

Williamson G.K., Smallman, R.E., 1956, Phil Mg., 1-34.

Wilson J. ve Hawkes J. F. B., 1989. Optoelectronics: an introduction, Prentice Hali, London.

Wu X.C., Lai F.C. ve Lin L.M., 2008. Influence Of Thermal Cycling On Structural, Optical And Electrical Properties Of Vanadium Oxide Thin Films, Applied Surface Science, 255(2): 2840–2844.

Yapan T., 2014. Fotovoltaik Güneş Gözesi Uygulamaları $Cd_{1-x}Zn_xS$ İnce Filmlerinin Büyütülmesi Ve Karakterizasyonu. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Yıldız A., Genç Ö., 1993. Enstrümental Analiz. Hacettepe Üniversitesi Yayınları A-64, Ankara. 480 s.

Yudin A., Shatrova N., Khaydarov B., Kuznetsov D., Dzidziguri E., Issi J.P., 2016. Synthesis of hollow nanostructured nickel oxide microspheres by ultrasonic spray atomization, Journal of Aerosol Science, 98: 30–40.

Zak A.K., Majid W.H. Abd., Abrishami M.E., Yousefi R., 2011. X-ray analysis of ZnO nanoparticles by WilliamsoneHall and sizeestrain plot methods, Solid State Sciences, 13: 251-256.

Ziman J.M., 1972. Principles of The Theory of Solids (2nd ed.). Cambridge University Press, England, 435p.

Zhang D.H., Yang T.L., Wang Q.P. ve Zhang D.J., 2001. Electrical And Optical Properties Of Al-Doped Transparent Conducting ZnO Films Deposited On Organic Substrate By RF Sputtering, Materials Chemistry and Physics, 68(1-3): 233-238.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hasan Hakan BAŞARAN

Doğum Yeri: Çanakkale

Doğum Tarihi: 12.09.1986

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

Bildiriler -Uluslararası –Ulusal

Adım Fizik Günleri V Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü 21 – 23 Nisan 2016, Eskişehir / Türkiye Poster Bildirileri

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl :

01.12.2010 - 01.02.2011, Kültür Dershaneleri, Ortaokul ve Liseler için Fizik Öğretmenliği

01.10.2009 – 01.06.2010, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, öğrenci için kısmi zamanlı bir iş

01.10.2009 – 01.01.2010, AEGEE Express adında bir öğrenci gazetesinde yöneticilik

01.11.2008 – 01.06.2009, Çomü Kantin gazetesi adında öğrenci gazetesinde editörlük.

01.10.2007 – 01.06.2009, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinde bilgisayar laboratuvarında öğrenci için kısmi zamanlı bir iş

22.04.2015- Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Veri hizmetleri görevlisi

İLETİŞİM

E-posta Adresi : hak_bas@hotmail.com