T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLLOİDAL YÖNTEMLE GADOLİNYUM OKSİT (Gd_2O_3) NANOPARÇACIKLARININ SENTEZİ ve KARAKTERİZASYONU

Emre ÜNVER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Ağustos - 2014

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emre ÜNVER

28.08.2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOLLOİDAL YÖNTEMLE GADOLİNYUM OKSİT (Gd_2O_3) NANOPARÇACIKLARININ SENTEZİ ve KARAKTERİZASYONU

Emre ÜNVER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

2014, 70 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Berna GÜLVEREN
Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

Bu çalışmada, ucuz ve uygulanabilirliği kolay olan kolloidal yöntem ile gadolinyum oksit (Gd_2O_3) nanopartikülleri sentezlenmiş ve galyum (Ga), alüminyum (Al), demir (Fe), antimon (Sb) ve indiyum (In) gibi farklı metal iyonları katkılanarak fiziksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Saf Gd_2O_3 ile katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıklarının fiziksel özelliklerini incelemek için morfolojik, yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir. Optiksel analiz sonucunda Ga ve Al katkılarıyla beraber filmlerin geçirgenliklerinde artış gözlemlenirken, Fe, Sb ve In katkılarıyla beraber geçirgenlikte düşüş gözlemlenmektedir. XRD sonuçları incelendiğinde elde edilen tüm ince filmlerde (400) yöneliminde kübik yapıda Gd_2O_3 nanoparçacıkların oluştuğu görülmüştür. Antimon katkısı ile bu pik şiddetinin arttması ve kristal yapının düzelmesi dikkat çekmiştir. AFM görüntüleri incelendiğinde ise saf Gd_2O_3 nanoparçacık kaplı numuneler ile In ve Ga katkılı numunelerin tanelerin homojen olarak dağıldığı ve yüzeye tutunmaların iyi olduğu; Sb, Al ve Fe katkılanan numunelerde kümelenmelerin olduğu yüzeye tutunmaların iyi olmadığı görülmüştür. Alınan ölçümler değerlendirildiğinde filmlerin yapısal, morfolojik ve optiksel özelliklerinin katkı malzemesine göre değişiklikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gadolinyum oksit, Kolloidal Yöntem, Nanoparçacıkların Fiziksel Özellikleri, Metal Katkılama.

ABSTRACT

MS THESIS

THE SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF GADOLINIUM OXIDES (Gd_2O_3) NANOPARTICLES BY COLLOIDAL METHOD

Emre ÜNVER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

IN DEPARTMENT OF PHYSICS

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU

2014, 70 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Berna GÜLVEREN
Assoc. Prof. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU
Asst. Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

In this study, gadolinium oxide (Gd_2O_3) nanoparticles has been synthesized by using colloidal method having some benefits such as basic, cheap and easy applicable, and also the effects of doping different metal ions such as gallium (Ga), aluminium (Al), iron (Fe), antimony (Sb) and indium (In), has been investigated on its physical properties. To investigate the physical properties of pure and dopant Gd_2O_3 nanoparticles, it has been investigated the structural, morphological and optical properties. As a result of optical analysis, it has been shown that since transmittance of Gd_2O_3 nanoparticles has increased with doping Ga and Al metal ions, transmittance has decreased with doping Fe, Sb and In metal ions. The X-ray diffraction results showed that all of samples were observed the form of cubic structure of the anatase phase crystal plane (400). Besides, it has been reported that both intensity of peak has increased and crystal structure has improved with doping Sb metal ion. Three-dimensional surface topography of these nanoparticles has been examined by atomic force microscopy (AFM). From these images, good adhesion onto substrate, a homogeneous distribution and existence of a granular structure on the surface have been noticed with doping Ga and In metal ions, on the contrary, poor adhesion onto substrate, non-uniform distribution and existence of a granular structure on the surface have been noticed with doping Sb, Al and Fe metal ions. The variations of structural, morphological and optical properties were observed depending of the dopant metal ions.

Anahtar Kelimeler: Gadolinium oxide, Kolloidal Method, Physical Properties of Nanoparticles, Metal dopant.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Yüksek lisans öğrenim süresi boyunca göstermiş oldukları ilgi ve alakadan dolayı Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünün değerli öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince her türlü kolaylığı sağlayan, karşılaştığım zorluklarda yol gösteren ve bu çalışmamın oluşmasında bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Savaş SÖNMEZOĞLU' na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Öğretim Üyesi Yrd. Dr. Aytaç GÜLTEKİN'e ve Sönmezoğlu Araştırma Grubu'ndaki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bana her konuda destek olan iyi günde kötü günde yanımda olduklarını bildiğim sevgili babam, annem ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Emre ÜNVER

KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET **1**

ABSTRACT **2**

ÖNSÖZ **3**

İÇİNDEKİLER **4**

1. GİRİŞ **9**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **11**

3. LANTANİTLER ve ÖZELLİKLERİ **14**

3.1. Gadolinyum Oksitin (Gd_2O_3) Özellikleri 19
3.2. Gadolinyum Oksitin Kristal Yapısı 20

4. YARIİLETKENLER **22**

4.1. Yarıiletkenlerin Optiksel Özellikleri 22
4.1.1. Temel absorbsiyon olayı 23
4.1.2. Direkt bant geçişi 23
4.1.3. İndirekt bant geçişi 24
4.1.4. Yasak enerji aralığının belirlenmesi 25
4.2. Yarıiletkenlerin Yapısal Özellikleri 28
4.2.1. X-Işınımı kırınımı (XRD) 28
4.3. Yarıiletkenlerin Morfolojik Özellikleri 33
4.3.1. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) 33

5. MATERYAL ve YÖNTEM **37**

5.1. Kolloidal Yöntem 37
5.1.1. Kolloidlerin sınıflandırılması 37
5.1.2. Kolloidal çözeltilerin hazırlanması 39
5.1.3. $GdCl_3$ ve NaOH çözeltilerinin karıştırılıp hazırlanması 41
5.1.4. Kolloidal yöntemle Gd_2O_3 nanoparçacık sentezi 41
5.1.5. Katkılanacak Çözeltilerin Hazırlanması 41
5.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler 47

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **53**

6.1. Gd_2O_3 Nanoparçacıkların Optiksel Özellikleri 53
6.1.1. Tickness Programı ile Büyütmelerin Kalınlıklarının Ölçülmesi 54
6.1.2. Gd_2O_3 Nanoparçacık Yapıların XRD Analizleri 56
6.2. Gd_2O_3 İnce Filmlerin Morfolojik Özellikleri 59
6.2.1. Gd_2O_3 Nanoparçacıkların AFM Görüntüleri 59

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER **61**

7.1. Sonuçlar 61

7.2. Öneriler 62

8.KAYNAKLAR 64

ÖZGEÇMİŞ 70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a :Örgü sabiti
A :Soğurma
Al :Alüminyum
Ga :Galyum
In :İndiyum
Fe :Demir
Sb :Antimon
α :Lineer soğurma katsayısı
Å :Angstrom
B :Yarı pik genişliği
°C :Santigrat derece
C :Karbon
c :Işık hızı
cm :Santimetre
Cu :Bakır
d :Düzlemler arası mesafe
d.c. :Doğru akım
dev. :Devir
dak. :Dakika
D :Kristal boyutu
eV :Elektron volt
E :Foton enerjisi
E_i, E_f :İlk ve son durum foton enerjisi
E_g :Yasak enerji aralığı
ε :Dielektrik sabiti
e :Elektron yükü
E :Elektrik alan
g :Gram
h :Planck sabiti
Hg :Civa
I :Standart şiddet
I_0 :Gözlenen şiddet, gelen ışığın şiddeti
I_T :Geçen ışığın şiddeti
k :Sönüm katsayısı
°K :Kelvin derece
λ :Dalgaboyu
m :Metre
mm :Milimetre
m_e, m_p, m_r :Elektron, hol ve indirgenmiş kütle
M :Molar
μ :Mobilite
μ_e, μ_p :Elektron ve hol mobilitesi
μm :Mikrometre
N :Durum yoğunluğu
nm :Nanometre
n_i, n_f :İlk ve son durum elektron yoğunluğu
n :Kırılma indisi

η	:Viskozite
O	:Oksijen
Eu	:Europyum
Nd	:Neodyum
Tm	:Tulyum
Yb	:İterbiyum
Er	:Erbiyum
r.f.	:Radyo frekans
P	:Geçiş olasılığı
R	:Yansıma katsayısı
ρ	:Yoğunluk
σ	:Elektriksel iletkenlik
s	:Saniye
υ	:Frekans
v	:Hız
T	:Geçirgenlik
Ti	:Titanyum
U	:Taşıyıcı hız
θ	:Bragg açısı
2θ	:Kırınım açısı
Gd	:Gadolinyum

Kısaltmalar

AFM	:Atomik kuvvet mikroskobu
CVD	:Kimyasal buhar metodu
EPR	:Elektroparamanyetik rezonans
FTIR	:Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
(hkl)	:Miller indisleri
HCl	:Hidrojen klorür
H_4EDTA	:Etilediamin tetra asetikasitin
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu
TEM	:Geçirgenlik elektron mikroskobu
TiO_2	:Titanyum dioksit
CdS	:Kadmiyum Sülfür
$CoSb_2O_6$	:Kobalt antimonat
$ZnSb_2O_6$	:Çinko antimonat
ODH	:Oksalil dihidrazid
Bi_2O_3	:Bizmut oksit
Gd_2O_3	:Gadolinyum oksit
UV	:Ultraviyole, Morötesi
UV-vis	:Morötesi-görünür bölge spektroskopisi
UV-VİS-NIR	:Morötesi-görünür-kızılötesi spektroskopisi
XPS	:X-ışını fotoelektron spektroskopisi
XRD	:X-ışını kırınımı spektroskopisi
NTE	:Nadir toprak elementi
ZnS	:Çinko sülfür
GaAs	:Galyum arsenit
CdSe	:Kadmiyum selenür
InSb	:İndium antimon

$GdCl_3$:Gadolinyum Klorür
NaOH :Sodyum Hidroksit

1. GİRİŞ

Gelişen sanayi ve teknoloji ile birlikte üretilen malzeme performansındaki özellikler de sürekli gelişmektedir. Bu nedenle gelen talepleri karşılayacak yeni ve üstün özellikli malzemelerin üretimi önem kazanmıştır.

Nanoteknolojinin ortaya çıkışı ilk olarak, 1960 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilebileceği üzerine yapmış olduğu ünlü konuşmasına dayanmaktadır. Feynman nano yapıların önemli özelliklerini vurgulayarak bilim insanlarının dikkatlerini nanometre boyutlarına çekmek için çaba göstermiştir (Tütünoğlu, 2007).

1980'li yıllarda peş peşe gelen Nobel Fizik Ödüllerine konu olan çeşitli bilimsel çalışmalar hem nanometre ölçeklerinde saklı yeni davranışları ortaya çıkarmış, hem de atomu görüp onu istediğimiz yere taşıyabilmemize olanak verecek yeni gelişmelere yol açmıştır. 20. yüzyılın son çeyreğinde, doğada bulunmayan yeni nano yapıların atomsal düzeyde tasarlanarak sentezlenmesi devri başlamıştır (Kaya, 2009).

Atomun istenilen yere taşınması ve küçülen tanecik boyutu ile beraber malzemelerin optiksel, fiziksel, elektronik, manyetik v.b. özelliklerinde gözlenen değişiklikler bu alandaki çalışmalara hız kazandırmıştır. Elde edilen gelişmeler ve varılan sonuçlar neticesinde nanomalzemelerin teknolojik gelişmelerdeki potansiyeli gün yüzüne çıkmıştır.

Nanoteknolojinin sağlamış olduğu üstün özelliklerden yararlanarak çeşitli alanlarda (tıp, elektronik, savunma, tekstil vb) yeni ürünler elde edilebilmektedir. Hızlı bir şekilde gelişen nanoteknoloji pazarının 2015 yılında 1 trilyon dolarlık bir ciroya ulaşacağı tahmin edilmektedir. Nanoteknoloji malzemelerinin pazar büyüklüğünün 340 milyar doları aşacağı, elektronikteki nanoteknolojik ürünlerin ise 300 milyar doları bulacağı belirtilmektedir (Ersan, 2006). Bu konuda Amerika ve Japonya başta olmak üzere, dünyadaki birçok gelişmiş ülkede büyük bütçelerle araştırma laboratuvarları kurulmuştur. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen cihazların daha sağlam, kaliteli, uzun ömürlü, ucuz, hafif, küçük, fonksiyonlu ve kullanımının kolay olması amaçlanmaktadır. Nanoteknoloji, 0,1 nanometreden (hidrojen atomunun büyüklüğü) 100 nanometreye (bir virüsün büyüklüğü) kadar olan uzunluk ölçülerindeki araştırmalar ve teknolojik gelişmelerde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, maddenin atomlarını seçici bir şekilde

düzenleyerek, metalden seramiğe, polimerden yarıiletkene, camdan kompozitlere kadar her şey alışılmışın dışında bir performans gösterecek şekilde yapılandırılmaktadır. Bu teknoloji ile metaller daha güçlü ve hafif, seramikler daha esnek, plastikler daha iletken bir hale getirilebilir (Uldrich ve Newberry, 2005).

Günümüzde çeşitli malzemelerin farklı sentez yöntemleri denenerek veya malzemeler birbiri ile katkılanarak ihtiyaçlarımızı karşılayacak özelliklerde malzemeler elde edilmeye çalışılmaktadır. Metaller, yarıiletkenler, nadir toprak elementleri nano ölçekte sentezlenmekte ve bu malzemelerin özellikleri incelenmektedir.

Bu tez çalışmasında, nadir toprak elementlerinden Gd_2O_3 nanoparçacıklar, düşük maliyetli bir yöntem olan ve parçacık boyut dağılım kontrolü yüksek olan kolloidal yöntem ile sentezlenmiştir. Sentezlenen Gd_2O_3 nanoparçacıklar, daldırma ile kaplama tekniği ile saf camlar üzerine büyütülerek homojen dağılmış Gd_2O_3 nanoparçacıklar elde edilmiştir. Ayrıca, sentezlenen nanoparçacıklar; galyum (Ga), demir (Fe), antimon (Sb), aliminyum (Al) ve indiyum (In) metal iyonları ile katkılanmıştır. Yine saf cam üzerine büyütülerek elde edilen numunelerin X-ışını kırınım desenlerinden (XRD) yapısal özellikleri, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntülerinden morfolojik özellikleri, UV-vis-NIR spektrofotometresi ölçümlerinden ise optiksel özellikleri analiz edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölüm, nanoparçacık sentezi ve katkılanması konusu üzerine literatürde daha önceden yapılmış bazı benzer çalışmaları içermektedir.

Semra Durmuş yapmış olduğu tez çalışmasında, bizmut trioksit, gadolinyum trioksit ikili sisteminde bilinmeyen yeni fazların elde edilmesini ve sıcaklığa bağlı elektriksel iletkenliği incelemiştir. Tespit ettiği homojen fazlar için dört nokta d.c. elektriksel iletkenlik ölçümü ve DTA/TG analizlerini yapmıştır. Gd_2O_3, Bi_2O_3 ve belirli oranlarda Gd_2O_3 katkılanmış Bi_2O_3 için XRD sonuçlarını incelemiştir. Katkılanmış Bi_2O_3 için iletkenlik ölçümleri yapmış, sıcaklıkla beraber iletkenliğin arttığını gözlemlemiştir. X-ışınları difraktometresi ile yapılan ölçümlerde Bi_2O_3-Gd_2O_3 ikili sisteminde tetragonal tipi ve yüzey merkezli kübik (ffc) tipi katı çözeltilerin oluşabildiğini saptamışlardır (Semra Durmuş, 2008)

Garcia ve ark., 2009 yılında yaptıkları çalışmada sol-jel yöntemiyle üretilen Gd_2O_3'e evropyum (Eu^{+3}) katkılayarak daldırma tekniğiyle ince filmler üretmişlerdir. Büyütülen filmler 500-700 ^{0}C arasında tavlanmış ve 700 ^{0}C'de tavlanan filmlerin optiksel özelliklerinin ideal değere daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu filmlerin kalınlıklarının 447 nm ile 598,7 nm aralığında değiştiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, yapıların XRD analiz sonuçlarından Gd_2O_3 nanoparçacıklarının (400) yöneliminde pik verdiği gözlemlenmiştir. SEM analizlerinde ise tanelerin yüzeye homojen dağıldığı görülmüştür (Garcia, 2009).

Laboratuvar çalışmalarında Ferrari ve ark., neodimyum (Nd^{+3}) katkılı Gd_2O_3 nanoparçacığın farklı parçacık boyutlarını elde etmek için bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında parçacık boyutuna, etilediamin tetra asetikasitin (H_4EDTA) kimyasal aşındırma etkisini incelemişlerdir. Gözlemlenen yapısal ve spektrokopik incelemelerde kızılötesi bölgede bir grup emisyon gözlemlemişlerdir ki bu fotonik uygulamalar için önemli bir özelliktir. SEM görüntülerinden ise Nd^{+3} artışı ile Gd_2O_3 nanoparçacığın boyutunun arttığını bildirmişlerdir (Ferrari, 2011).

Guo ve ark. yaptıkları çalışmada, Tm^{+3}, Er^{+3} ve Yb^{+3} nadir toprak iyonları ile Gd_2O_3 nanokristalleri katkılamışlardır. Sentez yöntemi olarak sol-jel yöntemini kullanmışlardır. Aldıkları Raman ve FT-IR spektrumları sonuçlarına göre görünür bölge

emisyonlarında heyecan verici sonuçlar elde etmişler, görünür bölgedeki emilimi ve enerji transfer süreçleri üzerine tartışmışlardır (Guo, 2004).

Tran ve ark., çalışmalarında $GdBa_2Cu_3O_7$ (GBCO) çözeltisine Gd_2O_3 nanoparçacığını homojen dağılım sağlayan darbeli lazer yöntemi ile katkılamışlardır. Alınan TEM ve AFM görüntülerinde de Gd_2O_3 nanoparçacıkların yüzeye eşit dağıldığını gözlemlenmiştir. XRD sonuçlarında ise, (400) yöneliminde Gd_2O_3 nanoparçacıklar görülmüştür (Tran, 2012).

Bir başka çalışmada ise, Gd_2O_3 nanoparçacıklarını, Dhananjana ve ark., sitrik asit, üre glisin ve oksalil dihidrazid (ODH) kullanarak alev sentezi yöntemi ile sentezlemişlerdir. UV-vis cihazı yardımıyla hesaplanan yasak enerji band aralığının 4,89 eV ile 5,59 eV aralığında değiştiğini bununla birlikte PL sonuçlarından; mavi (420-482 nm), yeşil (532 nm), ve kırmızı (612 nm) emisyon değerleri bulmuşlardır. TEM cihazı ile aldıkları görüntülerde Gd_2O_3 nanoparçacık boyutlarının 27 nm-60 nm arasında olduğunu ve homojen olarak dağıldığını görmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada Gd_2O_3 nanoparçacıkların ışık yayan diyot (Light Emitting Diode, LED) yapımı için umut verici olduğu sonucuna varmışlardır (Dhananjaya, 2012).

Literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi kullanılan nanoparçacıkların üretiminde pek çok sentez yöntemi kullanılmaktadır. Kolloidal yöntem de bu sentez yöntemlerinden biridir. Yeni bir sentez yöntemi olan kolloidal sentez yöntemi gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır ve sıkça kullanılmaya başlamıştır.

Tomihera ve ark., kolloidal yöntemle sentezledikleri Zn-CdS (Sn_1-xCd_xS) alaşım kuantum noktaların optik özelliklerini incelemişlerdir. Farklı x değerleri için elde edilen tüm alaşım bileşimlerin başarılı olduğu bu çalışmada, boyut dağılımı ve genişlik, selektif ışıkla yedirme yöntemi ile %5'e kadar düşürülmüştür. Hesaplanan sonuçlar deneysel sonuçlar ile x=0,2 ve x=1 değerleri arasında çok iyi uyuşmaktadır. Bu aralıkta bulunan sonuçlar, kuantum noktaların kabul edilen yarıçap değeri olan 2,3 nm ile neredeyse aynı olduğunu gösterir. Sırasıyla yarıçap değerleri 1,7 ve 1,8 olarak tahmin edilmektedir (Tomihira, 2005).

Michel ve ark., çalışmalarında $CoSb_2O_6$'yı kolloidal yöntemle sentezlemişler, ön madde elde etmek için mikrodalga radyasyonu işlemi sırasında buharlaştırma

uygulamışlardır. TEM görüntülerinde 6-18 μm uzunluğunda ve yaklaşık 2,5 μm çapa sahip nanoparçacıklar gözlemlemişlerdir (Michel, 2009).

Dadgostar ve ark., yaptıkları çalışmada kolloidal yöntem ile bakır nanoparçacıkları sentezlemişlerdir. Sentezlenen nanoparçacıklar 6,06 nm boyutunda küresel ve yığılmamış yapıdadır. HRTEM sonuçlarından parçacıkların kristal yapı analizinde yüzey merkezli kübik yapıda oldukları görülmüştür. TEM görüntülerinde de parçacık boyutu 0,78 nm sapma ile ortalama 6,06 nanometre olarak ölçülmüştür (Dadgostar, 2010).

Yao ve ark. tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, çevre dostu olan ve kolay uygulanabilen kolloidal çöktürme yöntemi ile karbon ile desteklenen platin nanoparçacıklar sentezlenmiştir. TEM görüntülerinde karbon desteği ile dağıtılmış platin nanoparçacıklar gözlemlenmiştir. Bu yöntemde parçacık boyutu ayarlanabilmektedir. Sentezlenen bu parçacıkların metanol yakıt hücreleri için son derece dağıtıcı ve elektroaktif Pt/C katalizör hazırlanmasında son derece önemli bir potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Yao, 2012).

Michel ve ark., yaptıkları başka bir çalışmada triratile-tipi yapıya sahip $ZnSb_2O_6$'yı bir mikrodalga destekli kolloidal metotla hazırlamışlardır. Sentezlerinde etil alkol içinde çözünmüş antimon triklorürü ve n-dodesilamini kullanmışlardır. Yüzeye bağlı parçacıkları ve nanoçubukları aldıkları SEM ve TEM görüntülerinde gözlemlemişlerdir (Michel, 2012).

3. LANTANİTLER ve ÖZELLİKLERİ

Diğer adı Lantanitler olan, Nadir Toprak Elementleri (NTE) çakmaktaşlarını meydana getiren Ferroseryum alaşımları olarak bilinmektedir. Nadir toprak elementleri isimlerinin aksine doğada nadir değildirler. Litosferde Bakır, Kurşun ve Çinkodan daha fazla bulunurlar. Tek atom numaraları elementler, komşuları olan atom numaraları çift olan elementlere göre daha nadirdir. Tulyum ve Europyum gibi bazıları gerçekten nadirdir (www.maden.org.tr, 28/05/2007). Lantanitler atom numarası 57 olan Lantan'dan başlayıp, atom numarası 71 olan Lütesyuma kadar olan elementleri kapsar. Bu 14 element kimyasal olarak benzerlik göstermektedir. Lantanitler 1794 yılında Fin'li kimyager U. Gadolin tarafından keşfedilmiştir ve bilinen 54 tane lantanit minerali vardır (Samchuck ve Pilipenko, 1987).

Çizelge 1'de lantanitlerin atom numaraları ve ağırlıkları sırayla gösterilmiştir. Buraya tabiatta daima nadir toprakla beraber bulunan 39 numaralı ve 88,9 atom ağırlıklı İtriyumun da ilavesi gerekir. Bazen de Skandiyum, daha az benzediği halde ilave edilmektedir.

Atom No	Atom Ağırlığı	İsmi	Sembolü
57	138,9	Lantan	La
58	140,1	Seryum	Ce
59	140,9	Praseodyum	Pr
60	144,2	Neodyum	Nd
61	147,0	Prometyum	Pm
62	150,3	Samaryum	Sm
63	151,1	Europyum	Eu
64	157,2	Gadolinyum	Gd
65	158,9	Terbiyum	Tb
66	162,5	Disporsiyum	Dy
67	164,9	Holmiyum	Ho
68	167,3	Erbiyum	Er
69	168,9	Tulyum	Tm
70	173,0	İterbiyum	Yb
71	175,0	Lutesyum	Lu

Çizelge 1. Lantanitlerin atom numaraları, atom ağırlıkları, isimleri ve simgeleri.

Nadir toprak mineralleri; silikat, karbonat, oksit, florür, wolframit ve arsenit sınıflarına aittir. Permatitler ve hidrotermal oluşumları nadir toprak minerallerinin en fazla miktarını içerir. Ayrıca bunların mineralleri ve lantanitler büyük oranda taşıyıcı mineral içinde dağılmıştır. 1,38–0,74 iyon yarıçaplı elementlerin isomorfik yerdeğiştirmesi lantanitler için karakteristiktir. Lantanit minerallerinin kimyasal oluşum analizleri, bunların Tb, V, Zr, Hf, Fe, Sc, Ca, Sr, Ba, K, Na elementlerini içerdiklerini göstermektedir. Bütün nadir toprak mineralleri tek başına bulunan 14 tane üç değerli lantanit bileşiğinin isomorfik karışımıdır. Nadir toprak elementleri bir elementi çok fazla içerse bile, çok küçük miktarda olmasına rağmen diğer elementleri de içerir. Bazı çalışmalar nadir toprak elementleri içeriğinin bazik kayalardan asidik kayalara doğru arttığını, serit topraklardan itriyum topraklara, göstermiştir. Zirkon, florür gibi yardımcı minerallerde nadir toprak elementlerinin içeriği ve ilişkisi mineral oluşum koşullarına ve kayaların genetik özelliklerine bağlıdır.

Nadir toprakların çok kuvvetli artı elektrik yükleri mevcut olup ilk sıradakiler toprak alkalilere uymaktadırlar. Ayrıca normal olarak hepsi üç değerlikli olup seryum gibi bazıları dört değerlidir. Bundan sonra iki değere düşerler. Nadir toprak metallerinin özellikleri genel olarak birbirine yakındır. Yoğunlukları 4,5’ dan 9,8’ e kadar atom ağırlıkları ile orantılı olarak artar. Kristal sistemleri hekzagonaldır (seryum, iterbiyum, evropyum kübiktir). Sadece prometyum tabiatta sabit değildir ve metal olarak elde edilmez. Bu gruba ait metaller; gümüş renginde, yumuşak fakat seri boyunca yer alan diğer elementlere göre daha serttir. Bu metallerin çoğu, birden fazla kristalografik yapıda bulunur ki bunların en yaygın olanları tipik olarak metalik sıkı düzenlemelere dayanmaktadır, fakat iletkenlikleri diğer sıkı düzenlenmiş metallerinkinden oldukça düşüktür.

Periyodik tablonun altıncı sırasında, 4f ve 5d alt kabuklarının bağlanma enerjileri birbirine yakın durmaktadır. Elementlerin elektronik konfigürasyonu; 4d alt kabuğunun doldurulması gibi sadece küçük faktörlerin bir fonksiyonu olarak bir elementten diğerine farklılık göstermektedir. [Xe] $6s^2$ $5d^1 4f^n$ (lantan için n=0 ise) yapısına sahip olan lantanyum, gadolinyum ve lutesyum hariç, lantanit elementlerin tümü [Xe] $6s^2 4f^{n+1}$ konfigürasyonuna sahiptir. Bununla birlikte, genellikle üç değerlikli olan ve [Xe] $4f^n$ konfigürasyonuna sahip olan, 4f alt kabuğu Lantanyumdan Lutesyuma kadar aşamalı olarak doldurulan iyonların elektronik konfigürasyonu ilginçtir. Serbest

atomların elektronik konfigürasyonu atomik spektrumlarındaki karmaşıklık nedeniyle oldukça zor saptanmaktadır ve genelde [Xe] $4f^n5d^06s^2$ yapısına yakın olduğu düşünülmektedir. İstisnalar ise;

• La'dan hemen sonra gelen Seryum (Ce) 5d orbitalini işgal ettiğinden 4f orbitallerinin enerjisindeki indirgenme ve ani daralmayı göstermez.

• Gd, yarı dolu 4f kabuğunun kararlılığını yansıtır;

• Lu, kabuğu tam doldurulmuştur.

Sadece seryumda, ki bu sulu çözelti kimyasında önemlidir, +3 oksidasyon durumu baskın olduğunda, konfigürasyon $4f^1$ (Ce(III))' den $4f^{14}$ (La(III))' e düzenli olarak değişir. Seri boyunca devam eden bu 4f konfigürasyonun herhangi bir özelliğinde düzenli bir değişmenin olduğu görülmesine dayanarak bu konfigürasyonun söz konusu özelliklerindeki değişmenin oldukça yüksek düzensizlikler olamayacağı belirtilmektedir. Öte yandan, atom numarası lantanit serileri boyunca arttığı için çekirdek üzerinde artan yük elektronları perdeler ve çekirdeği kaplamak için bunları çekmeye meyilli olup, lantanyumdan lütesyuma kadar üç değerlikli katyonların iyonik yarıçapında düzgün bir azalmaya neden olur. Lantanit büzülmesi elektronik yapının bir sonucudur. Bu 'lantanit büzülmesi, çekirdek yükünde her artmanın elektronik yükteki eş zamanlı bir artmayla tam olarak dengelenmesine rağmen, 4f orbitallerinin yönsel özelliklerinin kendi kendilerini ve sadece çekirdek yükünden kaynaklanan diğer elektronları korumak için 4f elektronlarına neden olmasıyla oluşur.

Çekirdek yükünde bir birimin artması, tüm ekstra nükleer yük bulutunun saldırısında net bir azalmaya neden olur ve her iyon öncekiyle kıyaslandığında büzülür. Öte yandan, metal yarıçapında görülen tüm azalmalar benzer olmasına rağmen, Eu ve Yb' da oldukça düzensizdir. Bunun sebebi metallerin çoğunun $4f^n$ konfigürasyonu ve 5d/6s iletkenlik bandındaki 3 elektron ile Ln (III) iyonlarının bir örgüsünden oluşmasıdır. Metalik Eu ve Yb, iletkenlik bandındaki 2 elektron ve $4f^n$ konfigürasyonları ile baskın olarak daha büyük Ln (II) iyonlarından oluşmaktadır. Metalik seryum için daha küçük ve karşıt bir düzensizlik +3'ün üstündeki bir yükseltgenme basamağında yer alan iyonların varlığından kaynaklanmaktadır. Özellikle Eu ve Yb olmak üzere metallerin diğer özelliklerinde benzer durumlar bulunmaktadır. 4f elektron kabuğunun dolmasıyla sonuçlanan bir büzülme kesinlikle istisnai bir

durumdur. Benzer büzülmeler periyodik tablonun ve d bloğunun her sırasında meydana gelir, sözgelimi iyonik yarıçap 20,5pm ile Sc(III)' den Cu(III)' e ve 15pm ile Y(III)' den Ag(III)' e doğru azalmaktadır. Lantanit büzülmesinin önemi şu sonuçlardan ortaya çıkmaktadır;

1. Ln (III)' den yanındaki elemente doğru çapın azalması bunların ayrılabilmelerini sağlar, ancak bu azalmanın oldukça düzenli ve az olması bu ayırmayı zorlaştırır.

2. Ho Ln (III)' ün yarıçapına ulaşana kadar daha ağır lantanitlerle istisnasız ilgisi bulunan çok daha hafif bir element olan Y (III)' ninki ile özdeş olacak şekilde yeterli derecede azalmaktadır.

3. Toplam lantanit büzülmesi birinciden ikinciye geçiş serilerine geçildiğinde bulunan ve böylece ikiden üçe geçişte olması umulan genişlemeye benzer büyüklüktedir.

Gerçekte lantanitlerin eklenmesi, geçiş elementlerinin her bir grubundaki ikinci ve üçüncü üyelerin çok benzer boyut ve özellikler gösterdiği ilk kısımlarda belirtilen sonuç ile bu umulan artışı iptal eder. 4f kabuğunun dolması sırasında bir değişikliğe yol açan redoks işlemleri seri boyunca oldukça düzensiz bir değişmeye neden olur.

I_3; $4f^{n+1}$ (Ln^{2+}) → $4f^n$ (Ln^{3+})' e 1 elektron değişimiyle ilgilidir ve 2 eğrinin benzer olması bu değişimin ΣI eğrisinin belirlenen şekil üzerinde baskın faktör olduğunu gösterir. Seri boyunca I_3' ün değişmesi; Ln^{3+} 'ün Ln^{2+}' ye indirgenmesini içeren herhangi tipik bir prosesin enerjisindeki değişmedir (örneğin; -ΔHf özellikle $4f^{n+1}6s^2 \rightarrow 4f^n5d^16s^2$ ile ilgilidir). Bu durum enerjideki bir artma ile anlaşılır, ilk olarak Ln(II) iyonlarının 4f orbitallerinin her birine tek yerleşir ve 4f kabuğunun kararlılığı çekirdek yükündeki artmaya uygun olarak artar, sonra tekrar 4f orbitalinin her biri çift olarak doldurulur (Gd → Lu). Gd ve Lu' daki ani düşüşler kararlı $4f^7$ ve $4f^{14}$ konfigürasyonlarının fazlalığında tek elektronların taşınmasının kolaylaştığını yansıtır. Açıklamalar, dörtte üç ve dörtte bir kabuk basamaklarında daha küçük düzensizlikler için verilmektedir fakat enerji değişimindeki gibi, elektronik itmenin dikkate alınması gerekmektedir (Greenwood ve Earnshaw, 1984).

Fiziksel özellikleri bakımından incelendiğinde, nadir toprak elementlerinin en çok metallerle alaşım oluşturdukları görülmektedir. Bunlar katı çözeltilerde çatlak olarak veya ikinci bir faz içinde ara metal bileşikleri olarak bulunabilirler. Diğer

elementlerle alaşımı nadir toprak elementlerini hem propik hem de paslanmaya dayanıklı yapar. Bu, materyaller çok saf ve çok iyi tanımlanmış olduğunda, fiziksel katsayılar saptandığında son derece önemlidir. Numunedeki tüm safsızlık düzeyleri bilinmelidir. Özel lantanitlerin ark ve kıvılcım spektrumu son derece komplekstir. Binlerce emisyon çizgisi gözlenir. Çözeltilerdeki üç değerlikli nadir toprak iyonları için absorbsiyon spektrumu çok daha iyi anlaşılır. Bununla birlikte, civardaki kristal alanları bazı durumların yozlaşmasını giderir ve farklı seviyeler bulunur. Söz konusu kristal alan seviyelerinin çoğu temel seviyelere çok yakın bulunmaktadır. Katı ısıtıldığında, daha düşük seviyelerin bir kısmı işgal edilir. Nadir toprak metallerinin bazı fiziksel özellikleri sıcaklığa karşı çok hassastır. Oda sıcaklığının üstünde, diyamanyetik lantanyum ve lutesyum istisna olmakla birlikte, üç değerlikli lantan iyonları paramanyetiktir. Dört değerlikli seryum ve iki değerlikli iterbiyum da diyamanyetiktir. Metaller için sıcaklık düşürüldüğünde; spin ve orbital momentleri düzenlenir. Metaller antiferromanyetik ya da gadolinyum, terbiyum, disporsiyum gibi ferromanyetik olur. Nadir elementlerin mıknatıslığı yüksek derecede eş yönsüzdür ve bazı endüstriyel uygulamalarda önemlidir (Greenwood ve Earnshaw, 1984).

Lantanitlerin günümüzde endüstriyel kullanım alanları giderek artmaktadır. Genelde bileşikleri nükleer santrallerde ve hidrojen ile çalışan arabaların motorlarında katalizör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca fosforlu boyalarda, çakmakların kıvılcım sistemlerinde, güçlü mıknatıs üretiminde, seramiklerin dış cilasını oluşturan sırlarda ve daha birçok alanda kullanılmatadırlar.

3.1. Gadolinyum Oksitin (Gd_2O_3) Özellikleri

Gadolinyum atom numarası 64, atom kütlesi 157,25 gr olan bir nadir toprak elementidir. Erime noktası 1586 K ve kaynama noktası 3539 K'dir. 298 K`de yoğunluğu 7,9 g/cm$^3$'tür. Elektronik konfigürasyonu ise $4f^7 5d^1 6s^2$ şeklindedir. Gadolinyumun sekiz izotopu vardır, dördü kararlı ikisi ise radyoaktiftir. Doğada en çok bulunan izotopu 156 kütle numarasına sahiptir ve bulunma oranı %20,6`dır. Gadolinyum, J.C. Galissard de Marignac tarafından 1880`de İsviçre'nin Cenova şehrinde keşfedildi. 1886 yılında elementel halde izole edildi (Özcan ve Dölen, 1976). Gadolinyum parlak gümüş-beyaz renktedir. Monazite ve Basnaesite minerallerinde bulunur, iyon değiştirme ve solvent ekstraksiyonuyla ayrılıp saflaştırılır (Baykurt, 1981). Canlı organizmalardaki etkisi ise bilinmemektedir ve az zehirli olduğu tahmin

edilmektedir. Gadolinyum oksijen ve su ile yavaş reaksiyon verir ve asitlerde çözünür. Kuru havada belli dereceye kadar kararlıdır. Fakat nemli havada donuklaşır (Özdemir, 1981). Gadolinyum havada yavaşça matlaşır ve yandığında gadolinyum trioksit formuna dönüşür (Özcan ve Dölen, 1976).

$$4Gd + 3O_2 \rightarrow 2Gd_2O_3 \quad (1)$$

Gadolinyum metalinin elektropozitifliği yüksektir. Soğuk su ile yavaşça reaksiyon verir. Sıcak su ile çok hızlı reaksiyon verir ve gadolinyum hidroksit $Gd(OH)_3$ formuna dönüşerek, hidrojen gazı çıkarır (Özcan ve Dölen, 1976).

$$2Gd(k) + 6H_2O(g) \rightarrow 2Gd(OH)_3(s) + 3H_2(g) \quad (2)$$

Gadolinyum bütün halojenlerle Gd(III) halinde reaksiyon verir. Böylece gadolinyum (III) florür, gadolinyum (III) klorür, gadolinyum (III) bromür ve gadolinyum (III) iyodür bileşiklerini oluşturur. Bu bileşiklerden ilk üçü beyaz, GdI_3 ise sarı renklidir. Reaksiyonlar aşağıdaki şekildedir (Özcan, Dölen,1976, Baykurt,1981).

$$2Gd(k) + 3F_2(g) \rightarrow 2GdF_3(k) \quad (3)$$

$$2Gd(k) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2GdCl_3(k) \quad (4)$$

$$2Gd(k) + 3Br_2(g) \rightarrow 2GdBr_3(k) \quad (5)$$

$$2Gd(k) + 3I_2(g) \rightarrow 2GdI_3(k) \quad (6)$$

Gadolinyum metali sülfürik asitte çözünerek Gd (III) şekline dönüşür ve hidrojen gazı çıkarır. Gd(III) iyonu ise su içerisinde $[Gd(OH_2)_9]^{3+}$ kompleksi şeklinde bulunur (Özcan, Dölen, 1976, Baykurt, 1981).

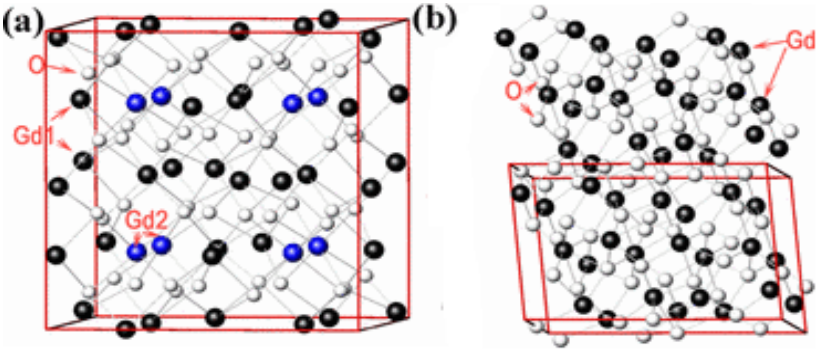
$$2Gd(k) + 3H_2SO_4(s) \rightarrow 2Gd_3{+}(s) + 3SO_4 \quad (7)$$

$$2\text{-}(s) + 3H_2(g) \quad (8)$$

3.2. Gadolinyum Oksitin Kristal Yapısı

Gadolinyum oksitin yaygın olan iki tane kristal yapısı vardır. Bunlar monoklinik yapı ve kübik yapıdır. Kübik yapısı magnez (III) oksitin yapısına benzer bir mineraldir ayrıca biksibit ismiyle de adlandırılır. Kübik yapının içinde iki tane gadolinyum çeşidi

vardır. Her ikisinin 6 koordinasyon numarası vardır fakat onları çevreleyen oksijen atomlarının dizilimleri farklı bir geometriye sahiptir. Oda sıcaklığında, kübik yapı en stabildir ve monoklinik yapı için faz değişimi 1200 ^{0}C'de gerçekleşir ve 1200 ile 2100 ^{0}C arasında hegzogonal faz hakimdir ve erime noktası 2420 ^{0}C'dir. Aşağıdaki şekillerde monoklinik ve kübik yapılar görülmektedir.



Şekil 1. Gd_2O_3 nanoparçacık için kristal yapı (a) Kübik yapı, (b) Monoklinik yapı (Zhang, 2008).

4. YARIİLETKENLER

4.1. Yarıiletkenlerin Optiksel Özellikleri

Yarıiletken bir malzemenin üzerine foton gönderildiğinde; atomların elektronları ile fotonların etkileşmesi sonucu soğurma, geçirgenlik, yansıma ve kırılma gibi bazı optik olaylar meydana gelmektedir. Valans bandında bulunan elektronlar iletim bandına ısıl yolla ya da optiksel yolla da uyarılabilir. v frekansına ve λ dalgaboyuna sahip olan bir fotonun enerjisi,

$$E = hv = hc/\lambda \tag{9}$$

eşitliği ile verilir. Burada h, Planck sabitini; c, ışık hızını ifade etmektedir.

Çeşitli dalgaboylarında ışın içeren bir demet, yarı saydam ortamdan geçirilirse, içinden bazı dalgaboylarının kaybolduğu görülür. Buna ışının "soğurulması" denir. Soğurma, malzeme üzerine düşürülen elektromanyetik dalgalarla malzemenin içerisindeki elektriksel yüklerin etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan enerji kaybı olarak tanımlanmaktadır. Soğurma olayı yarıiletkenlerde dört şekilde olur. Birincisi, valans bandında bulunan bir elektronun bir fotonu soğurarak iletim bandına geçmesi ile oluşur. Buna temel soğurma (fundamental absorbtion) denir. İkincisi, yasak enerji aralığında bulunan eksitonların (exciton) fotonlar tarafından uyarılarak iletim bandına geçmesi ile gerçekleşir. Üçüncüsü, valans bandındaki boşluklar ile iletim bandındaki serbest elektronların fotonlar tarafından uyarılarak daha yüksek enerjili durumlara yükselmesi ve dördüncüsü ise katkı atomlarının fotonlar tarafından uyarılması olayıdır. Ayrıca sıcak elektron (hot electron) yardımı ile absorbsiyon, eş elektronik tuzaklara (isoelectronic trap) bağlı absorbsiyon, akseptör–donör arası geçişler, bant içi (intraband) geçişler ve örgü absorbsiyonu da söz konusudur. Bu absorbsiyon olaylarından bazıları bir yarıiletken materyalde aynı anda birlikte gerçekleşebilir.

I_0 Şiddeti ile x kalınlığında bir materyale gelen ışın ile materyali geçen ışın şiddeti I arasında,

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \tag{10}$$

bağıntısı vardır. Burada I_0=materyale gelen elektromanyetik dalganın şiddetini; $I = x$ kalınlığında materyalden geçen elektromanyetik dalganın şiddetini; α = lineer absorbsiyon katsayısını göstermektedir. Elektromanyetik dalganın dalgaboyuna ve materyale bağlı olan lineer absorbsiyon katsayısı α, büyüdükçe materyali geçen ışın şiddeti de o derece azalacaktır (Tang, 1998).

4.1.1. Temel absorbsiyon olayı

Yarıiletken bir malzemenin üzerine ışık düşürüldüğünde gelen ışığın enerjisine ve yarıiletkenin yasak enerji aralığına bağlı olarak foton soğurulabilir veya soğurulmadan geçebilir. Eğer gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından küçükse $\left(h\upsilon < E_g\right)$ bu durumda foton soğurulmaz ve foton enerjisini yarıiletken atomlarına aktarır böylece yarıiletkenin ısınmasına neden olarak yok olur. Eğer gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin yasak enerji aralığından büyükse $\left(h\upsilon > E_g\right)$ bu durumda foton bir valans elektronu ile etkileşir ve valans bandındaki elektron gelen fotonun enerjisini alarak iletim bandına geçiş yapar. Bu etkileşme sonucunda iletim bandında bir elektron valans bandında bir boşluk, yani bir elektron-boşluk çifti meydana gelir. Bu da fazladan taşıyıcıların oluşumuna neden olmaktadır. Bantlar arası geçişlerin $h\upsilon > E_g$ durumunda gerçekleşmesi, soğurmanın bir eşik davranışı gösterdiği anlamına gelmektedir. Yarıiletken materyaller bu eşik değerden küçük dalgaboylarında kuvvetli bir soğurucu, büyük dalgaboylarında hemen hemen geçirgen özellik gösterir. Bu iki bölgeyi ayıran sınır temel absorbsiyon sınırı olarak adlandırılır.

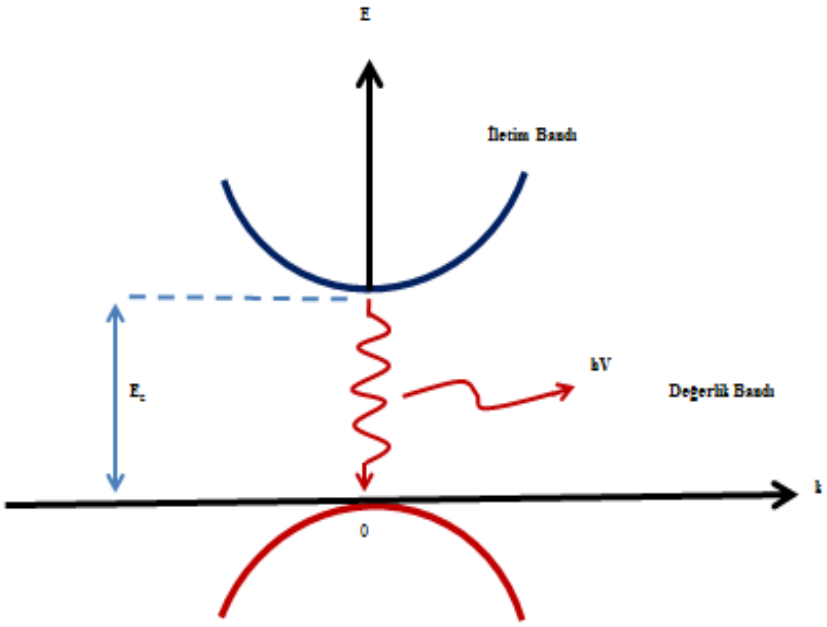
Yarıiletken materyallerde temel absorbsiyon sınırında direkt (doğrudan) ve indirekt (dolaylı) geçiş olmak üzere iki geçiş meydana gelir. İki durumda da geçişte kullanılan yollar farklı olmakla birlikte elektronlar valans bandından iletim bandına geçerler.

4.1.2. Direkt bant geçişi

Bir yarıiletken, birinci Brillouin bölgesinde bulunan elektronunun enerjisinin $\left(E\right)$, dalga vektörü $\left(\vec{k}\right)$ ile değişimi ile tanımlanır. Yarıiletkenlerde, iletim bandı kenarının minimumu ile valans bandının maksimumu birinci Brillouin bölgesinin

merkezindeki enerji-momentum uzayında oluşuyorsa, böyle yarıiletkenlere “direkt bant aralıklı yarıiletkenler” denir.

Şekil 2’de direkt bant yapılı yarıiletkenlerin optik soğurma diyagramı gösterilmiştir. Bir valans elektronunun, enerjisi yasak enerji aralığının değerine eşit veya daha büyük olan bir fotonu $\left(h\upsilon \geq E_g\right)$ soğurması durumunda iletim bandına geçtiği direkt bant yapılı yarıiletkenlerde, soğurulan fotonun dalga vektörünün küçük olmasından dolayı elektronlar dalga vektörlerini değiştirmezler ve momentum korunur. ZnS, GaAs, CdS, CdSe ve InSb gibi yarıiletken malzemeler direkt bant yapısına sahiptirler (Nag, 1980).



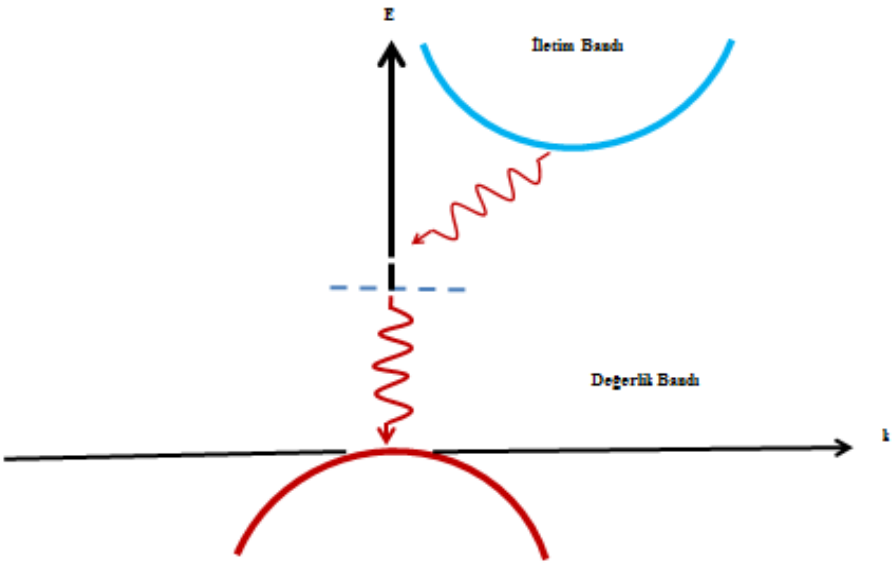
Şekil 2. Bir yarıiletkende direkt bant geçişi (Nag, 1980).

4.1.3. İndirekt bant geçişi

Bu tip yarıiletkenlerde iletim bandı minimumu direkt bant aralıklı yarıiletkenlerde olduğu gibi valans bandı maksimumu ile aynı k değerinde değildir. Şekil 3’de indirekt bant yapılı yarıiletkenlerin optik soğurma diyagramı gösterilmiştir. Elektronun valans bandının maksimumundan, iletim bandının minimumuna geçiş yapması için enerjisi ile birlikte momentumunu da değiştirmesi gerekmektedir. Momentumunun küçük olmasından dolaylı bant geçişlerinde fotona bir de fonon eşlik

eder. Böylece foton enerji sağlarken, fonon da momentum korunumunu sağlar. Si, Ge gibi yarıiletken malzemeler indirekt bant yapısına sahiptirler (Pankove, 1971; Adachi, 1999; Nag, 1980).

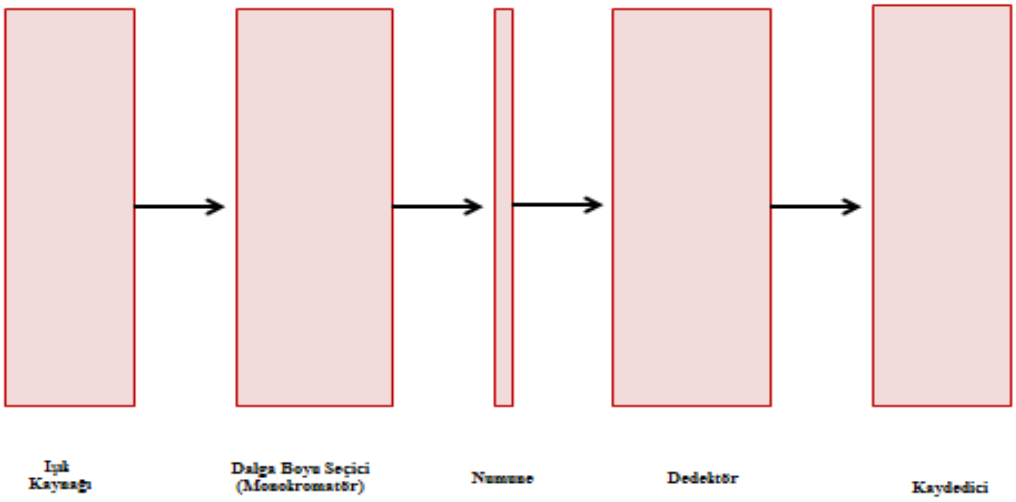
Yarıiletkenin direkt veya indirekt bant aralığına sahip olması, yarıiletkenin optik özellikleri üzerinde etkilidir. Bu optik özellikler de yarıiletkenin optoelektronik uygulamalar için kullanılıp kullanılmayacağının bir ölçüsüdür.



Şekil 3. Bir yarıiletkende indirekt bant geçişi (Nag, 1980).

4.1.4. Yasak enerji aralığının belirlenmesi

Bir UV-vis (mor ötesi ve görünür bölge) spektrometresi ışık kaynağı, bir monokromatör (dalgaboyu seçicisi) ve dedektörden oluşur (Şekil 4). Dedektörde elektrik sinyaline dönüşen optik sinyal bir kaydedici ya da galvanometre ile ölçülür.



Şekil 4. Bir UV-vis spektrometresinin temel bileşenleri.

Bu cihazlarda ışık kaynağı olarak tungsten lambalar, xenon ark lambaları, döteryum ve hidrojen lambaları kullanılır. Soğurulmanın ölçülmesi sırasında, ışık kaynağından gelen polikromatik ışıktan tek bir dalgaboyunda ışık seçilerek örneğe gönderilir. Polikromatik ışıktan monokromatik ışık elde edilmesini sağlayan düzenek monokromatör (dalgaboyu seçicileri) adını alır. Monokromatör olarak prizma ya da optik ağ adını alan parçalar kullanılır.

Daha sonra tek dalgaboyuna ayrıştırılmış olan ışık numune üzerine düşer. Burada eğer fotonun enerjisi, enerji bant aralığından daha büyük ise fotonlar soğurulur, enerji bant aralığından daha küçük ise fotonlar soğurulmadan direk geçer (Şener, 2006).

Maddeden geçen ışığın ne kadar soğurulduğunu anlamak için geçen demet şiddetini ölçmek üzere düzeneğe dedektör yerleştirilir. Mor ötesi ve görünür bölgede kullanılan üç türlü dedektör vardır. Bunlar, fotovoltaik dedektörler, fototüpler ve foto çoğaltıcı tüplerdir.

UV-vis spektrumlarından yararlanarak nanoparçacıkların yasak enerji bant aralığı, izinli direk, izinsiz direk, izinli dolaylı ve izinsiz dolaylı bant geçiş durumlarına göre incelenmiştir. Bunun için öncelikle büyütülen nanoparçacıklardan geçen ışık

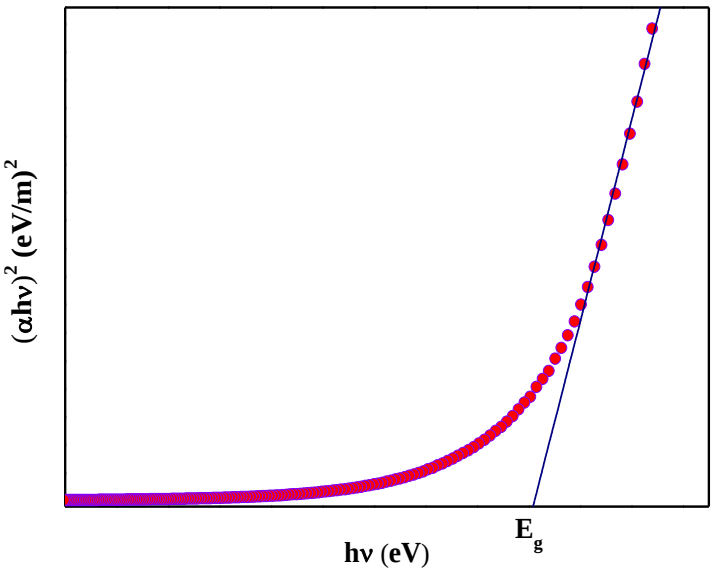
şiddetleri ve denklem (11), denklem (12) şekline dönüştürülerek kullanılmış ve farklı dalgaboylarındaki soğurum katsayıları hesaplanmıştır.

$$I = I_0 \, e^{-\alpha t} \tag{11}$$

$$\alpha = \frac{1}{t} \ln \frac{100}{T} \tag{12}$$

Yukarıdaki denklemlerde, I_0 = gelen şiddet, I = geçen şiddet, t = büyütmenin kalınlığı, T = geçirim yüzdesi olarak bilinmektedir. Daha sonra $(\alpha h\upsilon)^2 - h\upsilon$ grafikleri çizilerek, nanoparçacıkların direk ya da dolaylı bant geçişlerinden hangisine uyduğu saptanmıştır. Ayrıca, büyütülen nanoparçacıklar için çizilen $(\alpha h\upsilon)^2 - h\upsilon$ grafiğinden faydalanarak enerji bant aralığı tespit edilmiştir.

Yarıiletkenlerin en önemli karakteristiklerinden birisi bilindiği gibi yasak enerji bant aralığı, başka bir deyişle, $k = 0$ da valans bandı maksimumu ile iletim bandı minimumu arasındaki enerji aralığıdır. Yarıiletkenlerin bant aralıklarını belirlemek için en çok kullanılan metot ise optik soğurma yöntemidir (Pankove, 1971). Optik soğurma yöntemi, yarıiletkenlerin yasak enerji bant aralıklarının belirlenmesinin yanısıra bant yapılarının belirlenmesinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğurma yöntemiyle materyalin yasak enerji bant aralığını belirlemek için $(\alpha hv)^{1/n} - hv$ değişimi grafiği çizilir (Şekil 5). Değişimin lineer olduğu kısmına karşı gelen doğrunun $h\upsilon$ eksenini $(\alpha hv)^{1/n} = 0$ da kestiği noktanın enerji değeri o materyalin yasak enerji bant aralığını verir (Tauc, 1970). Burada, n = 2, 3 ise materyal direkt bant aralığına ya da n = 1/2, 3/2 ise indirekt bant aralığına sahip olacaktır.



Şekil 5. Bir yarıiletkende soğurma katsayısının fotonun enerjisine göre değişiminden, yasak enerji aralığının belirlenmesi.

4.2. Yarıiletkenlerin Yapısal Özellikleri

4.2.1. X-Işınımı kırınımı (XRD)

X-ışınları dalgaboyları 0,1 Å-100 Å arasında olan yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. 1895'te Alman Fizikçi Röntgen tarafından vakumda, metal hedeflerin elektronlarla bombardıman edilmesi sonucu keşfedilmiştir. Bu tarihte sahip olduğu özellikler bilinmediğinden bu elektromanyetik dalgalar "X-ışınları" olarak adlandırılmıştır. Bir kristal yapıya gönderilen elektromanyetik dalganın kristalle etkileşebilmesi için bu dalganın dalgaboyunun kristal yapının atomları arasındaki mesafe mertebesinde olması gerekir. Dalgaboylarının çok küçük ve enerjilerinin çok büyük olması sebebiyle her türlü maddenin atom ve moleküllerinin arasına girebilirler.

Her bir kristal için fazın kendine özgü atomik dizilimleri vardır ve X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırar. Bu kırılan ışınlar tıpkı parmak izi gibi her kristalin kendisine özgüdür. Bir malzemenin atomik yapısını görüntülemek, yüksek çözünürlüğe sahip çeşitli elektron mikroskopları kullanılarak mümkündür. Fakat bilinmeyen yapıları belirlemek veya yapısal parametreleri tayin etmek için kırınım

tekniklerini kullanmak gerekir. X-ışını kırınım desenleri ile kristal yapı ve yapı içerisindeki atomların dizilişlerini ilk olarak Max van Laue incelemiştir. Katıların kristal yapılarını incelemek için en çok kullanılan kırınım tekniği X-ışını kırınımıdır. Bu tekniğin nanoparçacık analizi için uygun olması, temelde iki nedenden dolayıdır; 1. X-ışınlarının dalgaboyları, yoğunlaştırılırmış maddedeki atomik mesafeler ölçüsündedir ve bu özellik, yapısal araştırmalarda kullanılmalarını sağlar. 2. X-ışını saçılım teknikleri, yıkıcı değildir ve incelenen numuneyi değiştirmez.

X-ışınları kristal yapı üzerine düşürüldüğünde, ışınlar katı yüzeyinden küçük geliş açılarıyla tam yansımaya uğrarlar ve ışınlar kristaldeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılırlar. Kristal yapıdaki bu saçılımlar kırınım olarak adlandırılır ve kırınım çok sayıda atomu içeren saçılmalardan meydana gelir. X-ışınlarının kristal yapıda kırınımı Bragg Kanunu ile açıklanır (Arslan, 2010).

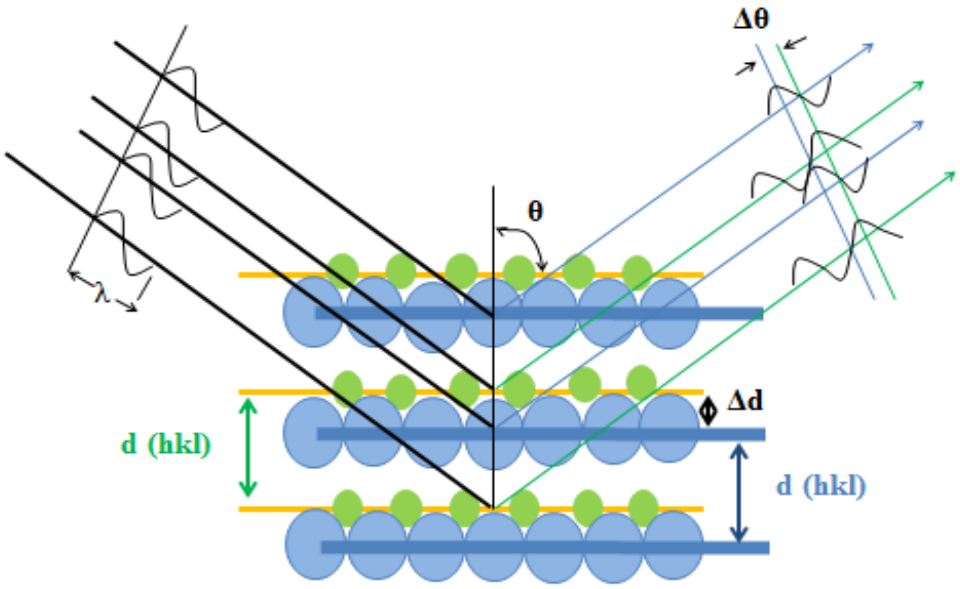
4.2.1.1. Bragg yasası

Kırınım teorisi, Bragg kanunu ile gelişmiştir. Kristal yapıdaki her atom dizisi X-ışınlarını Bragg kanununa uygun olacak açılarda yansıtır. Yansıma açıları kristal örgünün çapına bağlıyken, yansıma yoğunlukları örneğin şekliyle kontrol edilmektedir (Evli, 2008).

Bragg yasası en basit hali ile;

$$2d\sin\theta = n\lambda \tag{13}$$

Formülü ile açıklanır. Burada; d= kristal düzlemleri arasındaki mesafe; n= yansıma mertebesi (n=1,2,3,… değerleri alabilir), λ= gelen ışığın dalgaboyu , θ= kristal düzlemleri üzerine düşen ışınların düzlemlerle yaptıkları açıdır.



Şekil 6. Bragg kanunu.

Şekil 6'da bragg kanunu şematik olarak gösterilmektedir. Bragg yasasına göre; gelen ışınlar arası yol farkı ancak gelen ışının bazı açılarında dalgaboyunun tam katları olur. Bu açı Bragg açısı'dır. Bragg yasasından iki şekilde faydalanılır; birincisi dalgaboyunu bildiğimiz X-ışını gönderilerek Bragg açısı ölçülür ve paralel düzlemler arası mesafe 'd' bulunabilir. İkinci olarak da Bragg yansımalarının şiddeti ölçülerek 'X-ışınları kristal yapı analizi' dediğimiz kristal yapı analizi gerçekleştirilebilir.

4.2.1.2. XRD kırınım teknikleri

Bir X-ışını difaktometresi temel olarak monokromatik X-ışını üretebilen bir kaynak, gonyometre ve dedektör olmak üzere üç parçadan meydana gelmektedir. Gonyometre yardımıyla istenen değer aralığında numune yüzeyine gönderilen ışınlar yansıdıktan sonra dedektör aracılığıyla sayılır ve bilgisayara gönderilir. Sayım miktarına karşılık 2θ grafiği çizildiğinde belirli açılara karşılık pikler elde edilir. Her bir pik açısından Bragg eşitliği kullanılarak atomik düzlemler arası (d) mesafesi ve örgü sabitleri bulunabilir.

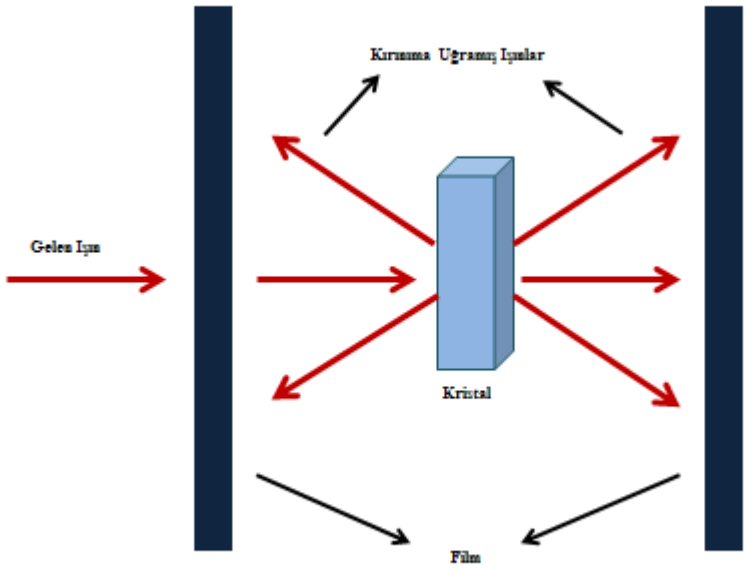
Temelde çalışma prensibi örneğe gönderilen X-ışınlarının kırılma ve dağılma verilerinin toplanarak yorumlanması sistemine dayanır. Kristale gönderilen X-ışınları, elektronlar tarafından soğurulur ve elektronlar salınım yapmaya başlar. Kırınım olabilmesi için λ ve θ'nın birbiriyle uyumlu olması gerekmektedir. Üç boyutlu kristale

rasgele gelen bir X-ışını genellikle yansıtılmaz ve bir kırınım deseni oluşmaz. Kırınım deseni oluşturabilmek için λ ya da θ'nın değiştirilerek taranması gerekmektedir.

Bu değiştirmelere göre üç temel kırınım yöntemi vardır. Bunlar; θ'nın sabit λ'nın değişken olduğu Laue Yöntemi, θ'nın değişken λ'nın sabit olduğu Döner Kristal Yöntemi ve θ'nın değişken, λ'nın sabit olduğu Toz Kırınımı Yöntemi'dir.

4.2.1.2.1. Laue yöntemi

Laue yönteminde bir beyaz radyasyon demeti yeni bir X-ışını tüpünden elde edilen sürekli spektrum sabit bir monokristal üzerine düşürülür. Bu yöntemde Bragg açısı sabit tutulurken, dalga boyu değişkendir. Kristal düzlemlerin her bir seti için bazı dalgaboylarında Bragg yasası sağlanır ve kırınıma uğrayan demet fotografik film üzerinde noktalar deseni oluşturur. Bu nokta deseninin simetrisi, gelen demet doğrultusunda bakıldığında kristal simetrisini gösterir.



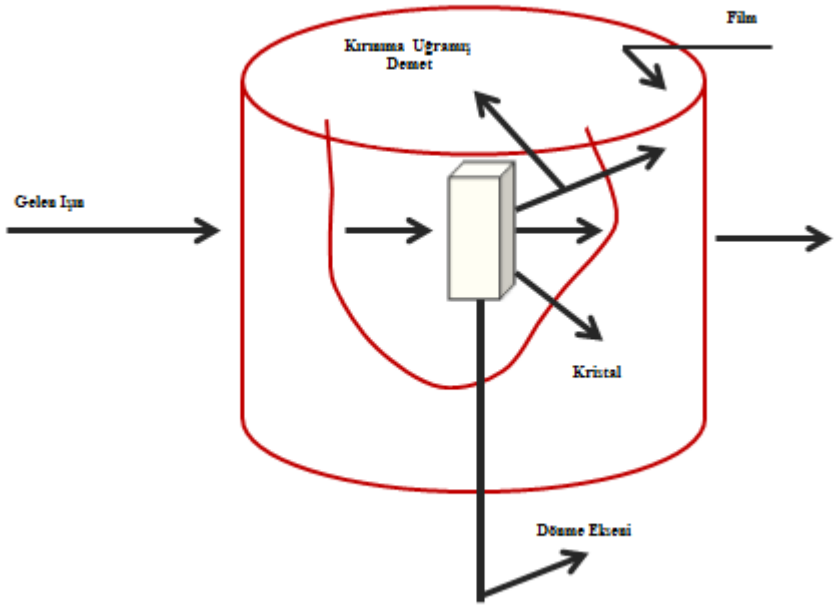
Şekil 7. Laue yöntemi şematik gösterimi.

4.2.1.2.2. Döner kristal yöntemi

Bu yöntemle kristalin örgü sabiti (hkl) düzleminden yansımada kullanılan radyasyonun dalgaboyu, Bragg açısı ve düzlemler arası uzaklık (d_{hkl}) bilinmesi ile belirlenebilir.

Şekil 8'de gösterilen bu yöntem de, kristal, tek renkli X-ışını yolu üzerine, sabit bir eksen etrafında kolayca dönebilecek şekilde yerleştirilir. Ekseni dönme ekseni ile aynı olan silindir iç yüzeyine fotoğraf filmi yerleştirilir. Gelen ışın süzgeçten geçirilerek veya bir kristalden yansıtılarak tek renkli (tek dalgaboylu) hale getirilir. Yine, kristalin belirli düzlemlerinden birinin dönme eksenine paralel hale getirilmesine dikkat edilir.

Kristal ekseni etrafında döndürüldükçe, değişik düzlemler Bragg yansıması için uygun konumlara gelirler. Gelen demetteki ışınların dalga boyu sabit olduğundan, ışığın düştüğü paralel düzlem takımı için gelme açısı θ ve düzlemler arası d uzaklığı Bragg yasasını sağladığı zaman kırınım meydana gelir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, kristal yapıya ait eksenlerden birinin bilinmesi gerekmektedir.



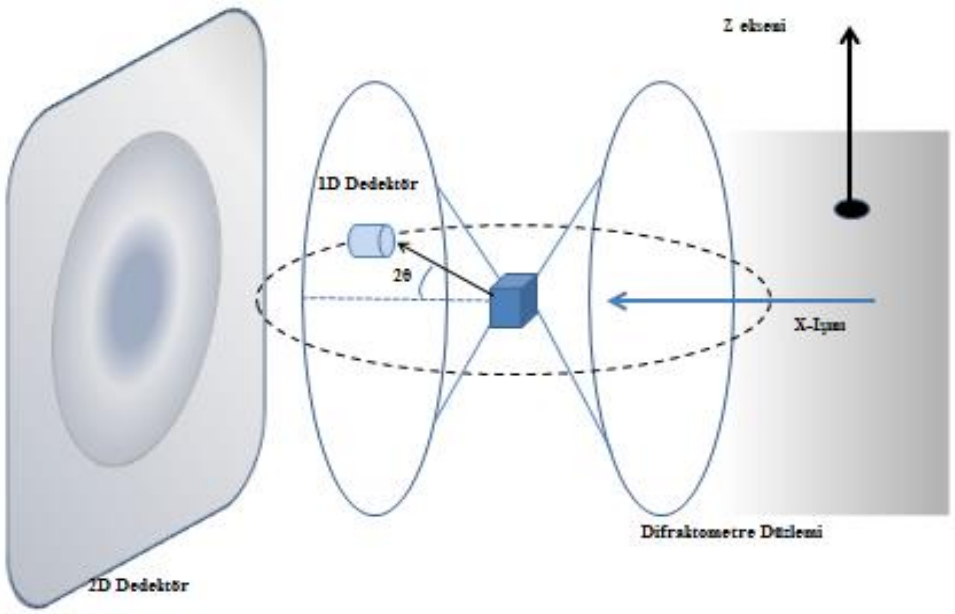
Şekil 8. Döner kristal yöntemi.

4.2.1.2.3. Toz kırınım yöntemi

Bu yöntemde, toz haline getirilmiş örnek kullanılır. Toz örnek, merkezinden geçen bir eksen etrafında kolayca dönebilen silindirik bir cam tüpün içine konulur. Tek renkli ışın, bu tüpün dönme eksenine dik olarak gelecek şekilde, yeteri kadar ince bir demet şeklinde olmalıdır. Kırınımın kaydedileceği film ise, tüpün dönme ekseni ile aynı eksenli silindirin iç yüzeyine yerleştirilmelidir.

Çok sayıda küçük kristal taneleri tüpte rastgele yöneldiğinden, her zaman Bragg yasasını sağlayacak şekilde yönelmiş yeterli sayıda kristal tanesi bulunur. Bundan dolayı kırınıma uğramış ışın saçılır. λ ve θ' nın her ikisi birden ölçülebildiğinden, düzlemler arası d uzaklığı hesaplanır. Tüpün içindeki örnek, tüple beraber döndürülürse, her yeni durum için, başka kristal taneleri kırınım konumuna geçer. Böylece, aynı dalgaboylu ışın için, farklı her düzlem uzaklığına karşı gelen bir kırınım oluşur. Kristal yapının türü önceden bilinirse, örgü sabiti büyük bir duyarlılıkla tayin edilir (Durlu, 1992)

Aşağıda şekil 9'da toz kırınım yöntemi görülmektedir. Bu yöntemde de döner kristal yönteminde olduğu gibi dalgaboyu sabit tutulurken, Bragg açısı değişkendir. Toz difraksiyonu yöntemi polikristal yapıları belirlemek için kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 9. Toz Kırınım Yöntemi.

4.3. Yarıiletkenlerin Morfolojik Özellikleri

4.3.1. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

Elde edilen numunelerin yüzey görüntülerinin incelenmesi için çeşitli mikroskoplardan faydalanılmaktadır. Bu mikroskoplardan biri de Taramalı Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunneling Microscope, STM)'dur. Yüzey görüntüsü STM'de uç

ile örnek arasında meydana gelen tünelleme akımından elde edilir. Bir diğer mikroskop ise; Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron microscope, SEM)'dur. Bu yöntemde ise elektron demeti örnek üzerine odaklanarak görüntü alınır.

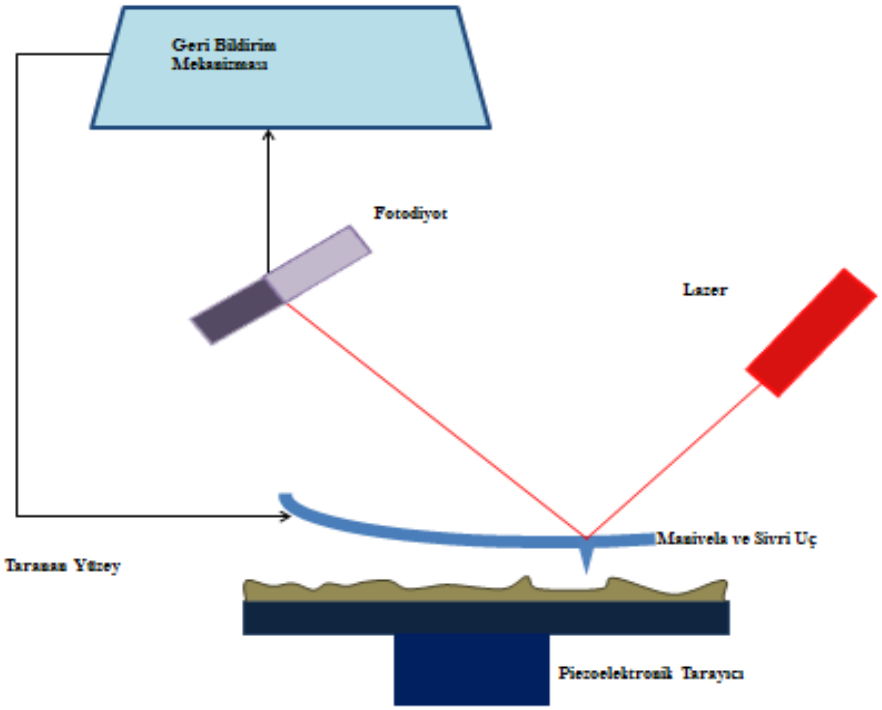
Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscopy, AFM) ise, STM ve SEM gibi yüzey görüntüsünü incelemekte kullanılan bir diğer mikroskop çeşididir. AFM temel olarak, örneğin yüzeyinin üç boyutlu olarak bir iğne ile taranması prensibine dayanır. İğne ile örnek yüzeyi arasındaki etkileşimler angstrom seviyesinden yüz mikrona kadar ölçülebilir. Bu mikroskop havada, vakumda ve sıvı içerisinde çalışabilmektedir. Bununla birlikte, örneğin özelliğine göre fiziksel, manyetik ve kimyasal özellikler incelenebilmektedir.

AFM diğer mikroskoplara göre pek çok avantaja sahiptir. İki boyutlu ve üç boyutlu görüntü alabilmesi, numunenin iletken olma zorunluluğu ya da örneğin üzerinin bir iletkenle kaplanma zorunluluğu olmaması, vakum ortamı gerektirmemesi, hem sıvı hem de biyolojik numunelere bakılabilir olması, numune hazırlama kolaylığı ve daha ucuz olması AFM'nin avantajları arasında sayılabilir.

Atomik boyutlara kadar sivriltilmiş bir iğne ucu yardımıyla tarama yapan AFM cihazı, yüzeyin yüksek çözünürlükte iki boyutlu ve üç boyutlu görüntülenmesini sağlar. Görüntüleme, iğne ucunun yüzey ile etkileşiminin incelenmesi sonucunda gerçekleşir. Elde edilen görüntü üç farklı mod kullanılarak alınır. Bu modlar temaslı, temassız ve titreşim modlarıdır (Çubukçu, 2005). Temaslı modda iğne ile örnek birbirine temas ederek ölçüm alınmaktadır. Temassız modda ise iğne ile örnek arasında Van Der Waals kuvvetleri ve bu kuvvetlerin değişimleri izlenerek ölçüm alınmaktadır. Üçüncü mod olan titreşim modunda ise iğne örnek üzerinde titreşim hareketi yaparken aralarındaki kuvvetler ölçülerek işlem yapılmaktadır.

AFM'de kullanılan iğnenin kalitesi son derece önemlidir. Kalite ve çözünürlük iğnenin tarama kalitesiyle ilişkilidir. Ayrıca iğnenin boyu ve yarıçapı da alınacak görüntü üzerinde etkilidir. AFM'nin ilk kullanım yıllarında uç olarak alüminyumdan yapılmış elmas parçalarıyla yapılmaktaydı (Çapan, 2003). Günümüzde ise bu iğnelerin yerine Silisyum Nitrat (Si_3N_4) ve silisyum (Si) tabanlı malzemelerden elde edilen iğneler almıştır.

Şekil 10'da AFM'nin çalışma mekanizması görülmektedir. Mikroskobun kantilever denilen denge çubuğuna tutturulan iğne ile örnek arasında 10^{-11}-10^{-6} N aralığında itme ve çekme kuvveti ölçülür ve bu kuvvetlerden faydalanılarak örneğin yüzey görüntüsü bilgisayar ortamına aktarılır. Kuvvetlerin sabit olarak tutulması sırasında iğne ile yüzey arasındaki mesafelerin değişmesi durumunda kuvveti sabit kılmak için iğnenin aşağı yukarı hareketi örneğin yüzeyi hakkında görüntü elde edilmesini sağlamaktadır. Piezoelektrik tarayıcı ile de örnek ve iğnenin hareketi incelenebilmektedir. Daha sonra lazerden gelen ışın, konsolda meydana gelen fark sinyallerinin ölçülmesi için fotodedektöre gönderilir. Konsolun x, y, z doğrultusundaki hareketinin fark sinyalleri tarafından bilgisayar ekranında hem iki boyutlu üç boyutlu görüntü elde edilir.



Şekil 10. AFM cihazının çalışma prensibi.

Atomik Kuvvet Mikroskobu yardımıyla incelenen numunenin görüntüsü, sertliği, moloküler boyuttaki parçacıklar arası ilişki gibi birçok özelliği hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Edinebileceğimiz diğer özellik ise yüzey morfolojisidir. Yüzey morfolojisi ile incelenen numuneyi oluşturan parçacıkların birbiriyle ilişkileri, şekilleri, büyüklükleri, yüzey etkileşimleri, elektriksel yük, manyetiklik, aşınma ve korezyon gibi birçok özellik hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür. AFM ile numuneyi oluşturan

molekül ve elementlerin bileşimi, relatif miktarları, erime noktaları gibi özelliklerine de bakılabilir.

Gelişen teknolojiye ayak uyduran AFM'ler, akademik çalışmaların yanında birçok farklı alanda da kullanılmaktadır. Elektronik, telekomünikasyon, fizik, biyoloji, kimya, otomotiv, enerji endüstrileri, uzay ve havacılık ve benzeri alanlar AFM'nin kullanıldığı alanlara örnek olarak verilebilir.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

5.1. Kolloidal Yöntem

Su içinde şeker ya da tuz gibi maddeler çözülerek hazırlanan gerçek bir çözelti içinde çözünen partiküller iyon ya da molekül halindedir. Diğer taraftan süspansiyon adı verilen sıvı katı karışımdaki partiküller gözle ya da en azından ışıklı mikroskopla görülebilir boyuttadır.

İki uç olarak kabul edilen çözelti ve süspansiyonlar arasında kalan kolloidler bir maddenin ufak taneciklerinin; genel olarak 500 nm'den küçük taneciklerinin diğeri içinde dağılmasına verilen addır.

5.1.1. Kolloidlerin sınıflandırılması

İskoçyalı kimyacı Thomas Graham 1861 yılında Yunanca tutkal gibi anlamında olan 'kollaoides' sözcüğünden esinlenerek kolloid ismini bulmuştur. Kollid partiküllerine dağılan faz, bu partiküllerin dağıldıkları ortama ise dağıtıcı faz denir. Dağılan ve dağıtıcı fazın her ikisi de katı, sıvı ve gaz halinde olabilmektedir. Bu dağılan ve dağıtıcı fazların türüne göre sekiz kolloidal sistem ortaya çıkmaktadır. Bu sekiz kolloid tipi çizelge 2 de gösterilmiştir. Bununla beraber gazlar daima tam olarak karıştıklarından gaz içinde gaz kolloidal sistemi olanaksızdır.

5.1.1.1 Kolloid sistem tipleri

- Aerosoller: Sıvının veya bir katının gaz içinde dağılmasıdır. Sıvının gaz içinde dağılmasına örnek bir spreydir. Katının gaz içinde dağılması ile oluşan hava kirliliğine örnektir.
- Emülsiyon: Emülsiyon sıvının sıvı içinde dağılması ile ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak süt veya mayonezi örnek verebiliriz.
- Jeller: Jeller, sıvının katı içinde yada katının katıyla dağılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak ise sıvının katı içinde dağılması; jöledir.
- Katı köpük: Gaz fazın katı ortamda dağılması katı köpük oluşturmaktadır.
- Köpük: Köpükler sıvı ortamda gazın dağılmasıdır. Örnek olarak kremleri verebiliriz.

- Sol: Soller, katının sıvı faz içerisinde dağılması ile meydana gelip, iki gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar Liyofobik Soller ve Liyofilik Sollerdir.

1. Liyofobik soller; içinde dağıldıkları sıvı ile etkileşmeyen katı partikülleri içeren sistemlere bu ad verilir. Dağıtıcı ortam su olduğunda aynı özelikteki kolloidal sistemlere hidrofobik soller denir. Altın ve arsenik sülfür gibi suya karşı ilgisi az olan katıların dağılmasıyla hazırlanabilir. Dağıtıcı sıvıyı iten partiküller sahip sollerin kararlılıkları oldukça azdır. Bu nedenle, buharlaştırılan liyofobik sollerde ortaya çıkan katı yeniden kolaylıkla sol haline dönüştürülemez. Ayrıca, koagülasyon ve çökme olur.

2. Liyofilik soller: İçinde dağıldıkları sıvıyla çok etkileşen katı partikülleri içeren sistemlere bu ad verilir. Dağıtıcı faz su olduğunda hidrofilik sol ismi kullanılır. Makromoleküller gibi sıvı haldeki dağıtıcı faz ile güçlü etkileşimlere giren partiküllerle hazırlanan soller liyofilik nitelik taşımaktadır. Davranışları gerçek çözeltilere çok benzeyen bu sollerin kararlılıkları çok yüksek olmaktadır.

Dağıtıcı Ortam	**Dağılan Faz**	**Sistemin Adı**	**Örnekler**
Gaz	Sıvı	Aerosol	Sis, Pus, Bulutlar
Gaz	Katı	Aerosol	Duman
Sıvı	Gaz	Köpük	Kremler
Sıvı	Sıvı	Emülsiyon	Süt, Mayonez
Sıvı	Katı	Sol	Su içinde altın
Katı	Sıvı	Jel	Jöle, Peynir
Katı	Katı	Jel	Koyu kırmızı cam
Katı	Gaz	Katı Köpük	Sünger taşı

Çizelge 2. Kolloid sistem tipleri.

5.1.2. Kolloidal çözeltilerin hazırlanması

Kolloidal taneciklerin büyüklüğü, süspansiyonlar ile gerçek çözeltilerin tanecik büyüklüğü arasında olduğundan, hazırlanma yöntemleri iki başlık altında toplanabilir.

1) Daha büyük taneciklerin kolloidal büyüklüğe kadar ufalanması (Dispersiyon Yöntemleri)

2) Molekül iriliğinden kolloidal iriliğine kadar büyüme (Kondenzasyon veya Agregasyon Yöntemleri)

5.1.2.1. Dispersiyon yöntemleri

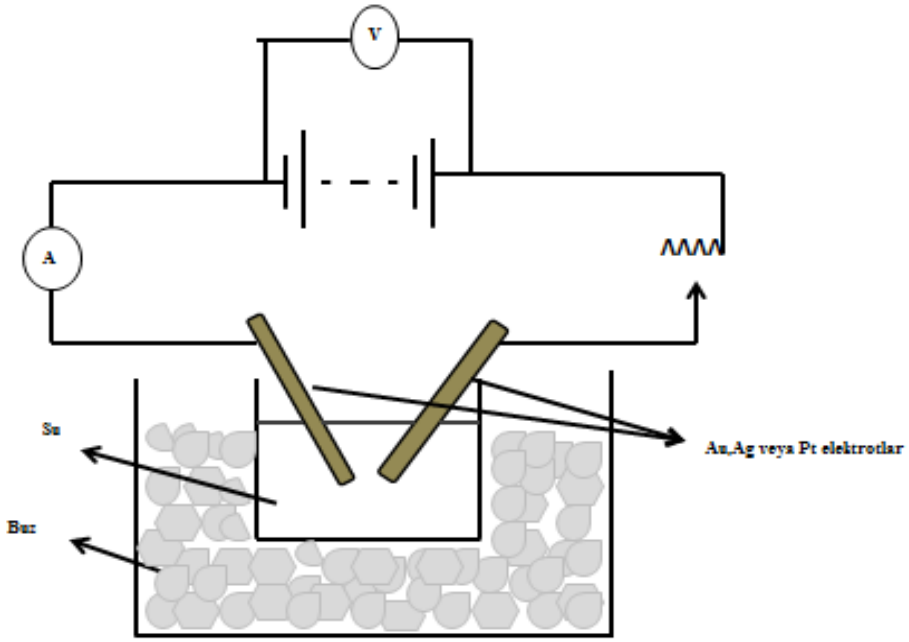
Kendiliğinden kolloidal çözelti veren maddeleri, sadece çözücüsüyle bir araya getirmekle kolloidal çözelti elde edilebilir. Graham'ın kolloid adını verdiği maddeler böyle maddelerdir. Isıtma liyofil maddelerin dispersiyonunu hızlandırır. Bir liyofil madde çözeltisinden çözücü buharlaştırılacak olursa geride kalan madde çözücü ile yeniden temasa getirildiğinde yine kolloidal bir çözelti verir. Liyofoblar da ise madde bir defa kolloidal halin dışına çıktı mı bir daha o hale dönmez. Bazı taze hazırlanmış çökeltiler az miktarda elektrolit özellikle çökelti ile ortak iyonlu bir elektrolit katılarak kolloidal hale getirilebilir. Bu olaya peptizasyon denir. Gümüş klorür, seyreltik klorür asidi çözeltileriyle; demir III hidroksit, demir III klorür çözeltisiyle; alüminyum hidroksit, az bir alkali bir hidroksit fazlalığı ile peptize olur.

5.1.3.1 Kondenzasyon veya Agregasyon (Bredig) yöntemleri

5.1.3.1.1. Bredig yöntemi

Metaller, Bredig'in bulduğu yöntemle kolloidal çözelti haline getirilebilir. Kolloidal çözeltisi yapılacak iki elektrot, dispersiyon ortamına daldırılır ve bir potansiyel farkı ile aralarından kıvılcım geçmesi sağlanır. Elektrik arkının oluşturduğu metal buharı, dispersiyon ortamında kolloidal büyüklükte tanecikler halinde yoğunlaşır. Sistemi seri tutmak gerekir. Yoksa kolloida tanecikler kümelenebilir. Solitleri kolloidal büyüklüğüne kadar kırmak için mekanik bir yöntem, kolloid değirmeni kullanmak olabilir. Bu değirmen birbirinden çok küçük bir aralıkla ayrılmış aksi yönlerde dönen iki metal levhadan oluşur. Levhalar arasındaki boşluk dispers fazın ufak tanecikleri ve

dispersiyon ortamının bir karışımı ile beslenir. Hem dispers faz hem de dispersiyon ortamı likit ise şiddetli bir karıştırma ile kolloidal dağılım elde edilebilir.



Şekil 11. Bredig yöntemi.

5.1.3.12. Kondenzasyon Yöntemleri

Bunların çoğunun hareket noktası gerçek çözeltilerdir. Böyle bir gerçek çözeltiden dispers faz olması istenen madde çöktürülür ve süspansiyon iriliğine ulaşmadan taneciklerin büyümesi durdurulur. Von Weimarn, bir maddeyi kolloidal halde elde etmek için en uygun şartların dispersiyon ortamında disper fazın çözünürlüğünün az, dispersiyon ortamının viskozitesinin yüksek olması ve kolloidal taneciklerin oluşmasından önce yüksek bir aşırı doygunluğa varılması ile sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Sıcaklığın yükselmesi viskoziteyi düşürdüğü ve çözünürlüğü arttırdığı için, liyofobların kolloidal çözeltileri genellikle soğuk çözeltilerden hazırlanır. Kolloidal çözeltilerin hazırlanmasında çok kullanılan bir teknikte ‘’Çift Bozunma’’dır. Von Weirmarn Baryum tuzu çözeltilerinden baryum sülfatın çöktürülmesini incelerken baryum tiyosiyonat ile mangan sülfatın derişik çözeltilerinden baryum sülfat jelini elde etmiştir. Bir Arsenik Trioksit (As_2O_3) çözeltisinden Hidrojen Sülfür (H_2S) geçirilerek kolayca hazırlanabilir. Sodyum silikat çözeltisi klorür asidi ile karıştırılırsa kolloidal halde silika elde edilir. Karıştırılan çözeltiler seyreltikse silika sol, derişikse silika jel oluşur. Ortamdan sodyum klorür

yıkanarak ve su fazlası buharlaştırılarak giderilirse geriye son derece kullanışlı solit silika jel kalır. Kolloidal metal çözeltileri için Bredig yönteminden çok indirgeme reaksiyonlarından yararlanırlar. Bu amaçla kullanılan indirgenler genellikle organiktir. Faraday sudaki altın sollerini altın klorür çözeltisinin tannik asitle indirgenmesinden yararlanarak hazırlamıştır. Ametal kolloidal halde, bir oksidasyon reaksiyonu ile; örneğin kolloidal kükürt, kükürt dioksit çözeltisinden geçirmekle elde edilebilir. Çözücü karıştırma denen bir yöntem daha vardır. Buna göre örneğin kalsiyum asetatın sudaki doymuş bir çözeltisi hacminin dokuz-on katı alkol içine dökülüp hızla karıştırılırsa solit alkol denen bir jel oluşur. Bunun nedeni kalsiyum astatın suda çözünüp alkolde çözünmemesidir.

5.1.3. $GdCl_3$ ve NaOH çözeltilerinin karıştırılıp hazırlanması

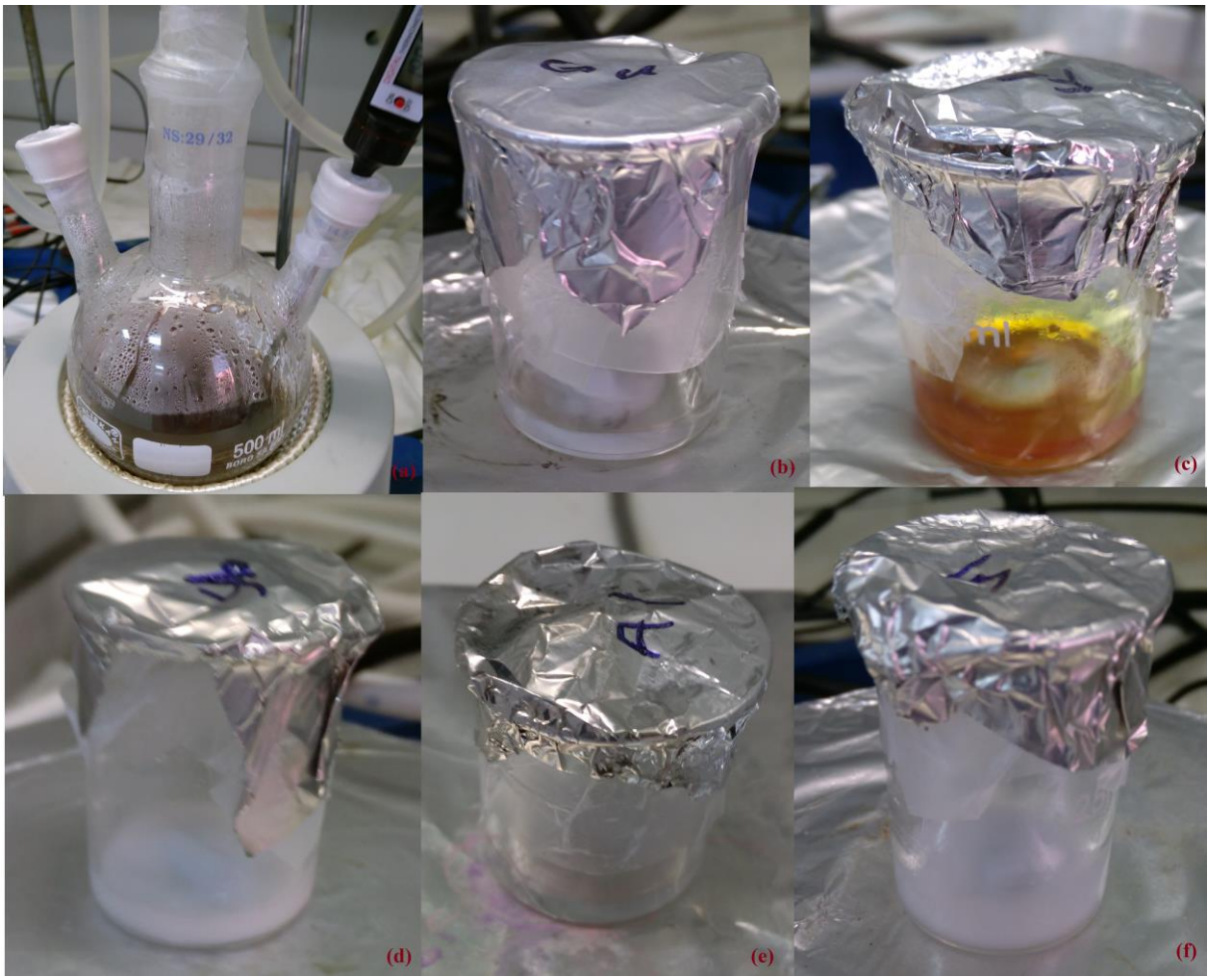
50 ml'lik bir beherde; 6 mmol $GdCl_3$, 30 ml'lik dietilen glikol (DEG) içerisine çözülmüştür. Başka bir 50 ml'lik beherde 7,5 mmol NaOH yine 30 ml'lik dietilen glikol içerisine konularak homojen çözünme gerçekleşene kadar yaklaşık 80 ^{0}C de karıştırılmıştır. Tamamen çözünme gerçekleştiğinde, çözeltiler kolloidal yöntemde kullanılmak üzere hazır hale gelmiştir.

5.1.4. Kolloidal yöntemle Gd_2O_3 nanoparçacık sentezi

Öncelikle ayrı ayrı beherlerde 6 mmol $GdNO_3$ ve 7,5 mmol NaOH, 30 ml dietilen glikol (DEG) içerisine konularak elde edilen çözeltiler geri yıkama altında manyetik karıştırıcıda yaklaşık bir saat 140 ^{0}C'de ve sonra da dört saat 180-200 °C'de karıştırılmıştır. Elde edilen koyu kahverengi çözelti ışık almayan şişelerde muhafaza edilmiştir.

5.1.5. Katkılanacak Çözeltilerin Hazırlanması

0,153 gr Ga, 0,162 gr Fe, 0,136 gr Sb, 0,144 gr Al, 0,175 gr In ayrı ayrı beherlerde 3 mL etanol içerisinde çözünene kadar manyetik karıştırıcıda karıştırılarak katkılanacak çözeltiler hazırlanmıştır. Aşağıda şekil 12'de katkılamanmaya hazır çözeltiler görülmektedir.



Şekil 12. Katkılama için hazırlanmış çözeltiler (a; saf Gd_2O_3 nanoparçacık, b; Ga çözeltisi, c; Fe çözeltisi, d; Sb çözeltisi, e; Al çözeltisi, f; In çözeltisi).

5.2.6.1. Gd_2O_3 nanoparçacıkların büyütülmesi

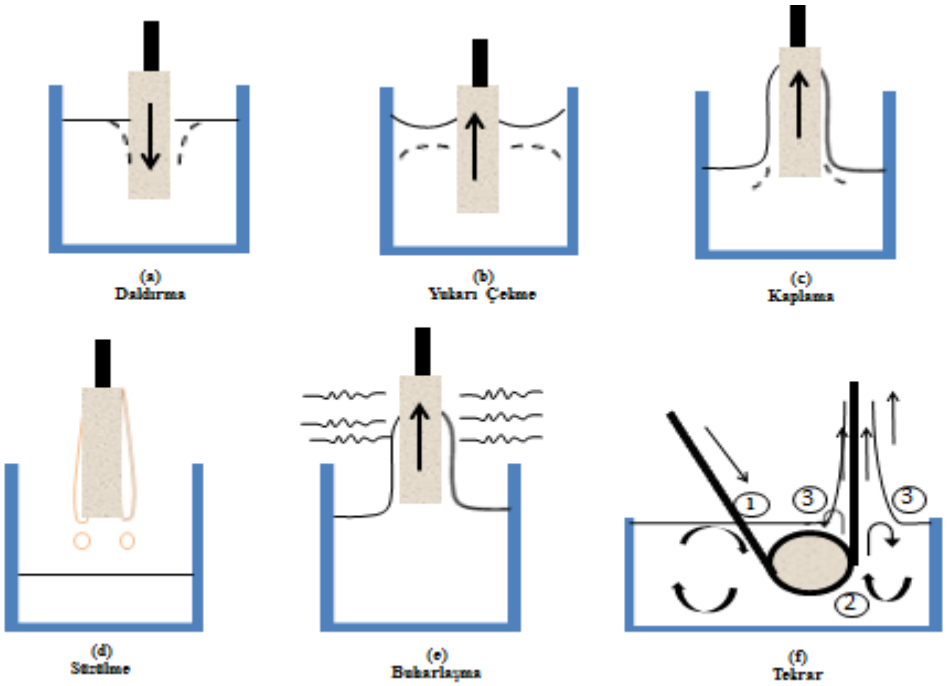
5.2.6.1.1. Daldırma ile kaplama yöntemi (Dip Coating)

Bu metot genelde saydam tabakalar üretmek için kullanılır. Daldırarak kaplama metodu, hazırlanan çözelti içine kullanılan altlık malzemesinin belirli bir hızla daldırılıp ve yine aynı hızla geri çekilmesi esasına dayanır. Şekil 13'de daldırma ile kaplama metodu için kullandığımız düzenek görülmektedir.



Şekil 13. Büyütmelerde kullanılan daldırarak kaplama düzeneği.

Daldırma ile kaplama metodu beş aşamada gerçekleşir. Bu beş aşama Şekil 14'de gösterilmektedir. Bu işlemler; daldırma (a), yukarı çekme (b), kaplama (c), süzülme (d), buharlaştırma (e), tekrarlama (f) aşamalarıdır. Bu işlem sonucunda film oluşturulur.



Şekil 14. Daldırma ile kaplama yönteminin şematik gösterimi.

Alkol gibi çözücülerde yapılan kaplamalarda süzülme safhasına gerek yoktur. Taşıyıcı sole daldırılıp çıkarıldığında kaplama alanı üzerinde sol ihtiva eden bir sınır tabaka oluşur. Kaplama ve süzülme aşamasında sözü edilen sınır tabaka, iç tabaka ve dış tabaka olmak üzere ikiye ayrılır. İç tabaka taşıyıcı ile birlikte hareket ederken dış tabaka ters yönde hareket ederek sole geri döner. Film kalınlığı aşağı ve yukarı doğru hareket eden tabakaları ayıran ana akıntının şiddetine (streamline çizgisi) bağlıdır. Film kalınlığını ve ana akıntının şiddetini, film kaplama bölgesindeki 6 kuvvet kontrol eder.

Bunlar;

1)Viskozite nedeniyle hareketli taşıyıcının yukarıya doğru çekme kuvveti

2)Yerçekimi kuvveti

3)Sıvının konkav meniskus eğrisinde yüzey gerilimi bileşke kuvveti

4)Kaplama bölgesine gelen sıvının sınır tabakasının eylemsizlik kuvveti

5)Yüzey gerilim gradyantı

6)Ayırma ve birleştirme basıncı (1 μm'den küçük kalınlıktaki filmler için önemli)

Eğer sıvının viskozitesi (η) ve taşıyıcı hızı (U) yeteri kadar büyük ise kaplanan filmin kalınlığı (h), viskoz sürüklenme ve yerçekimi kuvvetlerini dengeler. Bu durumda kalınlık;

$$h = c_1 \left(\frac{\eta U}{\rho g} \right)^{1/2} \tag{14}$$

olur. Burada ρ =sıvının yoğunluğu ve g =yerçekim ivmesidir. Ayrıca denklem (14)'deki c_1 =orantı katsayısıdır ve Newtoniyan sıvıları için 0,8 değerine eşittir. Taşıyıcının hızı ve sıvının viskozitesi yeteri kadar büyük değil ise, Landau ve Levich (1942) tarafından hesaplanan bağıntı kullanılır. Bu bağıntıda dengeleme viskoz sürüklenme ile sıvı buhar yüzey gerilimi oranı (γ_{LV}), denkleme ilave edilerek elde edilir.

$$h = 0.94 \frac{(\eta U)^{2/3}}{(\gamma_{LV})^{1/6} (\rho g)^{1/2}} \tag{15}$$

Kalınlığı hesaplamaya yarayan bu denklemelerin uygulanabilirliği konusunda yapılan çeşitli deneyler, uygulanabilirliğinin zayıf olduğunu göstermektedir. Kalınlık hesaplama konusunda, deney ile teori arasındaki farkların başlıca sebepleri şöyle sıralanabilir;

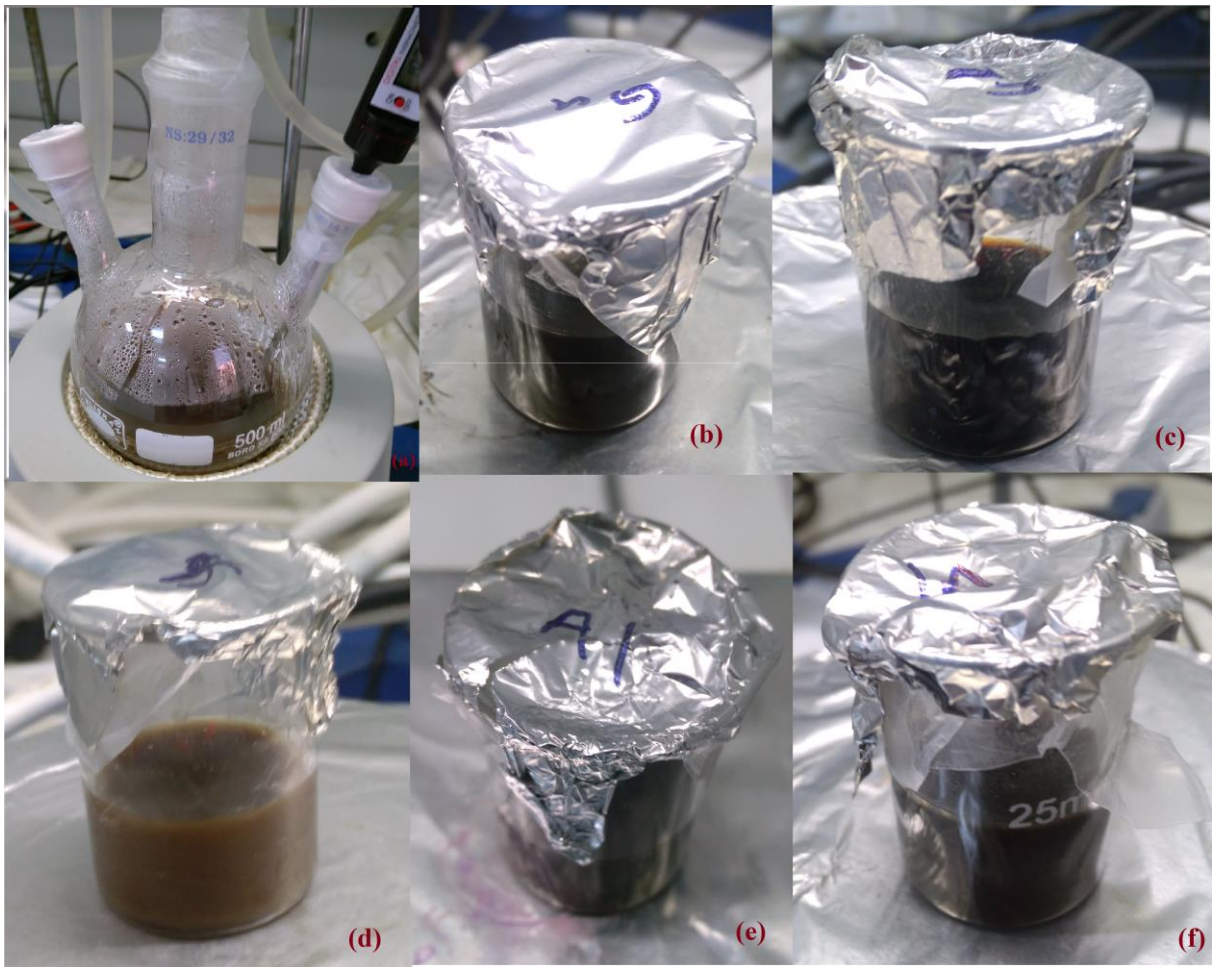
- pH etkisi,
- viskozitenin sabit olmaması,
- her sıvının Newtoniyan sıvısı olmaması,
- buharlaşma etkisinin bu denklemlerde gösterilmemesi.

Bütün bu etkiler, filmlerin gerçekte daha kalın olması ile sonuçlanır. Bu etkilerden en önemlisi buharlaşma etkisidir. Daldırma işlemi ile kaplanan filmlerde buharlaşma oranı, film yüzeyindeki gaz fazının yüzeyin dışına doğru yayılma oranı ile orantılıdır. Difüzyon aralığı çok ince tabaka $(l = 1mm)$ içindeki gazın hareketine bağlıdır. Çünkü oluşan küçük bir konveksiyon, difüzyonu çok fazla değiştirir. Buharlaştırma oranı, ampirik kütle katsayısı k olmak üzere,

$$m = k(p_e - p_i) \qquad (16)$$

olarak ifade edilir (Landau ve Levich, 1942). p_e denge durumunda yüzeyde oluşan basınç ve p_i ise l kadar uzaklıkta oluşan basınçtır. Buharlaşma oranı, sıvının derinliğinden bağımsızdır. Daldırma işlemi boyunca taşıyıcı hareketi buharlaşma oranı üzerinde etkili olsa da, pratikte ihmal edilebilir.

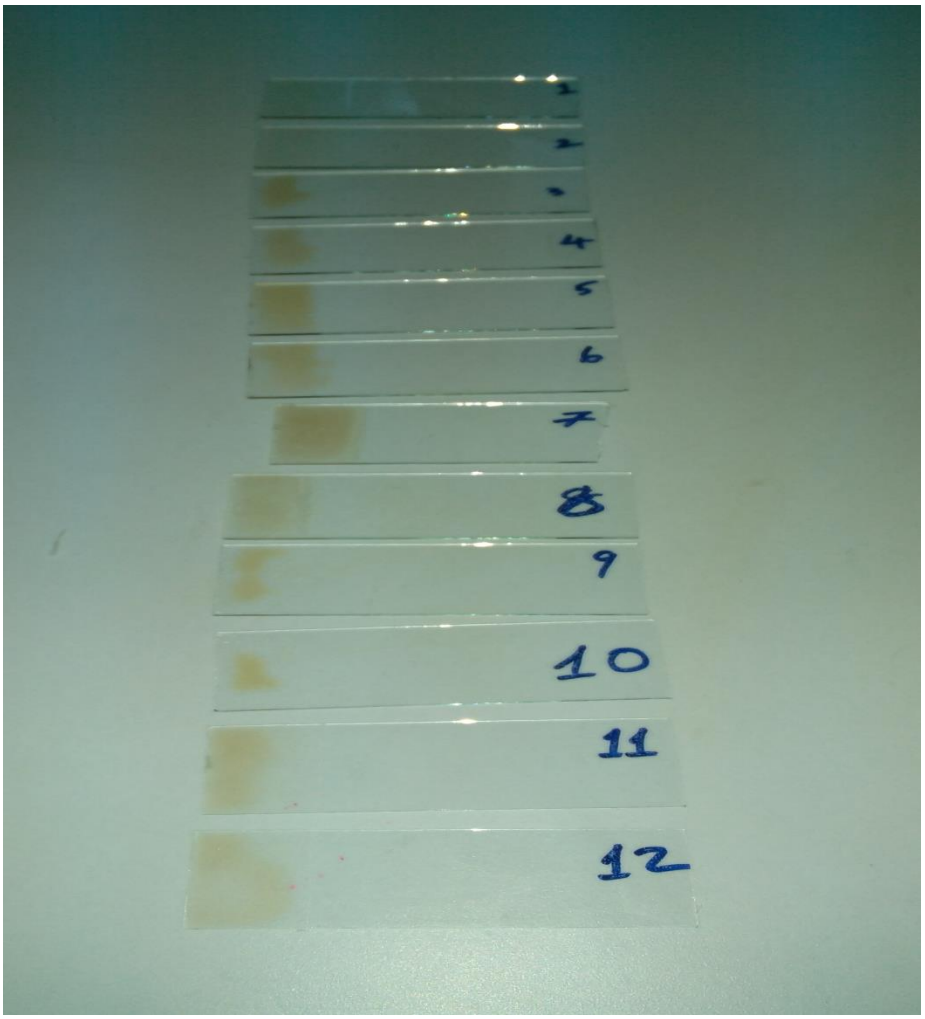
Şekil 15'de daldırma tekniği ile büyütme yapmak için hazırlanmış saf ve katkılı çözeltiler görülmektedir.



Şekil 15. Büyütme için katkılanmış çözeltiler (a; saf Gd_2O_3 nanoparçacık, b; Ga çözeltisi katkılanmış Gd_2O_3 nanoparçacık, c; Fe çözeltisi katkılanmış Gd_2O_3 nanoparçacık, d; Sb çözeltisi katkılanmış Gd_2O_3 nanoparçacık, e; Al çözeltisi katkılanmış Gd_2O_3 nanoparçacık, f; In çözeltisi katkılanmış Gd_2O_3 nanoparçacık).

Daldırma yönteminin avantajların yanında, geniş yüzeyler için büyük daldırma kaplarına ihtiyaç duyulması ve fazla miktarda kaplama çözeltisi gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Uhlmann ve Kreidl, 1984; Bach ve Krause, 1997). Daldırma yönteminde kaynama noktası düşük ve dolayısıyla hızlı kuruyan çözücüler (etanol, izopropanol, v.b.) tercih edilir. Ayrıca, kaplama kompoziyonunda kullanılan çözücünün, cam yüzeyini iyi ıslatabilme özelliği taşıması kaplamanın daha homojen olmasını sağlar.

Şekil 16'da daldırma yöntemiyle büyütülen filmler görülmektedir.



Şekil 16. Daldırma tekniği ile büyütülen nanoparçacıklar (1-2; Saf Gd_2O_3 nanoparçacık, 3-4; Ga katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık, 5-6; Fe katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık, 7-8; Sb katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık, 9-10; Al katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık, 11-12; In katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık).

5.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar ve Sistemler

Nanoparçacıkların yüzeye iyi tutunması için gerekli olan alttaş temizleme işlemlerinde saf su ihtiyacı için Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ar-Ge laboratuvarında bulunan ve Şekil 17'de gösterilen Zeener Power model saf su sistemi kullanılmıştır.



Şekil 17. Zeener Power model saf su cihazı.

Ultrasonik banyo sistemi olarak Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanoteknoloji Ar-Ge laboratuvarında bulunan ve Şekil 18'de gösterilen Ultrasonic Cleaner Codyson CD4800 marka cihaz kullanılmıştır.



Şekil 18. Ultrasonic Cleaner Codyson CD4800 cihazı.

Çözeltilerin hazırlanması için Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanoteknoloji Ar-Ge laboratuvarında bulunan sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı Termal N11151M cihazı kullanılmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Daihan SMHS3 sıcaklık kontrollü üçlü manyetik karıştırıcı.

Büyütme sırasında ara tavlama ve son tavlama işlemlerinde Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanoteknoloji Ar-Ge laboratuvarında bulunan ve Şekil 20'da gösterilen 0-1100 °C aralığında çalışabilen Nüve MF106 kül fırını kullanılmıştır.



Şekil 20. 0-1100 °C aralığında çalışabilen Nüve MF106 kül fırın.

Nanoparçacıkların optik özellikleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanoteknoloji Ar-Ge laboratuvarında bulunan Shimadzu 3600 UV-Vis NIR Spekrometresi ile ölçülmüştür (Şekil 21).



Şekil 21. Shimadzu 3600 UV-Vis NIR Spekrometresi.

İnce filmlerin kaplanması için bilgisayar kontrollü daldırarak kaplama yapan Şekil 22'da gösterilen Holmarc dip coating H0-TH-01 sistemi kullanılmıştır.



Şekil 22. Bilgisayar kontrollü Holmarc dip coating H0–TH–01 sistemi.

Elde edilen nanoparçacıkların AFM görüntüleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Nanoteknoloji Ar-Ge laboratuvarında bulunan Nanomagnetics Instruments marka sistemi ile alınmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Büyütmelerin yüzey analizlerinin yapıldığı AFM sistemi.

Nanoparçacıkların, X-ışını kırınım spektrumları (XRD) oda sıcaklığında 1.54059 Å dalgaboylu CuKα dalgaboyu radyasyon ışınlı $20° \leq 2\theta \leq 70°$ sınır değerlerinde Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Merkezi Laboratuvar'ında bulunan Bruker Discover D8 cihazı ile incelenmiştir (şekil 24).



Şekil 24. X-ışını kırınım spektrumlarının ölçülmesi için kullanılan Bruker Discover D8 marka X-ışını kırınımı cihazı.

Sentez için Şekil 25. de görünen ve Termo-Lab marka ceket ısıtıcı ile beraber oluşturulmuş geri soğutuculu kolloidal sentez sistemi kullanılmıştır.

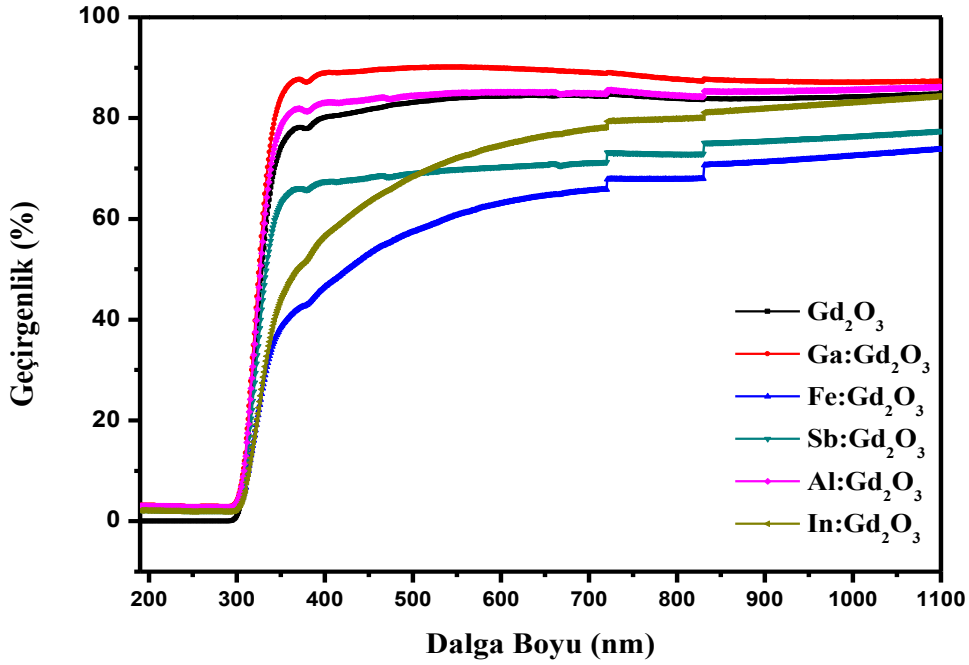


Şekil 25. Kolloidal sentez sistemi.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Gd_2O_3 Nanoparçacıkların Optiksel Özellikleri

Katkılı ve saf Gd_2O_3 nanoparçacıkların oda sıcaklığındaki UV-vis spektrum ölçümleri 190–1100 nm dalgaboyu aralığında Shimadzu 3600 UV-vis-NIR cihazıyla alınmıştır. Sistemin önce zemin düzeltmesi yapılarak, camdan geçen ışınım %100 olarak normalize edilmiştir. Böylece numunelere ait optik geçirgenlik spektrumları ölçülmüştür. Şekil 26'da elde edilen filmin oda sıcaklığındaki geçirgenlik–dalgaboyu grafikleri görülmektedir.



Şekil 26. Katkılı ve saf Gd_2O_3 nanoparçacıkla oluşturulmuş filmlerin oda sıcaklığındaki UV-Vis spektrum ölçümleri.

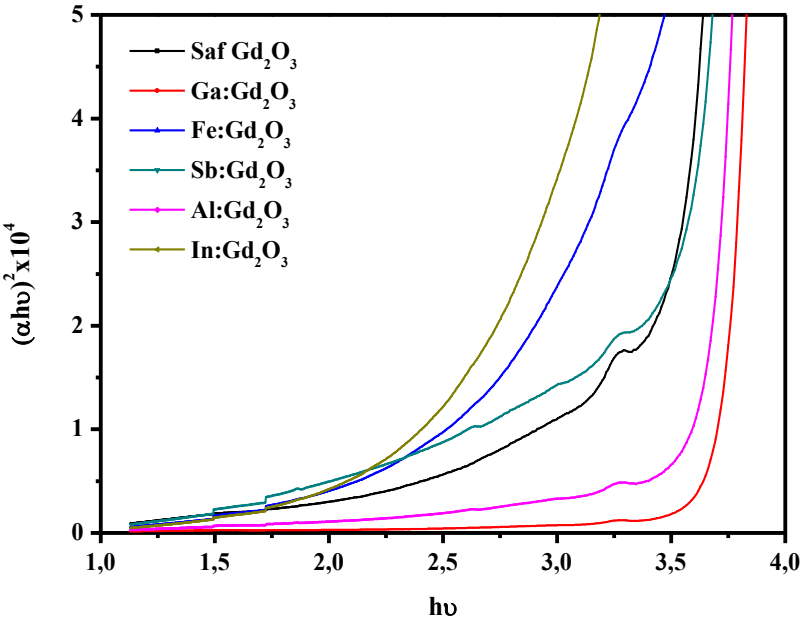
Geçirgenlik grafiği incelendiğinde saf Gd_2O_3 nanoparçacıkların geçirgenliklerinin % 84 civarında olduğu görülmektedir. Ga ve Al katkılarıyla beraber filmlerin geçirgenliklerinde artış gözlemlenirken, Fe, Sb ve In katkılarıyla beraber geçirgenlikte düşüş gözlemlenmektedir. Optik geçirgenliğinin yüksek olması alttaş üzerine nanoparçacıkların homojen yani pürüzsüz olarak büyütülmesine, büyütülen nanoparçacığın yoğunluğunun düşük olmasına ve yüzeyinde gerçekleşen kayıp saçılmanın düşük olmasına bağlıdır (Mardare, 2002).

6.1.1. Tickness Programı ile Büyütmelerin Kalınlıklarının Ölçülmesi

Büyütülen saf Gd_2O_3 ve katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıkların kalınlıkları UV-3101PC Film Tickness programı ile yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen kalınlık değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'den film kalınlıklarına bakıldığında Gd_2O_3'e yapılan katkılamalarla film kalınlık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, saf Gd_2O_3'ün örgü kafesinin Ga, In, Al, Fe ve Sb katkılarının ilavesiyle birlikte büyümesinden kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz (Sönmezoğlu ve ark., 2011a ve 2011b).

	T_{max} (görünür bölge)	D (kalınlık)	E_g (Enerji band aralığı)
Saf Gd_2O_3 nanoparçacık	%84,71	620 nm	3,6 eV
Ga Katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık	%90,150	1290 nm	3,76 eV
Al Katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık	%85,658	968 nm	3,70 eV
Sb Katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık	%71,48	989 nm	3,63 eV
Fe Katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık	%67,982	1412 nm	3,46 eV
In Katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık	%70,44	865 nm	3,17 eV

Çizelge 3. Katkılı ve saf nanoparçacıkların UV-Vis spektrumları yardımıyla hesaplanmış optiksel parametreleri.

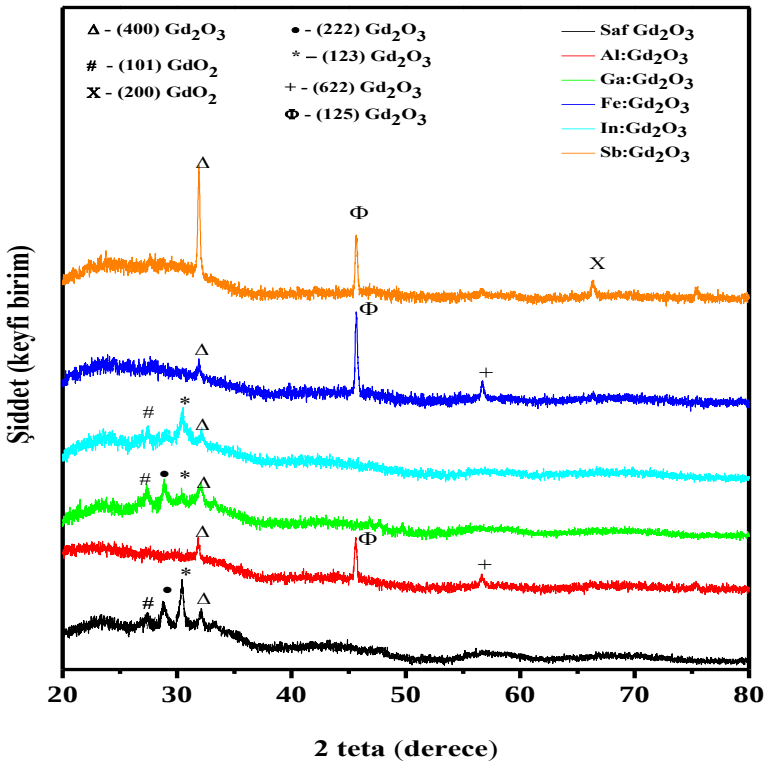


Şekil 27. Büyütülen katkılı ve saf nanoparçacıkların $(\alpha h\upsilon)^2 - h\upsilon$ grafikleri.

Nanoparçacıkların geçirgenlik değerleri ile ölçülen kalınlık değerlerinden yararlanılarak soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu soğurma katsayıları kullanılarak, şekil 28'de görüldüğü gibi doğrudan izinli bir band geçişi için $(\alpha h\nu)^2$'ye karşılık $h\nu$ grafiği çizilmiştir. Elde edilen grafikteki eğrilere karşılık çizilen teğetin $h\nu$ eksenini $(\alpha h\nu)^2 = 0$'da kestiği noktanın $\{(h\nu - E_g) = 0 \xrightarrow{ve} h\nu = E_g\}$ enerji değerinden o malzemenin yasak enerji band aralığı bulunmuştur. Bulunan bu değerler Çizelge 3'te verilmektedir. Yasak enerji band aralığı değerleri karşılaştırıldığında saf Gd_2O_3'ye Ga, Al ve Sb katkılanması enerji band aralığı değerlerini arttırmaktadır. Bunun nedeni, gadalinyum atomunun yerleşmiş (lokalize olmuş) 6s orbitallerinin Gd_2O_3'ün iletkenlik bandını oluşturduğundan dolayı, Gd_2O_3 örgü kafesi içerisine Ga, Al ve Sb ilave edilmesi yani genişletilmiş Ga 4p orbitalleri, Al 3p orbitalleri ve Sb 5p orbitalleriyle iletkenlik bandının etkilenmesinden kaynaklanır. Böylece, iletkenlik bandı yüksek enerjiye sahip seviyeye doğru kayar ve dolayısıyla valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki mesafede bir artış oluşur (Chen ve ark., 2011; 2010; Lee ve ark., 2004). Fe ve In katkılanmasının ise enerji band aralığı değerlerini azalttığı görülmektedir

6.1.2. Gd_2O_3 Nanoparçacık Yapıların XRD Analizleri

Döndürerek kaplama metoduyla büyütülen Gd_2O_3 nanoparçacıkların X-ışını spektrumları, Bruker Discover D8 X-ray Difraktometresi ile CuK_α radyasyonu kullanılarak $20^0 \le 2\theta \le 80^0$ aralığında 0,1 derecelik adımlarla elde edilmiştir. Şekil 28'daki bu büyütmelere ait X-ışını kırınım desenleri incelendiğinde numune için farklı açı değerlerinde birden fazla pik olduğu görülmektedir.



Şekil 28. Elde edilen tez numunelerinin XRD analiz sonuçları.

X-ışını kırınım deseni incelendiğinde saf Gd_2O_3 nanoparçacık için; tetragonal yapıda (101) yöneliminde, kübik yapıda (222), (123), (400) yönelimlerinde pikler görülmüştür.

Gd_2O_3 nanoparçacıkların Al katkılanması sonucunda; (101), (222), ve (123) yönelimlerindeki piklerin kaybolduğu görülmektedir. Bununla beraber Al katkısının Gd_2O_3 nanoparçacıkların kristal yapısında neden olduğu değişiklikler neticesinde kübik yapıda (125) ve (622) yönelimlerinde yeni pikler oluştuğu görülmektedir.

Ga katkılı Gd_2O_3 nanoparçacık kaplı numuneden alınan ölçümler incelendiğinde saf Gd_2O_3 nanoparçacıkla aynı pikleri verdiği fakat (123) yönelimine sahip kübik yapıdaki pikin şiddetinin azaldığı görülmektedir.

Fe'in Gd_2O_3 nanoparçacıklara katkısı, aynı Al katkısında olduğu gibi (101), (222), ve (123) yönelimlerindeki piklerin kaybolmasına neden olmuştur. Kübik yapıda Al katkısından daha şiddetli (125) ve (622) yönelimlerinde pikler verdiği görülmektedir. Piklerin daha şiddetli olması ve pik genişliğinin azalması (125) ve (622) yönelimlerinde kristal yapının Al katkısından daha iyi duruma geldiğinin bir göstergesidir.

In katkılanması ile beraber saf Gd_2O_3 nanoparçacıklara göre pik şiddetleri azalmıştır. Özellikle kübik yapıda (222) yönelimdeki pikin şiddetinin azaldığı net bir şekilde görülmektedir.

Gd_2O_3 nanoparçacıkların Sb katkılanması sonucunda Al ve Fe katkısında görüldüğü gibi (101), (222), ve (123) yönelimlerindeki pikler kaybolmuştur. Bu pikler kaybolurken kübik yapıdaki (400) ve (125) piklerinin şiddetlerinin yüksek miktarda arttığı, yani kristal yapının oldukça iyileştiği görülmektedir. Ayrıca Sb katkısı ile beraber saf Gd_2O_3 nanoparçacık ve diğer katkılı nanoparçacıkların dışında tetragonal yapıda (200) yöneliminde yeni bir pik oluştuğu görülmektedir.

XRD desenlerinden büyütmelerin kristalleşmelerinin iyi ya da kötü olduğunun anlaşılabilmesi için piklerin şiddetlerine ve genişliklerine bakılır. Eğer piklerin genişliği dar ve şiddetleri büyük yani pikler keskin ise büyütülen nanopraçacıkların kristalleşmelerinin iyi olduğu, piklerin genişliği büyük ve şiddetleri küçük ise yani pikler yayvan ise büyütülen nanoparçacıkların kristalleşmesinin kötü olduğu anlaşılır.

Pek çok katı malzemenin mikroyapıları, birçok taneden meydana gelir. Tane, içerisinde atom dizilmelerinin özdeş olduğu malzemenin bir kısmıdır. Buna karşın atomların diziliş yönelimi her bitişik tane için farklıdır. Tanelerin büyüklüklerinin ve yönelimlerinin; malzemenin elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. X-ışını kırınım deseninden yararlanarak tane boyutlarının belirlenmesinde aşağıda verilen Scherrer formülü kullanılır (Kaelble, 1967).

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta_\beta} \qquad (17)$$

Burada D=tane boyutu, β=ilgili kristal yönü için radyan olarak yarı pik genişliği, θ_β=Bragg açısı, λ=kullanılan x-ışınının dalgaboyudur. Bir malzemedeki tanelerin boyutları ne kadar küçülürse X-ışını kırınım desenindeki piklerde de buna bağlı olarak bir genişleme söz konusu olur.

Kristal Sistemi	(hkl)	2θ (°)	β (rad)	D (nm)
Gd_2O_3	400	32,11	0,00488	30,21
Al:Gd_2O_3	400	32,11	0,00602	24,4
Ga: Gd_2O_3	400	32,11	0,01073	13,7
Fe:Gd_2O_3	400	32,11	0,00593	24,8
In:Gd_2O_3	400	32,11	0,00715	20,6
Sb:Gd_2O_3	400	32,11	0,00593	24,8

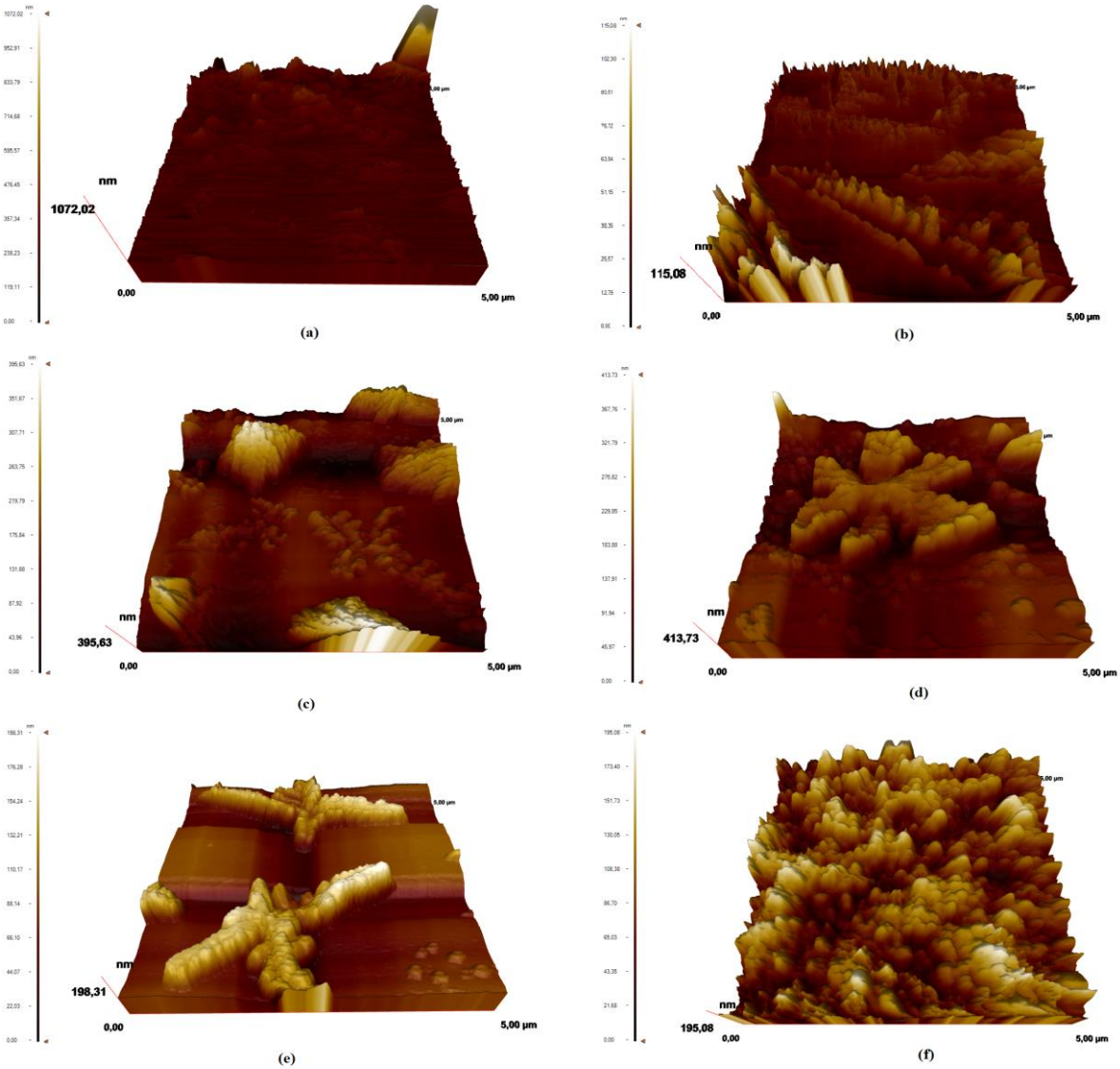
Çizelge 4. GdO_2 nanoparçacık ve Gd_2O_3 nanoparçacıklarının tanecik boyutunu.

Şekil 28'den de görülebileceği gibi (400) yönelimlerindeki pikler saf ve katkılı bütün filmler için ortaktır. Bunun için kristal boyutunun karşılaştırılması için bu pik dikkate alınmıştır. (400) yöneliminde en iyi kristal yapısı pik şiddeti en fazla olan Sb katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıklarda görülmektedir. Tanecik boyutu ne kadar büyürse X-ışını kırınım desenindeki piklerde de buna bağlı olarak o kadar daralma söz konusu olur. Çizelge 4'de görüldüğü gibi sentezlenen nanoparçacıkların boyutları ortalama 23 nm civarında, tetragonal ve kübik yapıdan oluşmaktadır.

6.2. Gd_2O_3 İnce Filmlerin Morfolojik Özellikleri

6.2.1. Gd_2O_3 Nanoparçacıkların AFM Görüntüleri

Kolloidal yöntem ile elde edilen Gd_2O_3 nanoparçacıkların ve katkılanan nanoparçacıkların morfolojik analizleri Nanomagnetics Instruments marka atomik kuvvet mikroskobu (Atomic Force Microscopy, AFM) ile 5 x 5 μm^2 tarama alanında, 5 µm/s tarama hızında tapping modda yapılmıştır. Şekil 29'da tez çalışması kapsamında büyütülen nanoparçacıkların yüzey görüntüleri daha detaylı incelemek amacıyla 3 boyutlu olarak verilmiştir.



Şekil 29. Elde edilen (a) Saf Gd_2O_3 nanoparçacıkların, (b) Ga katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıkların, (c) Fe katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıkların, (d) Sb katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıkların, (e) Al katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıkların, (f) In katkılı Gd_2O_3 nanoparçacıkların 3 boyutlu AFM görüntüleri.

Görüntüler incelendiğinde saf Gd_2O_3 nanoparçacık kaplı numuneler ile In ve Ga katkılı numunelerin tanelerin homojen olarak dağıldığı ve yüzeye tutunmaların iyi olduğu; Sb, Al ve Fe katkılanan numunelerde kümelenmelerin olduğu yüzeye tutunmaların iyi olmadığı görülmüştür. Ayrıca bazı bölgelerde üst üste binmiş tabakaların olduğu ve birikmeler sonucunda tümseklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Elde edilen nanoparçacıkların program yardımıyla hesaplanan ortalama tanecik boyutu ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ortalama olarak 20 nm ve 30 nm olarak elde edilmiştir.

Büyütülen nanoparçacıkların morfolojik özelliklerine genel olarak bakıldığında atılan kat sayısının arttırılmasının yüzeye tutunmalarının olumlu yönde etkilediği ve tanecikleri sıklaştırdığı görülmektedir. XRD desenlerinden hesaplanan tanecik boyutlarının AFM görüntüleri ile birbiriyle uyum içinde olduğu söylenebilir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, malzeme bilimi açısından önem taşıyan nanoparçacık sentezi yapılmış, sentezlenen malzeme, özelliklerini incelemek amacıyla saf cam üzerine büyütülmüştür. Sentez yöntemi olarak basit, ucuz, uygulanabilirliği kolay olan kolloidal sentez yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca sentezlediğimiz Gd_2O_3 nanoparçacıklara Ga, Fe, Sb, Al ve In metalleri katkılayarak, katkılamanın optiksel, morfolojik ve yapısal özelliklerinde ne gibi değişmelere yol açtığı incelenmiştir. Büyütme yöntemi olarak daldırma tekniği ile kaplama kullanılmıştır. Üretilen malzemenin özelliklerini incelemek için yapısal, morfolojik ve optiksel özellikleri analiz edilmiştir.

Geçirgenlik grafiği incelendiğinde görünür bölge aralığı olan 400–700 nm aralığında Al ve Ga katkısı ile beraber saf Gd_2O_3 nanoparçacıkların geçirgenliğin arttığı, Fe, Sb ve In katkısı ile geçirgenliğin azaldığı görülmüştür. Tauc denklemi yardımıyla hesaplanan Gd_2O_3 nanoparçacıklarına ait yasak enerji band değeri Saf Gd_2O_3 nanoparçacık için 3,6 eV bulunurken; Ga, Fe, Sb, Al ve In katkılılarda yasak enerji band aralığı sırasıyla, 3,76/ 3,70/ 3,63/ 3,46 ve 3,17 olarak bulunmuştur.

X-ışını kırınım deseni verilen Gd_2O_3 nanoparçacıklar üzerinde;

- Saf Gd_2O_3 nanoparçacık ve katkılı nanoparçacıklarda; 32,11°'de, (400) yöneliminde, kübik yapıda, Gd_2O_3,
- Saf Gd_2O_3 nanoparçacık, Ga katkılı nanoparçacık ve In katkılı nanoparçacıklarda; 27,33°'de, (101) yöneliminde, tetragonal yapıda, GdO_2,
- Fe ve Al katkılı numunelerde; kübik yapıda (622) yöneliminde 56,71°'de, Gd_2O_3,
- Al, Fe ve Sb katkılı numunelerde kübik yapıda (125) yöneliminde 45,63°'de Gd_2O_3,
- Saf Gd_2O_3 nanoparçacık, Ga katkılı nanoparçacık ve In katkılı nanoparçacıklarda; (123) yöneliminde, kübik yapıda, 30,47°'de, Gd_2O_3,

- Saf Gd_2O_3 nanoparçacık, Ga katkılı nanoparçacıklarda; (222) yöneliminde, kübik yapıda, 28,85°'de, Gd_2O_3,
- Sb katkılı nanoparçacıklarda; (200) yöneliminde tetragonal yapıda, 66,27°'de, GdO_2 piklerinin oluştuğu görülmektedir

Ga ve In katkılarının kristal yapının kalitesini düşürdüğü bununla beraber Al, Fe ve Sb katkıları ile yeni piklerin oluştuğu görülmüştür.Sb katkısı ile kristal yapısının iyileştiği 66,27°'de yeni bir pik oluştuğu gözlenmiştir.Elde edilen nanoparçacıklar için ortalama tanecik boyutları 13,7 nm - 30,21 nm aralığında değişmekte olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen nanoparçacıkların görüntüleri incelendiğinde saf Gd_2O_3 nanoparçacık kaplı numuneler ile In ve Ga katkılı numunelerin tanelerin homojen olarak dağıldığı ve yüzeye tutunmaların iyi olduğu; Sb, Al ve Fe katkılanan numunelerde kümelenmelerin olduğu yüzeye tutunmaların iyi olmadığı görülmüştür. Ayrıca bazı bölgelerde üst üste binmiş tabakaların olduğu ve birikmeler sonucunda tümseklerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapıda yer yer kümelenmelerin olduğu bu nedenle tanecik boyutu küçük olan nanoparçacıkların daha büyük göründüğü söylenebilir. Ayrıca yüzey görüntülerinden elde edilen tanecik boyutlarının XRD sonuçlarıyla iyi bir uyum gösterdiği de görülmektedir.

7.2. Öneriler

Gerek bilim dünyasında gerekse sanayi dünyasında malzeme üretimi büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden ihtiyaca en uygun malzemenin üretimi hedeflenmektedir. Yapmış olduğumuz bu tez çalışması esnasında yapılan literatür araştırmalarında görünür bölgede yüksek geçirgenliğe, yüksek kırılma indisine ve geniş bant aralıklarına sahip filmlerin, fotovoltaik hücrelerde, elektrokromik aygıtlarda, yansıtmayıcı kaplamalarda ve gaz algılayıcılarında kullanıldığı görülmüştür. Tez çalışmamızda elde ettiğimiz katkılı ve katkısız filmlerin görünür bölgede yüksek geçirgenliğe, ideal kırma indisine ve geniş band aralıklarına sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Elde edilen katkılı ve katkısız ince filmlerin bu özelliklerinden dolayı fotovoltaik hücrelerin ve elektrokromik aygıtların tasarımında kullanılmasını önermekteyiz.

Gd_2O_3 nanoparçacıkların ve çeşitli katkılarının güneş pillerinin üretimi için kullanılabileceğini önermekteyiz. Böylece üretilecek pillerin daha verimli çalışmasının sağlanacağını düşünmekteyiz.

Bu çalışmada sentezlediğimiz Gd_2O_3 nanoparçacıkların farklı sentez yöntemleriyle de üretilmesini önermekteyiz.

8.KAYNAKLAR

Adachi, S., 1999, Optical properties of crystalline amorphous semiconductors: materials and fundamental principles, *Springer*, Norwell, USA.

Akın, S. ve Sönmezoğlu, S., 2012, Nanostructured TiO_2 thin films: synthesis and characterisations, *Materials Technology: Advanced Performance Materials*, 27, 342-349.

Arslan, T., 2010, X-Işınları Ve Kullanım Alanları, *Fizik Eğitim Bilim Dalı*, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Garcia, A.M., Ramirez, A.J., Carrillo, R.F.J., Hernández, M.G., Dominguez, C.M.A., 2009, Synthesis, structural and optical studies of sol–gel Gd_2O_3:Eu^{3+}, Tb^{3+} films, *Materials Letters*, 63, 1631–1634.

Auzel, F., 2004, *Chemical Reviews*, 104, p. 139.

Atkins, P.W., Fizikokimya, Oxford Universty.

Bach, H. and Krause, D., 1997, Thin Films on Glass, *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, New York.

Bardakçı, S., 2007, Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanan TiO_2 İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Baykurt, F., 1981, Anorganik Kimya Uygulaması(Kalitatif Analiz), *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul.

Bloembergen, N., 1959, *Physical Review Letters*, 2 , p. 84.

Carlos, R.M., Narda, L. Lopez, C., Miguel, A.L., Alma, H., Martinez, P., 2012, Gas selectivity of nanostructured $ZnSb_2O_6$ synthesized by a colloidal method, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 171– 172, 686– 690.

Carlos, R. M., Alma H. M., Juan, P. M., 2009, Effect of the frequency on the gas sensing response of $CoSb_2O_6$ prepared by a colloidal method, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 140, 149–154.

Chen, Z., Zhang, Z., Zhong, Z., Zhang, C. and Xu, J., 2011, Preparation and Photocatalytic Characteristic of Sb-doped Anatase TiO_2 Powders, *Optoelectronics and Advanced Materials*, 5, 4, 398-402.

Cherian, S.M., Bobryshev, Y.V., Tran, D., Sivaraman, A., Lord, R.S.A., Cherian, K.M., 2005, Cellular destruction following transmyocardial laser revascularization (TMR) , *Journal of Molecular Histology*, 36, 275.

Çapan, İ., 2003, Organik ince filmlerin Langmuir-Blodgett ince film tekniğiyle üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

Çınar, M.O., Ülgen, Ş.D., Çubukçu, E. ve Koçum, İ. Ç., 2005, Molekül algılama amaçlı atomik kuvvet mikroskobu tasarımı ve üretilmesi, *Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, İstanbul.

Cullity, B.D., 1966, Elements of X-ray Diffraction, Addison Wesley.

Daqin, C., Yuansheng, W., Maochun, H., 2012, Lanthanide nanomaterials with photon management characteristics for photovoltaic application, *Nano Energy*, 1, 73-90

Dhananjaya, N., Nagabhushana, H., Nagabhushana, B.M., Rudraswamy, B., Sharma, S.C., Sunitha, D.V., Shivakumara, C., Chakradhar, R.P.S., 2012, Effect of different fuels on structural, thermo and photoluminescent properties of Gd_2O_3 nanoparticles, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 96, 532-540.

Durlu, T., 1992, Katıhal Fiziğine Giriş, Set ofset Ltd, Ankara, 313s.

Durmuş, S., 2008, Gadelenyum Trioksit Katkılanmış Bizmut Trioksit Polimorflarının Sentezlenmesi, Karakterizasyonu ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.

Dinç, Y., 2007, AlGaN Ince Filminin Isil İşlem Sonrasi Yapısal Ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.

Ersan, I., 2006, Sigorta Sektörü Nanoteknoloji Devrimine Hazır mı?, *Best*, 32:11-14.

Ferrari, J.L., Parreira, R.L.T., Pires, A.M., Lima, S.A.M., Davolos, M.R., 2011, A route to obtain Gd_2O_3:Nd^{3+} with different particle size, *Materials Chemistry and Physics*, 127, 40–44.

Hai, G., Ning, D., Min, Y., Weiping, Z., Liren, L. ve Shangda, X., 2004, Visible Upconversion İn Rare Earth Ion-Doped Gd_2O_3 Nanocrystals, *J. Phys. Chem. B*, 108, 19205–19209.

Hara, K., Kurashıge, M., Dan-Oh, Y., Kasada, C., Shınpo, A., Suga, S., Sayama, K., Arakawa, H., 2003, Desing of new coumarine dyes having thiophene moieties for highly efficient organic dye sensitized solar cells, *New Journal of Chemistry*, 27, 783.

http://www.maden.org.tr/, [Ziyaret Tarihi: 10.08.2014]

http://en.wikipedia.org/wiki/Gadolinium(III)_oxide, [Ziyaret Tarihi: 10.08.2014].

Gebeyehu, D., Brabec, C.J., Sariciftci, N.S., 2002, Solid-state organic/inorganic hybrid solar cells based on conjugated polymers and dye-sensitized TiO_2 electrodes, *Thin Solid Films*, 403, 271.

Gökçe, A.G., Kristallerde X-Işını, Nötron ve Elektron Kırınımı.

Green, M.A., 2004, Third Generation Photovoltaics: Ultra-High Efficient at Low CostSpringer, Berlin,Germany.

Greenwood, N.N., Earnshaw A., 1984, Chemistry of the elements, *Pergamon press* Oxford.

Kaya, D.A., 2009. Elektroeğirme yöntemiyle Al_2O_3.TiO_2 nanoliflerin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon.

Kaelble, E.F., 1967, Handbook of X-rays for Diffraction, Emission, Absorption and Microscopy, *McGraw-Hill*, New York.

Lee, J.E., Oh, S.M. and Park, D.W., 2004, Synthesis of Nano-sized Al doped TiO_2 Powders using Thermal Plasma, *Thin Solid Films*, 457, 230-234.

Landau, L. ve Levich, B., 1942, Dragging of a Liquid by a Moving Plate, *Acta Physicochimica (USSR)*, 17, 42-54.

Nag, B.R., 1980, Electron transport in compound semiconductors, *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, New York.

Nafiseh, D., Sultana, F., Dale, H., 2010, Colloidal synthesis of copper nanoparticles in a two-phase liquid–liquid system, *Materials Letters*, 64, 45-48.

Mardare, D. ve Rusu, G.I., 2012, The influence of heat treatment on the optical properties of titanium oxide thin films, *Materials Letters*, 56, 210-214.

Natalia, A., Caroline, S., Maria, A.,Torbj'orn, B. ve Kajsa, U., 2012, Effects of gadolinium oxide nanoparticles on the oxidative burst from human neutrophil granulocytes, *Nanotechnology*, 23, 27.

Özcan, E., Dölen, E., 1976, Anorganik Kimya Laboratuarı, Cilt 1, İstanbul Üniversitesi Yayınları.

Özdemir, İ., 1981, Genel Anorganik ve Teknik Kimya, İstanbul.

Pankove, I.J., 1971, Optical processes in semiconductors, *Prentice-Hall*, Inc. New Jersey.

Ronda, C., 1995, Journal of Alloys and Compounds, 225, p. 543.

Sarıkaya, Y., Fizikokimya Ders Notları.

Samchuck, I.A., Pilipenko, A.T., 1987, Analytical Chemistry of Minerals, *VNU Science Press.*

Shikui, Y., Ligang, F., Xiao, Z., Changpeng, L., Wei, X., 2012, Pt/C catalysts with narrow size distribution prepared by colloidal-precipitation method for methanol electrooxidation, *Journal of Power Sources*, 217, 280-286.

Sönmezoğlu, S., Arslan, A., Serin, T. ve Serin, N., 2011a, The Effects of Film Thickness on the Optical Properties of TiO_2-SnO_2 Compound Thin Films, *Physica Scripta*, 84, 065602-065608.

Sönmezoğlu, S. ve Ateş Sönmezoğlu, Ö., 2011b, Optical and Dielectric Properties of Double Helix DNA Thin Films, *Materials Science and Engineering C*, 31, 1619-1624.

Söderlind, F., 2008, Colloidal synthesis of metal oxidenanocrystals and thin films, *Linköping University*, Linköping, Sweden.

Swanepoel, R., 1983, Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon, *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 16, 1214-1222.

Şener, D. 2006, Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan Metal Oksit İnce Filmlerin Elektriksel, Yapısal ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Tang, Z.K., Wong, G.K.L., Yu, P., Kawasaki, M., Ohtomo, A., Koınuma, H. ve Segawa, Y., 1998, Enhancement of x-ray lasing due to wavefront correction of line focusing optics with a large-aperture deformable mirror, *Applied Physics Letters*, 72, 3270-3273.

Tauc, J., 1970, Absorption edge and internal electric field in amorphous semiconductors, *Materials Research Bulletin*, 5, 721-729.

Tamotsu, H., Mıura, H., Uchıda, S., 2004, Highly efficient metal-free organic dyes for dye-sensitized solar cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 164, 29.

TiO_2 Solar Hücre Fizibilite çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Tomihira, K., Kim, D., Nakayama, M., 2005, Optical properties of ZnS–CdS alloy quantum dots prepared by a colloidal method, *Journal of Luminecence*, 112, 131-135.

Tran, D.H., Putri, W.B.K., Wie, C.H., Kang, B., Lee, N.H., Kang, W.N., Lee, J.Y., Seong, W.K., 2012, Enhanced critical current density in $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films with substrate surface decoration using Gd_2O_3 nanoparticles, *Thin Solid Films*, 526, 241-245.

Tütünoğlu, Ç., 2007. Nanoteknolojik Prosesler ile Nikel Tozu Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Uhlmann, D. R. ve Kreidl, N. J., 1984, Glass: Science and Technology, *Academic Pres Inc.*, New York.

Uldrich, J. ve Newberry, D., 2005, Nanoteknoloji, Alıcı T.(çeviri editörü), Ledo Yayınları, İstanbul.

Uyanık, G., Fizikokimya Ders Notları.

Yalçın, H. 2005, Malzeme Analiz Teknikleri Ders Notları, Cumhuriyet Üniversitesi, *Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Sivas.

Wegh, R.T., Donker, H., Oskam, K.D., Meijerink, A., 1999, *Science*, 283, p. 663.

Zhang, F.X., Lang, M., Wang, J.W., Becker, U. ve Pressures R.C., Phys. Rev. B 78, 064114.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre ÜNVER
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA 29/07/1986
Telefon : 0505 652 99 90
Faks : ------
e-mail : emre_unver42@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:	**Konya Gazi Lisesi, KONYA**	**2004**
Üniversite	:	**Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat**	**2011**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi, Konya**	

UZMANLIK ALANI

- **İnce filmler**
- **Sentez ve karekterizasyon**
- **Boya duyarlı güneş pilleri**

YABANCI DİLLER: İngilizce

ALDIĞI LİSANSÜSTÜ DERSLER VE SEMİNERLER

1- Fizikte Matematik Metotlar -I-

2- Kuantum Mekaniği -I-

3- Isisal Uyarimli Süreçler

4- Kuantum Nano Yapilar -Ii-

5- Yari İletken Ve Fiziği Uygulamalari

6- İnce Film Teknolojisi

7- Yariiletken Malzemelerin Elektriksel Karakterizasyonu

8- Güneş Pilleri Aygit Fiziği Üretim Teknolojileri

SEMİNER KONUSU

Boya Duyarlı Güneş Pilleri