



دانشگاه بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته نانو فیزیک

عنوان:

## سنتز و مشخصه‌یابی نانوذرات کبالت اکسید

استاد راهنما:

دکتر موسی علی احمد

استاد مشاور:

دکتر حمیده سراوانی

تحقیق و نگارش:

مریم مولاپناه کنارویی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

بهمن ۱۳۸۹

## بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان سنتز و مشخصه‌یابی نانوذرات کبالت اکسید قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد فیزیک توسط دانشجو مریم مولانپناه کنارویی تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتر موسی علی احمد تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

مریم مولانپناه کنارویی




امضا

### بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان سنتز و مشخصه یابی نانوذرات اکسید گبالت قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد نانوفیزیک توسط دانشجو مریم مولاپناه کنارویی با راهنمایی استاد پایان نامه آقای دکتر موسی علی احمد تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

مریم مولاپناه کنارویی  
امضاء

این پایان نامه **۸۰** واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ **۱۹/۱۱/۱۳۹۹** توسط هیئت داوران بررسی و درجه **عالی** به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما: آقای دکتر موسی علی احمد		
استاد راهنما: ---		
استاد مشاور: خانم دکتر حمیده سراوانی		
داور ۱: آقای دکتر مصطفی حبیبی خراسانی		
داور ۲: آقای دکتر احمدرضا دارائی		
نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر علیرضا آقائی		



### تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مریم مولانپناه کنارویی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مریم مولانپناه کنارویی

امضاء

تقدیم به:

برترین معلمان هر زندگی

پدر و مادر

## سپاسگزاری

شاکرم آن خدایی را که هر چه هست و نیست از اوست.

از راهنمایی‌های دکتر علی‌احمد، دکتر سراوانی و همکاری صمیمانه مهندس سرگزی و دانشگاه پیام نور

زاهدان و همچنین سرکار خانم حشمت‌نژاد و دوستان بسیار عزیزم نرگس نصیری مقدم ، زهرا شاهی و سیما

شکرفروش در انجام این پایان نامه کمال تشکر و سپاس را دارم.

## چکیده:

در این پایان نامه تهیه نانوذرات کبالت اکسید به دو روش متفاوت سل-ژل و واکنش حالت جامد بررسی می شود. اندازه گیری های XRD ، FT-IR ، TEM ، VSM و UV-Vis به ترتیب مشخصات ساختاری، طیف‌نمایی، مورفولوژی، مغناطیسی و نوری نمونه‌های تولیدی را نشان می دهد. طیف XRD تشکیل نانوذرات  $\text{Co}_3\text{O}_4$  با ساختار اسپینل را نشان می دهد. با کمک فرمول شرر اندازه میانگین نانو ذرات حاصل از سل-ژل ۲۵ nm و واکنش حالت جامد، ۵۴ nm تخمین زده می شود. طیف FT-IR تشکیل پیوند های مربوط به کبالت اکسید را تایید می کند. با استفاده از تصویر TEM مشخص می شود که اندازه و شکل نانوذرات در نمونه سل - ژل و حالت جامد به ترتیب، ۱۴ nm شبه کروی و ۶۳ nm مکعب مستطیل شکل هستند. با توجه به نمودار VSM، نمونه های تولیدی در دمای اتاق رفتار پارامغناطیسی از خود نشان می دهند. از طیف UV-Vis مشاهده می شود که گاف انرژی نمونه ها در مقایسه با حالت توده ای، مقادیر بزرگتری را دارا می باشند. پس از تهیه نانو ذرات کبالت اکسید، از آن ها جهت ایجاد سطح ابرآب گریز استفاده می شود. نانوذرات تولیدی روی زیر لایه شیشه ای پوشش داده شده و سپس در کوره قرار می گیرند. در نهایت از استتاریک اسید جهت اصلاح سطح استفاده می شود. زاویه تماس قطرات آب روی سطح ابر آب گریز تهیه شده از نانوذرات تولیدی به روش واکنش حالت جامد  $152/55^\circ$  و زاویه شیب  $6/0^\circ$  می باشد در حالیکه این مقادیر برای سطح تهیه شده از نانو ذرات تولیدی به روش سل - ژل که برای اولین بار تهیه آن به این روش گزارش شده، به ترتیب  $153/45^\circ$  و  $2/5^\circ$  می باشد. تصاویر SEM تاثیر میکرو و نانو ساختارها را در ایجاد خاصیت ابر آب گریزی سطوح تایید می کند.

**کلمات کلیدی:** کبالت اکسید - سل-ژل - زاویه شیب - زاویه تماس - ابر آب گریز

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول : مقدمه
۲	۱-۱- نانو تکنولوژی چیست؟
۳	۲-۱- مروری بر نانو مواد
۳	۱-۲-۱- ساختار نانو ذرات
۴	۱-۲-۲- خواص نانو ذرات
۵	۱-۲-۲-۱- خواص نوری
۶	۲-۲-۲-۱- خواص مغناطیسی
۱۰	۳-۱- نانوذرات کبالت اکسید
۱۱	۴-۱- سطوح ابر آب گریز
۱۳	۱-۴-۱- حالت های مختلف تر شوندگی سطوح
۱۷	۲-۴-۱- روش های ساخت سطوح ابر آب گریز
۲۰	۳-۴-۱- کاربرد سطوح ابر آب گریز
۲۲	فصل دوم : مروری بر روش های سنتز و مشخصه یابی نانو ذرات
۲۳	۱-۲- روش های تولید نانو ذرات
۲۳	۱-۱-۲- روش سل - ژل
۲۶	۲-۱-۲- روش واکنش حالت جامد
۲۸	۲-۲- ابزار تحلیل نانو ذرات
۲۸	۱-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM
۳۰	۲-۲-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM
۳۲	۳-۲-۲- پراش اشعه ایکس XRD
۳۴	۴-۲-۲- مغناطیس سنج VSM
۳۵	۵-۲-۲- طیف سنج نوری UV-Vis
۳۶	۶-۲-۲- طیف سنجی مادون قرمز انتقال فوریه FT-IR



فصل سوم : کارهای آزمایشی انجام شده ۴۰

- ۴۱ ..... ۳-۱- تهیه نانوذرات کبالت اکسید به روش سل - ژل.....
- ۴۳ ..... ۳-۲- تهیه نانو ذرات کبالت اکسید به روش واکنش حالت جامد.....
- ۴۴ ..... ۳-۳- تهیه لایه‌های ابر آب گریز.....
- ۴۶ ..... ۳-۴- تجهیزات به کار رفته جهت بررسی نمونه ها.....

فصل چهارم : ارائه نتایج و تحلیل یافته‌ها ۴۷

- ۴۸ ..... ۴-۱- واکنش های شیمیایی انجام شده.....
- ۴۹ ..... ۴-۲- تحلیل نتایج طیف XRD.....
- ۵۴ ..... ۴-۳- تحلیل نتایج UV-Vis.....
- ۵۸ ..... ۴-۴- تحلیل نتایج VSM.....
- ۶۰ ..... ۴-۵- تحلیل نتایج طیف FT-IR.....
- ۶۱ ..... ۴-۶- تحلیل تصاویر TEM.....
- ۶۲ ..... ۴-۷- تحلیل تصاویر SEM از سطوح تولیدی.....
- ۶۷ ..... ۴-۸- بررسی خواص آب گریزی سطوح تولیدی.....

فصل پنجم : جمع‌بندی و پیشنهادات ۷۱

- ۷۲ ..... ۵-۱- جمع‌بندی.....
- ۷۳ ..... ۵-۲- پیشنهادات.....

مراجع ..... ۷۴

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان جدول
۸	جدول ۱-۱ . توصیف دسته های مختلف مواد از نظر مغناطیسی
۴۱	جدول ۱-۳ . مواد شیمیایی مورد استفاده در تهیه نانوذرات کبالت اکسید به روش سل - ژل
۴۴	جدول ۲-۳ . مواد شیمیایی مورد استفاده در تهیه نانوذرات کبالت اکسید به روش واکنش حالت جامد
۵۰	جدول ۱-۴ . مقادیر استخراج شده از طیف XRD برای نمونه شماره ۱
۵۱	جدول ۲-۴ . مقادیر استخراج شده از طیف XRD برای نمونه شماره ۲
۵۳	جدول ۳-۴ . مقادیر استخراج شده از طیف XRD برای نمونه شماره ۳
۵۷	جدول ۴-۴ . مقادیر قله جذب و گاف انرژی نمونه های ۲ و ۳
۶۸	جدول ۵-۴ . زاویه شیب و تماس قطره آب روی سطوح تولیدی

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان شکل
۷	شکل ۱-۱. نمای شماتیکی از مرتب شدن دو قطبی های مغناطیسی لحظه ای در دمای اتاق
۹	شکل ۱-۲. مغناطیس شدگی M به ازای میدان مغناطیسی H برای یک نمونه پارامغناطیس
۱۰	شکل ۱-۳. ساختار کریستالی $Co_3O_4$
۱۲	شکل ۱-۴. تصویر میکروسکوپی از برگ نیلوفر آبی
۱۴	شکل ۱-۵. ترشوندگی سطوح جامد طبق رابطه یانگ
۱۵	شکل ۱-۶. حالت های ترشوندگی (الف) ونزل (ب) کاسی-باکستر و (ج) مدل های ترکیب شده
۱۷	شکل ۱-۷. زاویه تماس قطره روی سطوح مختلف
۲۰	شکل ۱-۸. تصویر چوب فرآوری شده با اسپری نیلوفر آبی
۲۶	شکل ۲-۱. شمای کلی روش سل - ژل
۲۹	شکل ۲-۲. طرح شماتیکی از یک میکروسکوپ الکترونی عبوری
۳۰	شکل ۲-۳. نمودار شماتیک اجزای اصلی یک میکروسکوپ الکترونی روبشی
۳۵	شکل ۲-۴. طرح شماتیکی از مدل دمای اتاق VSM
۳۶	شکل ۲-۵. طرح یک UV-Vis
۳۸	شکل ۲-۶. ارتعاش های کششی متقارن و نامتقارن در یک مولکول
۳۸	شکل ۲-۷. نمودار ساده یک طیف نور سنج مادون قرمز
۴۲	شکل ۳-۱. طرح شماتیکی از وسایل استفاده شده در تهیه نانوذرات به روش سل - ژل
۴۳	شکل ۳-۲. طرحی از عملیات تهیه نانوذرات کبالت اکسید به روش سل - ژل
۴۴	شکل ۳-۳. طرحی از عملیات تهیه نانوذرات کبالت اکسید به روش واکنش حالت جامد

- شکل ۳-۴. طرحی از عملیات تهیه لایه ابرآب‌گریز ۴۵
- شکل ۴-۱. طیف XRD نمونه شماره ۱ ۵۰
- شکل ۴-۲. طیف XRD نمونه شماره ۲ ۵۱
- شکل ۴-۳. طیف XRD نمونه شماره ۳ ۵۲
- شکل ۴-۴. طیف UV-Vis نمونه شماره ۲ ۵۵
- شکل ۴-۵. نمودار محاسبه انرژی گاف نمونه شماره ۲ ۵۵
- شکل ۴-۶. طیف UV-Vis نمونه شماره ۳ ۵۶
- شکل ۴-۷. نمودار محاسبه انرژی گاف نمونه شماره ۳ ۵۶
- شکل ۴-۸. منحنی M-H نمونه شماره ۱ در دمای اتاق ۵۸
- شکل ۴-۹. منحنی M-H نمونه شماره ۲ در دمای اتاق ۵۹
- شکل ۴-۱۰. منحنی M-H نمونه شماره ۳ در دمای اتاق ۵۹
- شکل ۴-۱۱. طیف FT-IR نمونه شماره ۲ ۶۰
- شکل ۴-۱۲. طیف FT-IR نمونه شماره ۳ ۶۱
- شکل ۴-۱۳. تصویر TEM (A) نمونه شماره ۲ و (B) نمونه شماره ۳ ۶۱
- شکل ۴-۱۴. تصویر SEM لایه A با بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر ۶۳
- شکل ۴-۱۵. تصویر SEM لایه B با بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر ۶۴
- شکل ۴-۱۶. تصویر SEM لایه A با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر ۶۵
- شکل ۴-۱۷. تصویر SEM لایه B با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ برابر ۶۶
- شکل ۴-۱۸. تصاویری از سطوح ابر آب دوست و ابر آب گریز کبالت اکسید تولیدی ۶۷
- شکل ۴-۱۹. قطره آب روی سطح ابر آب گریز A با زاویه تماس میانگین  $153/45^\circ$  ۶۹
- شکل ۴-۲۰. قطره آب روی سطح ابر آب گریز B با زاویه تماس میانگین  $152/55^\circ$  ۶۹

## فهرست علائم

نشانه	علامت
انرژی گاف	$E_g(\text{eV})$
میدان مغناطیسی	$H(\text{Oe})$
مغناطش	$M(\text{emu/g})$
دمای مطلق	$T(\text{K})$

فصل اول

مقدمه

## ۱-۱- نانوتکنولوژی چیست ؟

پیشوند نانو در کلمه نانوتکنولوژی به معنی یک میلیاردم ( $10^{-9}$ ) است. نانوتکنولوژی با ساختارهای مختلفی از مواد سروکار دارد که این ساختارها و ابزارهای سودمند با ابعاد نانومتر همواره وجود داشته‌اند و در حقیقت عمر چنین ساختارهایی به اندازه طول عمر زمین می‌باشد. به عنوان نمونه صدف ماریچ که سطح داخلی آن کربنات کلسیم به شکل آجرهای نانو ساختار است و به علت وجود این آجرها، ترک‌های شکل گرفته در سطح خارجی صدف قادر به ادامه حرکت به درون پوسته نمی‌باشند [۱]. اگر چه اصطلاح نانوتکنولوژی در ابتدا به وسیله پروفسور نورینو تانیگوچی<sup>۱</sup> از دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ به کار برده شد تا ساختار دقیق مواد با دامنه تغییرات نانومتر را توصیف کند، اما ایده آن از سال‌ها پیش مطرح بود و اغلب به پروفسور ریچارد فاینمن<sup>۲</sup> نسبت داده می‌شود. پروفسور فاینمن در سخنرانی سال ۱۹۵۹ تحت عنوان "فضاهای بسیاری در سطوح پایین وجود دارد" این ایده را مطرح کرد. اما اریک درکسلر<sup>۳</sup> به علت استفاده از عبارت نانو تکنولوژی در کتاب موتورهای آفرینش در سال ۱۹۸۶ اغلب به عنوان باز آفرین عبارت نانوتکنولوژی معرفی می‌شود. بسته به دیدگاه افراد، تعاریف مختلفی برای نانوتکنولوژی و نانو مواد وجود دارد اما یک تعریف کاربردی و پذیرفته شده عبارت است از: "طراحی، مشخصه یابی، تولید و کاربرد ساختارها، وسایل و سیستم‌ها به وسیله دستکاری کنترل شده اندازه و شکل در مقیاس نانومتر (مقیاس اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی) به طوری که بتوان ساختارها، وسایل و سیستم‌هایی با حداقل یک مشخصه یا خاصیت جدید و ممتاز را تولید کرد" [۲].

بنا به تعریفی که در مورد نانو تکنولوژی مطرح شد می‌توان به اهمیت آن در کاربرد های مختلف صنعتی و تجاری پی برد. یکی از جنبه های کاربرد سیستم های نانو مقیاس از جمله نانوذرات استفاده از آن ها جهت تهیه سطوح خود تمیز شونده می باشد. در پایان نامه حاضر نیز تهیه سطوح ابر آب گریز که خاصیت خود تمیز شوندگی دارند مد نظر می باشد. جهت تهیه این سطوح، ابتدا نانوذرات کبالت اکسید به دو روش متفاوت تهیه شده و سپس پوشش ابر آب گریز آن ها تهیه می شود. در فصل اول، مروری بر نانو مواد، خواص آن ها و همچنین خواص نانوذرات کبالت اکسید مطرح می شود. در فصل دوم، روش های به کار رفته جهت سنتز نانوذرات و نیز دستگاههای مشخصه یابی آن ها تشریح می شوند. در فصل سوم، آزمایش های انجام شده جهت تهیه نانوذرات

<sup>1</sup> Norio Taniguchi

<sup>2</sup> Richard Feynman

<sup>3</sup> Erick Dercseler

کبالت اکسید و تهیه سطوح ابرآب‌گریز بیان می‌شود. فصل چهارم به بیان نتایج و تحلیل یافته‌ها اختصاص دارد. در انتها در فصل پنجم، نتایج کلی و پیشنهادهای جهت کارهای آینده مطرح می‌شود.

#### ۱-۲- مروری بر نانو مواد

برای تعریف نانومواد می‌توان از ابعاد هندسی جسم کمک گرفت. در صورتی که ماده مورد نظر در سه بعد در مقیاس نانو، ( زیر  $100\text{ nm}$  ) قرار داشته باشد معمولاً از لفظ " نانو ذره " استفاده می‌شود. این ذرات به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، فعالیت سطحی زیادی دارند و در پزشکی و داروسازی، دارورسانی، محافظت‌کننده‌ها، روان‌سازها، لوازم آرایشی و بهداشتی و کاتالیزورها مصرف می‌شوند. نانومیله‌ها و نانولوله‌ها مواد جامدی هستند که در دو بعد در مقیاس نانومتری می‌باشند. استفاده از پوشش‌های نانومتری ( لایه‌های نانو متری ) نیز مزایای فراوانی دارد. این مواد که فقط در یک بعد در مقیاس نانومتر هستند، مقاومت سایشی بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند [ ۳ ] .

#### ۱-۲-۱- ساختار نانو ذرات

یکی از مهم‌ترین خواص نانوذرات نسبت سطح به حجم بسیار بالای آن‌هاست، یعنی اتم‌های موجود در سطح، کسر بالایی از اتم‌های تشکیل‌دهنده یک ذره را تشکیل می‌دهند. لذا این نسبت به همراه اندازه و شکل تقریباً یکنواخت، باعث خواص کاملاً متفاوت نانوذرات در مقایسه با ذرات درشت تر و مواد توده‌ای شده‌است. تشکیل تدریجی نانوذرات، در فازهای مایع یا جامد در طی سه مرحله جوانه‌زنی، ادغام و رشد اتفاق می‌افتد. وقتی غلظت جوانه ذرات در طی مراحل جوانه‌زنی به اندازه کافی زیاد شود، خوشه‌ها با هم ادغام می‌شوند. با بیشتر شدن غلظت، این خوشه‌ها به نحوی ادغام می‌شوند که خوشه‌های بزرگتر، رشد می‌کنند. بنابراین نانو ذرات اغلب خوشه‌ای از اتم‌ها با ساختار فشرده مکعبی یا هگزاگونال می‌باشند. چنین ساختاری از یک اتم مرکزی که با لایه‌های مختلف اتمی احاطه شده است به وجود می‌آید. عدد همسایگی اتم‌های سطحی در نانو ذرات، ۹ یا کمتر است که این تعداد متفاوت از عدد همسایگی ذرات بزرگ تر، که ۱۲ است، می‌باشد. چنانچه مشخص است با کاهش اندازه نانوذرات درصد اتم‌های سطح افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که شکل هندسی ذرات نیز متاثر از پارامترهایی مانند ترکیب شیمیایی، خواص و روش تولید نانوذرات تعیین می‌شود [ ۴ ] .



## ۱-۲-۲ - خواص نانو ذرات

خوشه‌های اتمی و ذرات نانومتری خواص متفاوتی از مواد حجمی را از خود نشان می‌دهند. علت این موضوع را می‌توان به اندازه آن‌ها نسبت داد. با کوچک شدن اندازه ذرات تعداد اتم‌های سطحی زیاد می‌شوند. در یک ذره با قطر حدود ۴ nm حدود ۳۰٪ اتم‌ها در سطح قرار دارند. واضح است که انرژی اتم‌ها در سطح با انرژی آن‌ها در داخل مواد حجیم متفاوت است. بنابراین انتظار داریم خواص این ذرات به اندازه آن‌ها بستگی زیادی داشته باشد. هر چه ذرات کوچکتر می‌شوند این وابستگی نیز افزایش می‌یابد. خواص فیزیکی مواد را معمولاً می‌توان به طول‌های مشخصه‌ای مانند طول پویس آزاد میانگین اتم‌ها، طول نفوذ حرارتی و غیره نسبت داد. بنابراین خواص فیزیکی به مقدار قابل توجهی با کوچک شدن اندازه ذرات تحت تاثیر قرار می‌گیرند. بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی مواد نیز به سطح آن‌ها بستگی دارد. برای مثال سرعت حل شدن یا نفوذ با سطح ذرات ارتباط مستقیم دارد. از آنجا که کسر زیادی از اتم‌های ذرات نانومتری در سطح قرار دارند این مواد بیشتر مشابه بخار یا گاز فعالیت می‌کنند تا مواد جامد. بنابراین رفتار جنبشی این ذرات بیشتر از قوانین نفوذ گازها پیروی می‌کند. سرعت حل شدن این ذرات در محلول‌ها نیز به مراتب زیادتر از ذرات میکرومتری یا حجیم گزارش شده است. از آنجا که اندازه گیری خواص مکانیکی این ذرات بسیار دشوار است گزارش‌های زیادی در اختیار نیست. با وجود این اخیراً توسط روش‌های میکروسکوپ الکترونی عبوری<sup>۱</sup> و میکروسکوپ تونلی روبشی<sup>۲</sup> فعالیت‌هایی برای تعیین استحکام و مدول کشسانی نانوذرات و نانولوله‌ها انجام شده است. این مطالعات نشان می‌دهند که ذرات چند نانومتری استحکام و مقاومت بیشتری تحت نیرو از خود نشان می‌دهند.

دمای ذوب نانو ذرات فلزی به اندازه آن‌ها بستگی دارد به طوری که با کاهش اندازه ذرات دمای ذوب کاهش می‌یابد. علت این پدیده را می‌توان به انرژی سطحی ذرات نسبت داد [۳]. در ادامه خواص نوری و مغناطیسی نانو ذرات به طور مفصل تر بررسی می‌شود.

## ۱-۲-۲-۱ - خواص نوری

خواص نوری نانو ذرات بیشتر در مورد مواد نیمه هادی مطرح است. در این مواد، خواص اپتیکی با اندازه

<sup>1</sup> Transmission electron microscopy

<sup>2</sup> Scanning tunneling microscopy

ذرات ارتباط مستقیمی دارد به طوری که شدت طیف اپتیکی نانوذرات نیمه هادی با تغییر اندازه آن ها تغییر می‌کند. شدت پیک لبه جذب با کاهش اندازه ذرات بزرگتر می‌شود در حالی که انتقالی نیز به انرژی های بالاتر صورت می‌گیرد. علت این تغییر را باید در ساختار الکترونیکی نیمه هادی جستجو کرد. می دانیم که بین نوارهای هدایت و ظرفیت در مواد فاصله انرژی وجود دارد که به گاف انرژی<sup>۱</sup> موسوم است. در مواد عایق، نوار ظرفیت از الکترون ها پر و گاف انرژی نیز زیاد است. تحت این شرایط امکان انتقال الکترون ها از نوار ظرفیت به نوار هدایت وجود ندارد و جسم عایق الکتریسیته است.

بر خلاف آن در مواد هادی مانند فلزات، نوارهای هدایت و ظرفیت هم‌پوشانی دارند و بنابراین انتقال الکترون ها به سادگی انجام می‌شود. در نیمه هادی ها گاف انرژی وجود دارد ولی مقدار آن زیاد نیست (در حدود ۱ eV و کمتر از آن) [۳]. بنابراین انرژی حرارتی حتی در دمای اتاق می‌تواند قسمتی از الکترون ها را به نوار هدایت منتقل کند و هدایت الکتریکی خفیفی حاصل شود. اگر فوتون هایی به یک نیمه هادی تابیده شود که انرژی آن بزرگتر از گاف انرژی باشد، الکترون ها به نوار هدایت منتقل می‌شوند و حفره هایی در نوار ظرفیت شکل می‌گیرند. به دلیل نیروی کولنی بین الکترون‌های منفی و حفره‌ها (بار مثبت) یک جفت الکترون - حفره مقید به نام اکسیتون ایجاد می‌شود. حضور چنین جفت الکترون - حفره ای به مقدار قابل توجهی بر خواص نوری نیمه هادی اثر می‌گذارد. در نانوذرات فاصله بین الکترون و حفره توسط اندازه ذرات کنترل می‌شود به طوری که با ریز شدن اندازه ذرات تا مقیاس نانومتر حرکت اکسیتون ها محدود و انتقالی در طیف نوری مشاهده می‌شود. از آن جا که این انتقال به سمت سطوح انرژی بیشتر (طول موج کمتر) است، به این پدیده جابه جایی آبی گفته می‌شود. در صورتی که اندازه نانوذرات بسیار کوچک شود ممکن است سطح انرژی جفت الکترون - حفره تغییر کند. در این شرایط یک انتقال در طیف نوری دیده می‌شود ولی طیف‌های جدید نیز مشاهده خواهند شد. چنانچه در بالا ذکر شد انتقال طیف نوری به انرژی‌های بالاتر در اثر کاهش اندازه ذرات به معنی افزایش گاف انرژی است. هم چنین باید توجه داشت که افزایش شدت طیف نوری در اندازه های کوچکتر ذرات به حضور اکسیتون ها در نیمه هادی و فاصله کمتر آن ها نسبت به ذرات درشت بر می‌گردد [۳].

---

<sup>1</sup> Band gap

## ۱-۲-۲- خواص مغناطیسی

تحقیقات نشان داده که کاهش در اندازه ذرات منجر به تغییر در خواص مغناطیسی می‌شود. اندازه ذرات مورد بحث ما، معمولاً کمتر از اندازه حوزه‌های مغناطیسی در جامدات است. بنابراین یک ذره مثل یک اتم مجزا رفتار می‌کند که گشتاور مغناطیسی بزرگی دارد. کاهش در اندازه دانه منجر به کاهش در انرژی ناهمسانگردی<sup>۱</sup> می‌شود. بنابراین گشتاور مغناطیسی می‌تواند با انرژی حرارتی کمتری از یک جهت به جهت دیگر تغییر کند [ ۵ ] .

در دماهای بالاتر از یک دمای مشخص ، که دمای قفل شدن<sup>۲</sup> نامیده می‌شود، انرژی حرارتی کافی برای ماده وجود دارد تا مثل یک اتم پارامغناطیس با گشتاور مغناطیسی بزرگ رفتار کند. این رفتار سوپر پارامغناطیس<sup>۳</sup> نامیده می‌شود و برای ذرات کوچک قابل ملاحظه است [ ۶ ] .

مطابق مدل اتمی بور، اتم‌های یک ماده از هسته و الکترون‌هایی تشکیل شده‌اند که الکترون‌ها در مدارهای مشخص دور هسته می‌چرخند. به علاوه خود الکترون‌ها را می‌توان به عنوان ذرات باردار کروی در نظر گرفت که حول محور خود دوران می‌کنند. مجموعه حرکت دورانی الکترون دور هسته و حول محور خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. مواد مغناطیسی به شش دسته تقسیم می‌شوند که در جدول ۱-۱ به خواص آنها اشاره شده است این شش دسته عبارتند از :

۱. دیامغناطیس<sup>۴</sup>

۲. پارامغناطیس<sup>۵</sup>

۳. فرومغناطیس<sup>۶</sup>

۴. آنتی فرومغناطیس<sup>۷</sup>

۵. فری مغناطیس<sup>۸</sup>

۶. سوپرپارامغناطیس<sup>۹</sup>

---

<sup>1</sup> Anisotropic Energy

<sup>2</sup> Blocking Temperature

<sup>3</sup> Super Paramagnetic

<sup>4</sup> Diamagnetic

<sup>5</sup> Paramagnetic

<sup>6</sup> Ferromagnetic

<sup>7</sup> Antiferromagnetic

<sup>8</sup> Ferromagnetic

<sup>9</sup> Superparamagnetic

