بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
ایاک نعبد و ایاک نستعین اهدنا الصراط المستقیم
صراط الذین انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم
ولا الضالین

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته نانوفیزیک

عنوان:

بررسی تجربی خواص مغناطیسی نانوذرات و نانوساختارهای Co-Fe-Mn تولید شده به روش همرسوبی

استاد راهنما:

دکتر عبدالمحمود داورپناه

استادمشاور:

دکتر موسی علی احمد

تحقیق و نگارش

حسن اصلاحی

(این پایان نامه از حمایت مالی دانشگاه سیستان وبلوچستان بهره‌مند شده است)

بهمن ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **بررسی تجربی خواص مغناطیسی نانوذرات و نانوساختارهای Co-Fe-Mn تولید شده به روش همرسوبی"** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد نانو فیزیک توسط **حسن اصلاحی** تحت راهنمایی استاد پایان نامه **دکتر عبدالمحمود داورپناه** 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.

حسن اصلاحی

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنمای اول:	عبدالمحمود داور پناه		
استاد راهنما:	------ -------		
استاد مشاور:	موسی علی احمد		
داور ۱:	حمیده سراوانی		
داور ۲:	احمدرضا دارایی		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	سهیل شریفی		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حسن اصلاحی تأیید می کنم 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: حسن اصلاحی

امضاء

تقدیم به:

همسر عزیزم، که در زندگی مشترک یار و پشتیبانم بوده است.

چکیده

امروزه نانوذرات مغناطیسی در موارد متعدد از جمله تصویر برداری مغناطیسی *MRI*، انتقال هدفمند دارو به نقاط مختلف بدن، حافظه های مغناطیسی و کاتالیستها استفاده می‌شود. اخیرا سه نانوذره آهن، کبالت و منگنز مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند. روش همرسوبی یکی از متداولترین روشها برای تولید این نانوذرات می‌باشد.

در این تحقیق، بعد از تهیه نانوذرات مغناطیسی آهن، کبالت و منگنز با نسبت‌های مولی یکسان، به منظور تشخیص نوع و تعیین فاز نانوذرات تولیدی از روش *XRD* استفاده شد. همچنین برای بررسی خواص مغناطیسی نانوذرات آلیاژی مورد تحقیق، روش *VSM* انجام شد. نتایج *XRD* تولید نانوذرات Fe_2O_3 و $MnCo_2O_4$ را نشان می‌دهد. تحلیل دقیق قله‌های منحنی *XRD* نشان دهنده تولید همزمان فازهای $\gamma - Fe_2O_3$ و $\alpha - Fe_2O_3$ می‌باشد. دمای بازپخت ۶۰۰ °C بوده و این دما مرز تبدیل فاز γ به α در Fe_2O_3 است.

علیرغم تولید نانوذرات $\gamma - Fe_2O_3$ که دارای خاصیت فرومغناطیس نرم هستند، منحنی *VSM* مبین یک ماده فرومغناطیس سخت است. علت خاصیت آنتی فرومغناطیسی $\alpha - Fe_2O_3$ است که باعث پهن‌شدگی منحنی پسماند می‌گردد. ترکیب $MnCo_2O_4$ یک پارامغناطیس است و در منحنی پسماند تاثیر چندانی ندارد.

در این کار پژوهشی، اندازه نانوذرات تولید شده با استفاده از فرمول شرر بین ۲۰ تا ۳۰ نانومتر محاسبه شده است. بررسی نتایج *SEM* نیز این مقادیر ابعاد نانوذرات را تایید می‌کنند.

کلمات کلیدی: خواص مغناطیسی، نانو ذرات *Co-Fe-Mn* ، روش همرسوبی.

عنوان.....صفحه

فصل اول. نانومواد و روش‌های تولید آنها..... ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تقسیم بندی نانو مواد بر اساس ابعاد..... ۳

۱-۳- متداولترین نانو ذرات ۴

۱-۳-۱ نانوذرات فلزی..... ۴

۱-۳-۲- نانوکامپوزیتهای فلزی ۴

۱-۳-۳ نانوذرات نیمه‌رسانا..... ۵

۱-۳-۴- نانوذرات سرامیکی ۵

۱-۳-۵- نانولوله های کربنی..... ۵

۱-۴- تعریف جدید برای نانو ذرات ۶

۱-۵- روش‌های تولید نانوذرات..... ۶

۱-۵-۱- تولید بالا به پایین و پایین به بالا ۷

۱-۵-۲- طبقه بندی بر اساس محیط تولید نانومواد..... ۸

۱-۵-۳- روش آسیاب مکانیکی..... ۹

۱-۵-۴- فرآیند هم‌رسوبی(مورد استفاده در این تحقیق)..... ۱۱

۱-۵-۵- اثر عوامل مختلف بر تشکیل رسوب..... ۱۳

فصل دوم. خواص و کاربردهای نانوذرات مغناطیسی..... ۱۵

۲-۱- یادآوری یکاهای مغناطیسی..... ۱۶

۲-۲- دسته بندی مواد مغناطیسی..... ۱۷

۲-۳- خواص مغناطیسی مواد ۱۸
۲-۳-۱- قانون کوری ۱۸
۲-۳-۲- حلقه ی پسماند ۱۹
۲-۳-۳- دیامغناطیس ۱۹
۲-۳-۴- پارامغناطیس ۲۰
۲-۳-۵- سوپرپارامغناطیس ۲۲
۲-۳-۶- فرومغناطیس ۲۳
۲-۳-۷- آنتی فرومغناطیس ۲۵
۲-۳-۸- فری مغناطیس ۲۶
۲-۴- اثر تغییر اندازه نانوذرات بر خواص مغناطیسی آنها ۲۶
۲-۵- ویژگی‌های فیزیکی فلزات آهن،کبالت و منگنز ۲۹
۲-۶- اکسیدهای آهن، کبالت و منگنز ۳۲
۲-۶-۱- اکسیدهای آهن ۳۲
۲-۶-۲- اکسید کبالت (CoO) ۳۶
۲-۶-۳- اکسید های منگنز ۳۷
۲-۷- کاربردهای نانوذرات مغناطیسی ۳۹
۲-۷-۱- کاربرد در پزشکی ۳۹
۲-۷-۲- کاربرد نانو ذرات Co-Fe-Mn به عنوان کاتالیست ۴۴
فصل سوم. تجهیزات اندازه‌گیری برخی ویژگیها و خواص نانوذرات ۴۸
۳-۱- مقدمه: ۴۹
۳-۲- دستگاه مغناطیسی سنجی نمونه ارتعاشی (VSM) ۴۹

۳-۲-۱- شرح دستگاه ۵۰
۳-۲-۱- منحنی پسماند برخی نانوذرات مغناطیسی ۵۱
۳-۳- میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ۵۵
۳-۳-۱- میکروسکوپ روبشی تونلی (STM) ۵۷
۳-۳-۲- میکروسکوپ الکترونی عبوری(TEM) ۶۰
۳-۳-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ۶۳
۳-۳-۲- پراش اشعه ایکس(XRD) ۶۶
فصل چهارم. تولید آزمایشگاهی نانوذرات مغناطیسی *Co-Fe-Mn* به روش همرسوبی ۷۰
۴-۱- سنتز نانوذرات آهن- کبالت- منگنز ۷۱
۴-۲ واکنش های انجام شده در طی آزمایش ۷۲
۴-۲-۱- واکنش های انجام شده قبل از بازپخت ۷۲
۴-۲-۲- واکنش های انجام شده هنگام عملیات بازپخت ۷۳
۴-۳- نتایج *XRD* و *SEM* نانوذرات *Co- Fe-Mn* ۷۳
۴-۴- نتایج مغناطیس سنجی ۷۸
۴-۴-۱- بررسی دقیق ویژگیهای مغناطیسی نانوذرات تولیدی ۸۰
۴-۴-۲- تفسیر منحنی پسماند نانوذرات تولیدی ۸۲
۴-۴-۳- مقایسه با ترکیبات سه ذره‌ای ۸۵
۵- فصل پنجم. نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۰
۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۰
۵-۲- پیشنهادات ۹۱
منابع ۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل۱-۱ انواع نانو مواد	۳
شکل ۱-۲ طرح‌واره‌ای از آسیاب ارتعاشی	۱۰
شکل ۱-۳ طرح‌واره فرایند همرسوبی	۱۲
شکل۲-۱ طرح‌واره حلقه پسماند	۱۹
شکل۲-۲ ماده دیامغناطیس در میدان مغناطیسی	۲۰
شکل۲-۳ مقایسه دوقطبی‌های مغناطیسی در میدان خارجی:.(a) مواد دیامغناطیس، (b) مواد پارامغناطیس	۲۱
شکل۲-۴ مقایسه منحنی مغناطش ماده پارامغناطیس و دیامغناطیس در میدان مغناطیسی خارجی	۲۲
شکل ۲-۵ مقایسه منحنی پسماند ماده پارامغناطیس و سوپرپارامغناطیس	۲۳
شکل۲-۶ چگونگی تغییر حوزه‌های ماده فرومغناطیس با اعمال میدان مغناطیسی خارجی	۲۴
شکل۲-۷ مقایسه منحنی مغناطش مواد فرومغناطیس،دیامغناطیس و پارامغناطیس در میدان مغناطیسی خارجی	۲۵
شکل۲-۸ مقایسه جهت اسپین‌ها درمواد مغناطیسی مختلف	۲۶
شکل۲-۹ تغییر خواص مغناطیسی نانوذره فرومغناطیسی با تغییر اندازه	۲۸
شکل ۲-۱۰ دیواره های بلوخ مرز بین حوزه های مغناطیسی	۲۹
شکل۲-۱۱ مقایسه ساختارهای BCC, FCC وHCP	۳۰
شکل ۲-۱۲ ساختار کلی اسپینل ها	۳۴
شکل ۲-۱۳ طرح‌واره برآیند ممان های مغناطیسی یونهای آهن در مگنتیت	۳۴
شکل ۲-۱۴ ساختار CoO	۳۶
شکل ۲-۱۵ طرح‌واره ساختار MnO_2	۳۸

شکل ۲-۱۶. نانوذرات $CoFe2O4$ بصورت پوسته‌ای روی هسته نانوذرات $MnFe2O4$ پوشیده شده اند. ۴۰

شکل ۲-۱۷ منحنی های پسماند برای نانوذرات مغناطیسی هسته- پوسته‌ای ۴۱

شکل ۲-۱۸ منحنی تغییرات دما نسبت به زمان برای نانوذره مغناطیسی ، تحت تابش الکترومغناطیس ۴۳

شکل ۲-۱۹ منحنی تغییرات دما نسبت به فاصله برای نانوذره مغناطیسی، تحت تابش الکترومغناطیس ۴۳

شکل ۲-۲۰ رابطه انرژی فعالسازی با حضور و عدم حضور کاتالیست ۴۵

شکل۳-۱ طرحواره دستگاه VSM ۵۱

شکل۳-۲ منحنی پسماند نانوذرات ۵۰ نانومتری $\gamma - Fe_2O_3$ در دمای اتاق ۵۲

شکل۳-۳ منحنی پسماند نانوذرات $\alpha - Fe_2O_3$ با اندازه نزدیک به نانوذرات مورد تحقیق ۵۳

شکل۳-۴ منحنی های پسماند درصدهای جرمی متفاوت برای نانوذرات مغناطیسی سه ذره‌ای $Fe\text{-}Co\text{-}Ni$ ۵۵

شکل ۳-۵ منحنی های پسماند برای: الف: $Fe_{38}Co_{39}Ni_{28}$ ، ب:، $Fe_{25}Co_{62}Ni_{13}$، ج: $Fe_{69}Co_{22}Ni_{9}$، د: $Fe_{40}Co_{36}Ni_{24}$ ۵۵

شکل ۳-۶ طرحواره اساس کار میکروسکپ نیروی اتمی ۵۶

شکل۳-۷ نیروی وارد بر نوک بر حسب فاصله نوک از سطح ۵۷

شکل۳-۸ اجزای اصلی و اصول عملکرد دستگاه STM ۵۹

شکل۳-۹ طرحواره میکروسکوپ الکترونی عبوری ۶۰

شکل ۳-۱۰ مسیر پرتوها در تصویربرداری معمولی ۶۲

شکل ۳- ۱۱ طرحواره میکروسکوپ SEM ۶۳

شکل ۳-۱۲ تصویر SEM از نانوذرات طلا با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰۰ ۶۶

شکل ۳-۱۳ پراش پرتو X توسط یک بلور ۶۷

شکل۳-۱۴ تصویر هندسی دوربین پودری دبای- شرر ۶۷

شکل۳-۱۵طرح‌واره ای از یک طیف XRD ۶۹

شکل ۳-۱۶ پهنای پیک در نصف ارتفاع ماکزیمم ۷۰

شکل ۴-۱ طرح‌واره روش همرسوبی (بکار رفته در این تحقیق) ۷۲

شکل ۴-۲ طیف *XRD*، نام وترکیبات تولید شده در عمل بازپخت ۷۴

شکل ۴-۳ نمایش قله ها و صفحات مربوطه ۷۵

شکل ۴-۴ تصویر SEM نانوذرات سنتز شده در این تحقیق پس از فرآیند بازپخت با بزرگنمایی ۵۰۰۰ ۷۷

شکل ۴-۵ تصویر SEM نانوذرات سنتز شده در این تحقیق پس از فرآیند بازپخت با بزرگنمایی ۵۰۰۰۰ ۷۷

شکل ۴-۶ منحنی پسماند نانوذرات تولید شده در این تحقیق پس از عملیات بازپخت ۷۹

شکل ۴-۷ الف : منحنی پسماند قبل از اضافه شدن ترکیب آنتی فرومغناطیس ب : منحنی پسماند بعد از اضافه شدن ترکیب آنتی فرومغناطیس ۸۳

شکل۴-۸ مغناطش اشباع، مغناطش باقیماتده و بازدارندگی مغناطیسی برای نانوذرات این تحقیق ۸۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول۲-۱ مقایسه روابط اصلی مغناطیس در دستگاههای CGS و SI	۱۷
جدول۲-۲ مقایسه‌ای از رفتار مغناطیسی برخی فلزات	۲۷
جدول ۲-۳ اطلاعات اوّلیه سه فلز آهن، کبالت و منگنز	۳۱
جدول۲-۴ مقایسه مگنتون بوهر های یونها معمول در ساختار فریتها	۳۵
جدول ۴-۱ اندازه نانوذرات برای شش قله با استفاده از فرمول شرر	۷۶
جدول ۴-۲ اطلاعات اصلی منحنی پسماند در این تحقیق	۷۹

فصل اول

نانومواد و روش‌های تولید آنها

فصل اول

نانو مواد و روش‌های تولید آنها

۱-۱- مقدمه

بطور ساده نانوفناوری ، یعنی تکنولوژی‌هایی که در ابعاد نانومتری عمل می‌کنند. از آنجا که اندازه اتم‌ها و مولکول‌ها درون همین محدوده قرار دارند، بنابراین درصورت ورود به این محدوده می‌توان در نحوه آرایش اتم‌ها و مولکول‌ها دخالت کرد وحتی مواد جدیدی تولید کرد. فیزیکدان بزرگ معاصر،ریچارد فاینمن[1]، کوچک‌سازی‌هایی را در الکترونیک پیشگویی کرده بود. در دو دهه اخیر، پیشرفت‌های فناوری وسایل و مواد با ابعاد بسیار کوچک به دست آمده است و با این سرعت در پیشرفتی که دارد می‌تواند تمدن بشر را دگرگون کند. این بدان معناست که فناوری و وسایل اندازه گیری به سمت کوچکتر شدن پیش خواهند رفت. اکنون در آزمایشگاه فرآیندهایی در اندازه چندین مولکول قابل طراحی و ایجاد هستند. این شامل تغییر در تمام خواص مکانیکی، شیمیایی، مغناطیسی و... در ابعاد نانو می‌شود[۱].

نانو مواد به موادی گفته می‌شود که در یک بعد و یا چند بعد در محدوده یک تا صد نانومتر باشند. فناوری درچند دهه گذشته در ریزتر کردن مواد بزرگتر قدم برداشته است، این در حالیست که فناوری جدید مسیری عکس را سپری می‌کند، یعنی مواد ریز را ترکیب می‌کند تا دانه‌های بزرگتر به وجود آورد.

یکی از مهمترین زمینه‌های کاری و تحقیقی نانوذرات، بخش پزشکی و سیستم توزیع دارو در بافت‌های موجودات زنده از جمله انسان است. همانطور که می‌دانیم در حال حاضر مصرف دارو به صورت حجمی است و این در حالی است که سلول های مشخصی در بدن نیازمند دارو هستند ، لذا می‌توان با وسایل و روش‌های دارورسانی جدیدی مستقیما دارو را به سلول‌های بیمار رسانید. در این مورد خاص از نانو ذرات مغناطیسی به فراوانی استفاده می‌شود.

---

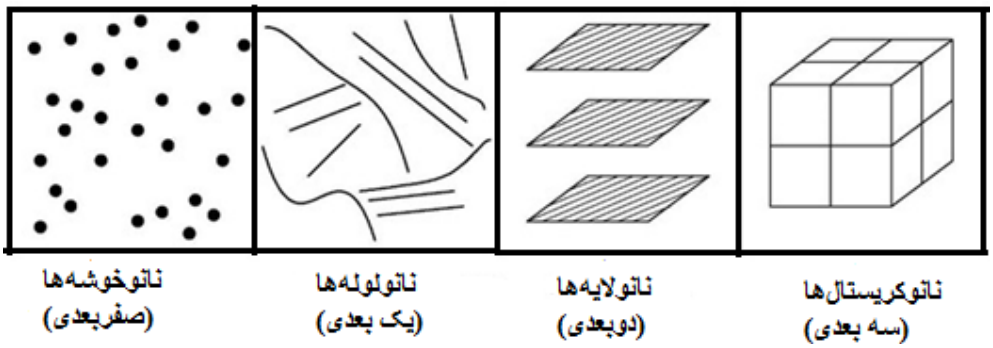
1. Richard Feynman

در بقیه زمینه‌ها نیز این فناوری به فرصتی بزرگ برای ساخت وتولید مواد جدید بدل شده است. مثلا، به لحاظ کاربردهای زیاد این فناوری گرایش زیادی به تحقیق و توسعه در بخش دفاعی کشورها صورت گرفته است. لذا محققین و تولیدکنندگان ایرانی باید در بسیجی همگانی، و با یک برنامه‌ریزی علمی و عملی، در جهت پیشرفت در عرصه قدم بردارند[۱].

۱-۲- تقسیم بندی نانو مواد بر اساس ابعاد

کلی‌ترین و ساده‌ترین تقسیم بندی نانو مواد می‌باشد که در آن نانومواد به چهار گروه بزرگ صفربعدی، یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی تقسیم می‌شوند.

- ✓ نانومواد صفر بعدی: نانو موادی که در هیچ راستا اندازه آنها به یک نانومتر نمی رسد، مانند نانوذرات.
- ✓ نانومواد یک بعدی: فقط در این گروه موادی قرار دارندکه در یک بعد دارای اندازه‌های در حدود از واحد نانومتری هستند. مثل فیبرهای نانومتری که فقط در یک جهت دارای ابعادی حدود چند نانومتر هستند.



شکل ۱-۱ انواع نانومواد [۲].

- ✓ نانومواد دو بعدی: نانومواد این گروه در دو بعد دارای ابعاد در حدود نانو هستند. مثل موادی که دارای لایه‌هایی با ضخامت نانومتری می‌باشد.
- ✓ نانومواد سه بعدی: دارای ابعاد در حدود نانو در هر سه بعد هستند[۲].

۱-۳- متداولترین نانو ذرات

۱-۳-۱- نانوذرات فلزی :

یکی از بزرگترین و پرکاربردترین گروه نانومواد، نانوذرات فلزی هستند. این شاخه از نانومواد کاربردهای بسیاری در فیزیک ،شیمی، مهندسی و غیره دارند. نانوذرات فلزی یا اکسید فلزی می‌توانند اندازهٔ یکسانی در هر سه بعد، از چند نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر، داشته باشند. این ذرات در هوا معلق نبوده و به وسیله نیروی الکتروستاتیک به یکدیگر چسبیده و به صورت پودر ریزی هستند.

افزایش سطح، افزایش واکنش‌پذیری نانوذرات را در پی دارد، زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های سطحی در مقایسه با تعداد اتم‌های موجود درکل نمونه افزایش یافته است، به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به کلوخه‌ای‌شدن دارند[۴].

مثلا نانوذرات فلزی، با قرار گرفتن در معرض هوا، به سرعت اکسید می‌شوند. محققین برای حفظ خواص اولیه نانوذرات، جهت پیشگیری از اکسایش، یک پایدارکننده را به آنها اضافه می‌کنند، که باعث می‌شود نانوذرات فلزی در برابر سایش، خوردگی و غیره مقاوم باشند. از طرف دیگر خاصیت افزایش واکنش‌پذیری مزایایی دارد؛ زیرا می‌تواند، عاملی کلیدی در کاتالیزوها و ساختارهایی همچون الکترودها می‌باشد. به عنوان مثال با کمک این ویژگی می‌توان کارایی کاتالیزگرهای شیمیایی را ارتقا داد و یا در ترکیب نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از این نانوذرات می‌توان، پیوندهای شیمیایی قویتری بین ماده اصلی و ذرات برقرار کرد و استحکام نانوکامپوزیت را به شدت افزایش داد.

تغییر در فاصله بین اتم‌های ذرات و نسبت سطح به حجم بالا در نانوذرات، تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. این امر در خواص ترمودینامیکی (مثل نقطه ذوب)، فیزیکی، مغناطیسی وغیره ماده تأثیر گذار است[۵].

۱-۳-۲- نانوکامپوزیتهای فلزی

نانوکامپوزیت‌های فلزی از ترکیب نانوذرات فلزی با پلیمر بدست می‌آیند. این مواد، به دلیل مقاومتی در مقابل تداخل الکترومغناطیسی به وجود می‌آورند، می‌توانند در رایانه‌ها و تجهیزات الکترونیکی کاربرد داشته باشند. همچنین نانوکامپوزیت‌های فلزی هدایت گرمایی والکتریکی مواد را افزایش می‌دهند، که کارآیی را افزایش می‌دهد[۳].

۱-۳-۳- نانوذرات نیمه‌رسانا

نقاط کوانتومی متشکل از یک ناحیه از بلور نیمه‌رسانا است که الکترون‌ها، حفرها را درسه بعد در برمی‌گیرد. این ناحیه از چند نانومتر تا چند صد نانومتر را شامل می‌شود. در مقایسه با سیم کوانتمی که در دو بعد و لایه‌های کوانتومی که در یک بعد نانو هستند نقاط کوانتومی نانوساختارهای سه بعدی هستند. این ترکیبات با بازده کوانتومی بالا در اپتیک کاربرد فراوانی دارند[۳].

نقاط کوانتمی می‌توانند در موارد زیر کاربرد داشته باشند:

- ✓ لیزرهای دارای طول موج‌های بسیار دقیق
- ✓ کامپیوترهای کوانتومی
- ✓ نشانگرهای زیستی

۱-۳-۴- نانوذرات سرامیکی

معروفترین نانوذرات، نانوذرات سرامیکی هستند که شامل نانوذرات سرامیکی اکسید فلزی و نانوذرات سیلیکاتی، (سیلیکات‌ها یا اکسیدهای سیلیکون)، هستند. نانوذرات سرامیکی اکسید فلزی نظیر اکسید تیتانیوم (TiO_2)، اکسید روی (ZnO)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) و اکسید آهن (Fe_2O_3 و Fe_3O_4) هستند. نانوذرات سرامیکی فلزی یا اکسید فلزی تمایل دارند اندازه یکسانی در هر سه بعد، داشته باشند. نانوذرات سیلیکاتی ذراتی با قطری در حدود ۱ نانومتر و پهنای ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر هستند[۱].

۱-۳-۵- نانولوله های کربنی

نانولوله‌های کربنی از جمله نانومواد مهم هستند. این بسته از نانومواد نیز دارای انواع متفاوت هستند. نانولولۀ کربنی که شامل فقط یک لوله از گرافیت باشد را نانولولۀ تک دیواره و چنانچه شامل تعدادی از لوله‌های متحدالمرکز باشد نانولولۀ چند دیواره می نامند. با کشف نانولوله های چنددیواره ای در سال ۱۹۹۱، فعالیت های تحقیقاتی گسترده‌ای در نانوساختارهای کربنی و کاربردهای آنها اتفاق افتاد. علت شروع و ادامه این تحقیقات ، اندازۀ کوچک، چگالی کم و استحکام بالای آنهاست. در نانولوله‌های کربنی ممکن است به طور گسترده در تقویت مواد، صفحه نمایش مسطح با انتشار میدانی، حسگرهای شیمیایی، دارورسانی و علم نانوالکترونیک و غیره کاربرد یابد[۱]. نانولوله‌های کربنی تک دیواره به میزان قابل توجهی سخت و قوی بوده و

هادی جریان الکتریسیته می‌باشند و گرما را نیز هدایت می‌کنند که این خواص سبب استفاده از این مواد در صنعت الکترونیک شده است[۵]. پیشرفت‌های متوالی در توسعهٔ وسایل و مدارهایی در مقیاس نانومتر که در آنها از نانولوله‌های کربنی تک دیواره استفاده شده است، نشان دهندهٔ عملکردهای منطقی و تقویت قابل توجیه آنها است. همچنین نانولوله‌های کربنی تک دیواره جهت کاربرد در ذخیره کننده‌ها با بازده بالا هم جهت به کارگیری در منابع قدرت در مقیاس نانومتری و هم برای ذخیره سازی هیدروژن جهت کاربرد در پیل‌های سوختی مورد بررسی قرار گرفته اند[۶].

۱-۴- تعریف جدید برای نانو ذرات

تعریف جدید کمیتی به نام مساحت سطح مخصوص حجمی را پیشنهاد می‌کند و بر خلاف تعاریف قبلی به خواص، واکنش‌ها یا آثار فیزیکی و شیمیایی نانومواد ارتباط ندارد. طبق این تعریف، نانومواد موادی هستند که مساحت سطح ویژه حجمی[۱](VSSA) آنها مساوی یا بیشتر از ۶۰ مترمربع بر سانتی‌متر مکعب باشد[۵]

۶۰ مترمربع بر سانتی متر مکعب≤ مساحت سطح ویژه حجمی

۱-۵- روش‌های تولید نانوذرات

برای تولید نانو ذرات راه‌های فراوانی وجود دارد. امکان کاهش و کنترل اندازه و ابعاد نانوساختارها و ارتقای ویژگی‌های مواد و عملکرد دستگاه‌ها، سرعت وحداقل مصرف انرژی و... مواردی است که حین تولید نانوماده باید مد نظر قرار گیرد. فرآیند صنعتی، باید کم هزینه و شامل عملیات پیوسته و سرعت تولید بالا باشد. در اینجا نیز روش‌های تولید، تقسیم بندی متفاوت دارند. به عنوان مثال اساس تقسیم بندی می‌تواند بر اساس نوع فرایندتولید، محیط تولید وغیره باشد. به عنوان مثال روش‌های بالا به پایین[۲] و پایین به بالا و نیز روش‌های شیمیایی و فیزیکی تولید نانوذرات از جمله تقسیم‌بندی‌های این حیطه هستند. برخی روش‌ها نیز با نام فرآیندهای مکانیکی- شیمیایی خوانده می‌شود[۷].

در ارتباط با نانوذرات مغناطیسی به دلیل آنکه ویژگی‌های مغناطیسی مواد مغناطیسی، با کوچک شدن اندازه آنها و رسیدن به چند یا چندین نانومتر، تابع اندازه ذرات می‌شود، اندازه این نانوذرات دارای اهمیت فراوانی

---

1. Volume Specific Surface Area(VSSA)
2. Top - down

است. همچنین دمای محلول، فرآیند ساخت و غیره دارای اهمیت است. روش همرسوبی برای تولید نانوذرات فریت در مقیاس کلان در مقایسه با روش‌های دیگر از کنترل اندازه و توزیع اندازه نسبتاً خوبی برخوردار است. تهیه نانوبلورک‌های فریت‌های کبالت-روی با اندازه بلورک‌هایی کمتر از ۱۰ نانومتر و با توزیع اندازه ذرات همگن به گونه‌ای که بتواند فاز فریت مورد نظر را به‌طور کامل تشکیل دهد، نیاز به پخت برای تشکیل فاز را برطرف کرده، بنابراین کاهش هزینه‌های تولید را به دنبال داشته است. این دسته مواد، توانایی کاربرد در شاره‌های مغناطیسی، دستگاه‌های ذخیره‌کننده اطلاعات و تشخیص و درمان پزشکی را دارند. شاره‌های مغناطیسی موادی هستند که دررسانش دارویی و تصویربرداری پزشکی کاربرد دارند[۸].

۱-۵-۱- تولید بالا به پایین و پایین به بالا

از روش‌های ساخت مواد در مقیاس نانو می‌توان به دو روش "بالا به پایین" و روش "پایین به بالا" نام برد. روش "بالا به پایین" اولین بار توسط فایمن به عنوان روشی برای ساخت ذرات در ابعاد نانو می‌باشد. در این روش نانو ذرات با استفاده از دستگاه‌ها و روش‌های مکانیکی مانند: تراشیدن، آسیاب کردن و غیره از توده مواد با ابعاد بزرگتر تولید می‌شود. روش پایین به بالا درست در جهت مخالف روش قبلی است که در این روش مواد نانو با استفاده از به هم پیوستن واحدهای بنیادی سازنده و قرار دادن آنها کنار هم ایجاد می‌شوند. این روش اولین بار توسط درکسلر[1] ارائه گردید. این روش با روش تولید بالا به پایین بسیار متفاوت است زیرا در روش بالا به پایین حجم بسیار زیادی از مواد زاید حاصل از تراش دور ریخته می‌شود ولی روش پایین به بالا ضایعات کمتری دارد و زمان و انرژی لازم در آن نیز کمتر است. علاوه بر این، استحکام ماده تولیدی نیز به علت ایجاد پیوندهای قویتر بین ذرات تشکیل دهنده بالا می‌رود.

روش بالا به پایین به معنای کاهش اندازه تا کمترین حد یعنی تا ابعاد نانو می‌باشد. این روش در اساس مستلزم کوچک‌سازی چیزهای بزرگتر و رسیدن به ابعاد نانو می‌باشد. به عنوان یکی از کاربردهای اولیه این روش می‌توان به توسعه نانوفوتونیک، ارتباط الکترونیک و فوتونیک در مقیاس نانو اشاره کرد .

البته محدودیت‌های فیزیکی برای این روش وجود دارد. مثلاً هرگاه ابعاد مواد به مقیاس اتمی نزدیک شود، نیروها و عکس‌العمل‌های بین مولکولهای منفرد آشکار می‌شود و مشکلات جدیدی را تولید می‌کند. روش پایین

1. Drexler