

فهرست

فصل اول: مقدمه‌ای بر فناوری نانو

- ۱) نانو تکنولوژی ۱
- ۱-۱) مقدمه ۱
- ۲-۱) تاریخچه فناوری نانو ۱
- ۳-۱) تعریف فناوری نانو ۲
- ۴-۱) عناصر پایه ۲
- ۱-۴-۱) عناصر پایه صفر بعدی: ۲
- ۲-۴-۱) عناصر پایه تک بعدی: ۳
- ۳-۴-۱) عناصر پایه دو بعدی: ۴
- ۵-۱) کاربردها ۴

فصل دوم: نانوذرات و نانوسیالات

- ۲) نانوذره ۵
- ۱-۲) تعریف ۵
- ۲-۱-۱) نقاط کوانتومی ۵
- ۲-۲) خواص نانوذرات ۶
- ۳-۲) روش‌های کلی ساخت نانوذرات ۷
- ۴-۲) شیوه‌های متداول ساخت نانوذرات در روش پایین به بالا ۷
- ۲-۴-۱) سل ژل ۷
- ۲-۴-۲) الکترو انباشت ۸

۸	..... شيوه‌های متداول ساخت نانوذرات در روش بالا به پايين
۸	..... چگالش بخار (۱-۵-۲)
۹	..... سيم انفجاری (۱-۱-۵-۲)
۹	..... تبخير با ليزر (گداخت ليزری) (۲-۱-۵-۲)
۱۰	..... روش قوس‌الکتریکي در توليد نانوذرات (۳-۱-۵-۲)
۱۰	..... آسیاب نمونه‌های توده‌ای (۲-۵-۲)
۱۱	..... فرآيندهای فوق بحرانی (SCF) (۳-۵-۲)
۱۱	..... روش‌های سنجش نانوذرات (۶-۲)
۱۲	..... اساس کار میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی (SEM) (۱-۶-۲)
۱۳	..... تکنیک فتولومينسانس (۲-۶-۲)
۱۴	..... نانو سيالات (۷-۲)
۱۵	..... تعريف نانوسيالات (۱-۷-۲)
۱۵	..... روش‌های ساخت (۲-۷-۲)

فصل سوم: توليد نانوذرات اکسیدمس و اکسیدآلومينیوم به روش قوس‌الکتریکي

۱۸	..... مقدمه (۱-۳)
۱۸	..... مواد اولیه (۲-۳)
۱۹	..... نحوه انجام آزمایش و توليد نانوذرات اکسیدفلزی (۳-۳)
۲۱	..... مشاهده روند انجام آزمایش (۴-۳)
۲۲	..... منبع تغذیه (۵-۳)
۲۳	..... تنظيم عوامل مؤثر در آزمایش (۶-۳)

۲۳	..... تنظیم جریان (۱-۶-۳)
۲۳	..... تنظیم فاصله بین الکترودها. (۲-۶-۳)
۲۴	..... تنظیم فشار. (۳-۶-۳)
۲۴	..... مشاهده فشار درون راکتور. (۱-۳-۶-۳)
۲۵	..... چگونگی تغییر اتمسفر درون راکتور. (۲-۳-۶-۳)
۲۶	..... جزئیات تهیه نمونه‌های اکسیدمس و اکسیدآلومینیوم. (۷-۳)
۲۹	..... جمع آوری محصول و آماده‌سازی نمونه جهت تصویربرداری SEM. (۸-۳)
۳۰	..... روش‌های بررسی نمونه‌ها. (۹-۳)
۳۰	..... شناسایی محصول از طریق الگوی پراش XRD. (۱-۹-۳)
۳۱	..... آنالیز EDX. (۲-۹-۳)
۳۳	..... آشنایی با میکروسکوپ‌های الکترونی (SEM و TEM). (۳-۹-۳)
۳۴	..... میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM). (۱-۳-۹-۳)
۳۵	..... میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM). (۲-۳-۹-۳)
۳۵	..... آماده‌سازی نمونه‌ها برای SEM. (۱۰-۳)
۳۷	..... دستگاه جذب اشعه ماوراء بنفش. (۱۱-۳)
	فصل چهارم: مطالعه و بررسی نانو ذرات اکسیدمس و اکسیدآلومینیوم تولید شده به روش قوس الکتریکی
۳۸	..... مقدمه. (۱-۴)
۳۹	..... تولید نانو ذرات اکسیدمس. (۲-۴)
۳۹	..... تولید نانو ذرات اکسیدمس در محیط هوا. (۱-۲-۴)

- ۴-۲-۱-۱) تولید نانوذرات اکسیدمس با جریان ۵۰ آمپر تحت فشار اتمسفر هوا ۴۰
- ۴-۲-۱-۲) تولید نانوذرات اکسیدمس با جریان ۲۰۰ آمپر تحت فشار ۱ اتمسفر هوا ... ۴۲
- ۴-۲-۱-۳) تولید نانوذرات اکسیدمس با جریان ۴۰۰ آمپر تحت فشار ۱ اتمسفر هوا ... ۴۴
- ۴-۲-۲) تولید نانوذرات اکسیدمس در محیط اکسیژن ۴۶
- ۴-۲-۲-۱) تولید نانوذرات اکسیدمس در محیط اکسیژن با فشار ۰/۴ اتمسفر و جریان ۱۰ آمپر ۴۷
- ۴-۲-۲-۲) تولید نانوذرات اکسیدمس در محیط اکسیژن با فشار ۱ اتمسفر و جریان ۱۰ آمپر ۵۰
- ۴-۲-۲-۳) تولید نانوذرات اکسیدمس در محیط اکسیژن با فشار ۲ اتمسفر و جریان ۱۰ آمپر ۵۲
- ۴-۲-۲-۴) تولید نانوذرات اکسیدمس در محیط اکسیژن با فشار ۲ اتمسفر و جریان ۳۰ آمپر ۵۴
- ۴-۲-۳) انجام آزمایش با الکترودهای مسی در محیط آرگون ۵۶
- ۴-۲-۴) انجام آزمایش با الکترودهای مسی در محیط ازت ۵۹
- ۴-۲-۵) تولید نانوذرات اکسیدمس در محیط آب خالص دوبار یونیزه شده ۶۱
- ۴-۳) تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم ۶۶
- ۴-۳-۱) تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم در محیط هوا ۶۶
- ۴-۳-۱-۱) تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم با جریان ۵۰ آمپر در محیط هوا ۶۷
- ۴-۳-۱-۲) تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم با جریان ۲۰۰ آمپر در محیط هوا ۶۹
- ۴-۳-۱-۳) تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم با جریان ۳۰۰ آمپر در محیط هوا ۷۱
- ۴-۳-۲) تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم در محیط اکسیژن ۷۳

اکسیژن.....	۷۳
تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم در فشار ۱ اتمسفر و جریان ۵۰ آمپر در محیط	
محیط اکسیژن.....	۷۵
تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم در فشار ۱ اتمسفر و جریان ۲۰۰ آمپر در	
محیط اکسیژن.....	۷۷
انجام آزمایش با الکترودهای آلومینیومی در محیط آرگون.....	۸۰
انجام آزمایش با الکترودهای آلومینیومی در محیط ازت.....	۸۰
تولید نانوذرات اکسیدآلومینیوم در محیط آب.....	۸۳
اثر حرارت دهی بر طیف XRD و اندازه نانوذرات اکسیدآلومینیوم.....	۸۹
بررسی اثر گذشت زمان بر اندازه نانوذرات موجود در نانوسیال اکسید آلومینیوم.....	۱۰۰
بررسی رسانش حرارتی.....	۱۰۹
نتایج بررسی رسانش حرارتی نانوسیال اکسیدآلومینیوم.....	۱۱۰
نتایج بررسی رسانش حرارتی نانوسیال اکسیدمس.....	۱۱۱
جذب فرابنفش.....	۱۱۲
بحث و نتیجه گیری.....	۱۱۷
منابع.....	۱۱۹

فصل اول:

مقدمه ای بر فناوری نانو

(۱) نانو تکنولوژی

(۱-۱) مقدمه

آنچه باعث ظهور فناوری نانو شده، نسبت بالای سطح به حجم نانومواد است. این موضوع یکی از مهمترین خصوصیات مواد با مقیاس نانو است. در مقیاس نانو، اشیاء شروع به تغییر رفتار می کنند و رفتار نانومواد بر رفتار توده ای ماده غلبه می کند. در این مقیاس برخی روابط فیزیکی که برای مواد توده ای کاربرد دارند نقض می شوند. از جمله اینکه، زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می گیرد، خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت در برابر خوردگی و... تغییر می کنند. به همین منظور تلاش برای ساخت مواد در مقیاس نانو، جهت رسیدن به خواص جدید از اولویت های محققین است [۱].

(۲-۱) تاریخچه فناوری نانو

استفاده از فناوری نانو بر خلاف تصور عمومی دارای سابقه تاریخی طولانی است. در این رابطه شواهدی مبنی بر نانو ساختاری بودن مواد وجود دارد، از جمله آنکه رومی ها از این مواد در ساخت جام هایی با رنگ های زنده استفاده کردند، به این صورت که آنها از ذرات طلا برای رنگ آمیزی این جام ها بهره می گرفتند. بعدها در قرون وسطی از این روش برای ساخت شیشه های کلیسا استفاده شد. در اوایل دهه ۱۹۴۰ ذرات نانومتری تبخیر و ته نشین شده ی سیلیکا ساخته شد و به عنوان جایگزینی برای ذرات ریز کربن سیاه برای مقاوم سازی لاستیک به مصرف رسید. اما به نظر می رسد اولین جرقه های کشف فناوری نانو در سال ۱۹۵۹ زده شد. در این سال ریچارد فاینمن طی یک سخنرانی در همایش جامعه فیزیک آمریکا در مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا در زمینه کوچک سازی نوشتجات، مدارها و ماشین ها با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح ساخت و گفت: "آنچه من می خواهم به شما بگویم، مسئله دستکاری و کنترل اشیاء در مقیاس کوچک است. تردیدی وجود ندارد که در نوک یک سوزن آنقدر جا هست

که بتوان تمام دایرةالمعارف بریتانیا را در آن جا داد". امروزه فناوری نانو به سرعت در حال گسترش است و امکان اداره قابلیت‌های مکانیکی، کاتالیزوری، الکتریکی، مغناطیسی، نوری، ذخیره‌سازی اطلاعات و... را فراهم می‌کند [۲].

۱-۳) تعریف فناوری نانو

نانوفناوری واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. یک نانومتر یک هزارم میکرون است و اگر بخواهیم احساس فیزیکی نسبت به آن داشته باشیم می‌توان گفت که یک نانومتر $1/800000$ قطر موی انسان می‌باشد

واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷۴ بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که تلرانس^۱ ابعادی آنها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد.

۱-۴) عناصر پایه

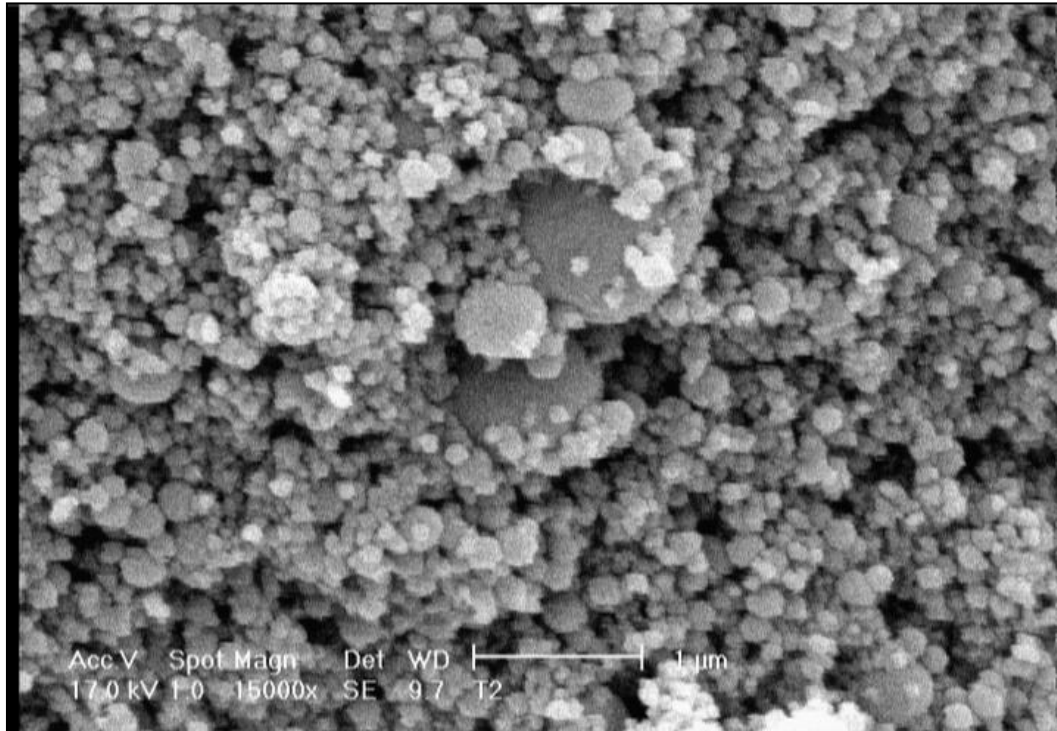
اگر بخواهیم تفاوت فناوری نانو را با فناوری‌های دیگر به صورت قابل ارزیابی بیان نماییم، می‌توانیم وجود عناصر پایه را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر نانومقیاسی هستند که خواص آنها در حالت نانومقیاس با خواصشان در مقیاس بزرگتر فرق می‌کند.

۱-۴-۱) عناصر پایه صفر بعدی:

اولین و مهمترین عنصر پایه، نانوذره است. منظور از نانوذره، همانگونه که از نام آن مشخص است، ذراتی با ابعاد نانومتری در هر سه بعد می‌باشد. به عبارتی اگر طول هر سه بعد یک جسم توده‌ای را به سمت صفر ببریم، به آن نانوذره گویند. شکل (۱-۱) تصویر SEM نانوذرات

^۱Tolerance

اکسید آلومینیوم را نشان می‌دهد. نانوذرات می‌توانند از مواد مختلفی تشکیل شوند، مانند نانوذرات فلزی، سرامیکی و



شکل (۱-۱): تصویر SEM نانوذرات اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) ساخته شده

به روش قوس الکتریکی در تحقیق حاضر

۱-۴-۲) عناصر پایه تک بعدی:

چنانچه طول دو بعد از ابعاد جسم حجیم (توده‌ای شکل) را به سمت صفر میل دهیم، نتیجه یک جسم تک بعدی می‌شود که آنرا نانولوله می‌نامند که با توجه به توپر یا توخالی بودن آن، به ترتیب نانوسیم یا نانولوله خوانده می‌شوند. نانولوله‌های کربنی تک‌جداره و چندجداره مثال‌هایی برای نانولوله‌ها و نانوسیم‌های اکسیدروی مثالی برای نانوسیم‌ها می‌باشند.

۱-۴-۳) عناصر پایه دو بعدی:

اگر در یک جسم توده‌ای شکل (سه بعدی)، یکی از ابعاد آنرا به سمت صفر میل دهیم، حاصل یک جسم دو بعدی خواهد شد که آنرا لایه نازک می‌نامند.

۵-۱) کاربردها

مفهوم جدید فناوری نانو آنقدر گسترده و ناشناخته است که ممکن است روی علم و تکنولوژی در مسیرهای غیرقابل پیش بینی تأثیر بگذارد. کاربرد فناوری نانو از کاربرد عناصر پایه نشأت می‌گیرد. هر کدام از این عناصر پایه، ویژگی‌های خاصی دارند که استفاده از آنها در زمینه‌های مختلف، موجب ایجاد خواص جالبی می‌گردد. از جمله کاربردهای نانوذرات می‌توان به حسگرهای شیمیایی و زیستی قابل اطمینان و دارای عمر طولانی، تصویر برداری زیستی دقیق، از بین بردن باکتری‌ها، تصفیه آب [۳]، مواد دارویی در مقیاس نانو، دارورسانی هدفمند، بانداژهای بی‌نیاز از تجدید، شناسایی زود هنگام و بی‌ضرر سلول‌های سرطانی [۴]، تجزیه آلاینده‌های محیط زیست [۵]، لاستیک‌های مقاوم در برابر سایش که از ترکیب ذرات خاک‌کرس با پلیمرها بدست آمده‌اند، شیشه‌هایی که خود به خود تمیز می‌شوند، صنایع غذایی [۶]، ذرات مغناطیسی باهوش برای پمپ‌های مکنده و روان‌سازها، هددیسک‌های لیزری و مغناطیسی که با کنترل دقیق ضخامت لایه‌ها از کیفیت بالاتری برخوردارند، چاپگرهای عالی با استفاده از نانوذرات با بهترین خواص جوهر و رنگ دانه، بهبود کارایی پیل‌های سوختی [۷] و ... اشاره کرد. این‌ها تنها مواردی از کاربردهای بسیار زیادی هستند که برای عناصر پایه قابل تصور می‌باشند.

فصل دوم:

نانوذرات و نانوسیالات

۲) نانوذره

۱-۲) تعریف

یک نانوذره، ذره‌ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. نانوذرات علاوه بر نوع فلزی، عایق‌ها و نیم‌رساناها، نانوذرات ترکیبی نظیر ساختارهای هسته‌پوسته^۱ را نیز در بر می‌گیرند. نقاط کوانتومی نیم‌رسانا نیز زیرمجموعه نانوذرات هستند. چنین نانوذراتی در کاربردهای بیودارویی به عنوان حامل دارو و عوامل تصویربرداری استفاده می‌شوند [۸].

۱-۱-۲) نقاط کوانتومی

نقاط کوانتومی یا نانو کریستال‌ها در دسته نیم‌رساناها جای می‌گیرند. نیم‌رساناها اساس صنایع الکترونیک جدید هستند و در ابزارهایی چون دیودهای نوری و رایانه‌های خانگی به کار گرفته می‌شوند.

اهمیت نیم‌رساناها در این است که رسانایی الکتریکی این مواد را می‌توان با محرک‌های خارجی مانند میدان الکتریکی یا تابش نور تغییر داد، تا حدی که از نارسانا به رسانا تبدیل شوند و مانند یک کلید عمل کنند. این خاصیت نیم‌رساناها را به یکی از اجزای حیاتی انواع مدارهای الکتریکی و ابزارهای نوری تبدیل کرده است.

نقاط کوانتومی به خاطر کوچک بودنشان دسته منحصر بفردی از نیم‌رساناها به شمار می‌روند. در این ابعاد کوچک، مواد رفتار متفاوتی دارند و این رفتار متفاوت، قابلیت‌های بی‌سابقه‌ای در کاربردهای علمی و فنی به نقاط کوانتومی می‌بخشد.

در نقاط کوانتومی امکان تغییراندازه گاف انرژی وجود دارد. الکترون‌ها در نقاط کوانتومی بازه‌ای از انرژی‌ها را دارند. مفاهیم تراز انرژی، گاف انرژی، نوار رسانش و نوار ظرفیت هم هنوز

^۱ Core Shell

معتبرند. با این حال یک تفاوت بارز وجود دارد؛ وقتی که یک الکترون به نوار رسانش برانگیخته می‌شود، به طور حقیقی، مقداری هم در ماده جابجا می‌شود. این فاصله کوچک را به احترام نیلزبور، فیزیکدان دانمارکی، شعاع بور می‌نامند. در توده ماده این جابجایی بسیار کوچکتر از ابعاد جسم است، به طوری که الکترون به راحتی می‌تواند در ماده به اندازه لازم جابجا شود، اما اگر کریستال نیم‌رسانا در حد شعاع بور کوچک باشد، دیگر قواعد توده ماده بر آن حاکم نیست. در این حالت دیگر نمی‌توان انرژی‌های مجاز را پیوسته در نظر گرفت و بین هر دو تراز انرژی، فاصله می‌افتد. تحت این شرایط ماده نیم‌رسانا، دیگر خاصیت‌های حالت توده‌ای خود را از دست می‌دهد. این اختلاف تأثیر زیادی روی شرایط جذب یا تابش نور در نیم‌رسانا دارد. اندازه گاف انرژی در نقطه کوانتومی همیشه بزرگتر از حالت توده ماده است. یعنی الکترون‌ها در برگشت، برای جهش از روی گاف باید انرژی بیشتری آزاد کنند. بنابراین، نور تابش شده هم باید طول موج کوتاه‌تری داشته باشد، یا به اصطلاح، انتقال به آبی یافته باشد. این خاصیت باعث ایجاد قابلیت تنظیم طول موج تابشی، و در واقع انتخاب رنگ دلخواه برای نقاط کوانتومی می‌گردد [۹].

۲-۲) خواص نانوذرات

با گذر از میکرو ذرات به نانوذرات، با تغییر برخی از خواص فیزیکی روبه‌رو می‌شویم که دو مورد مهم از آنها عبارتند از افزایش نسبت سطح به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی.

افزایش نسبت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه‌ی ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم‌های واقع در سطح ذره به رفتار اتم‌های درونی می‌شود. افزایش سطح، واکنش پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می‌دهد، زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده‌ی نمونه بسیار زیاد است. البته این خاصیت مزایایی هم در بر دارد. مساحت سطحی زیاد، عاملی کلیدی در کارکرد کاتالیزورها و ساختارهایی همچون الکترودها می‌باشد. به عنوان مثال با استفاده از این خاصیت می‌توان کارایی کاتالیزورهای

شیمیایی را به نحو مؤثری بهبود بخشید و یا در تولید نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از این ذرات، پیوندهای شیمیایی مستحکم‌تری بین ماده زمینه و ذرات برقرار شده و استحکام آن به شدت افزایش می‌یابد.

وقتی ذرات به اندازه کافی کوچک شوند، شروع به رفتار مکانیک کوانتومی می‌کنند. مواد در مقیاس نانو، رفتار کاملاً متفاوت، نامنظم و کنترل نشده‌ای از خود بروز می‌دهند. با کوچکتر شدن ذرات، خواص نیز تغییر خواهند کرد، مثلاً فلزات سخت‌تر و سرامیک‌ها نرم‌تر می‌شوند [۱۰].

۳-۲) روش‌های کلی ساخت نانوذرات

در نانو تکنولوژی دو روش پایین به بالا و بالا به پایین، برای ساخت محصولات نانومتری استفاده می‌شود.

منظور از روش پایین به بالا چینه‌اشی (bottom-up) است، مولکول به مولکول از یک ماده کنار هم به جهت ایجاد و ساخت مواد جدید نانومتری است. در این روش که خود شامل شیوه‌های مختلف تولید است، مواد جدید با جنبش اتمی خاص و منحصر به فرد می‌توانند ساخته شوند.

روش دیگری برای تولید نانومواد و محصولات در اندازه‌های نانو، رسیدن به اندازه و ابعاد نانو با حذف، تراش یا خرد کردن مواد بزرگتر است. در این روش برای رسیدن به نانو مواد باید ذرات و ترکیبات بزرگتر ماده را با استفاده از روش‌های متداول، مانند خرد کردن در چند مرحله به مواد در مقیاس نانومتری تبدیل کرد [۱۱].

۴-۲) شیوه‌های متداول ساخت نانوذرات در روش پایین به بالا

۴-۲-۱) سل ژل^۱

عمدتاً استفاده از روش سنتز شیمیایی شامل رشد نانوذرات در یک واسط مایع، حاوی انواع واکنشگرهاست. روش سل ژل نمونه چنین روشی است. از این روش برای ایجاد نقاط

^۱ Sol Gel

کوانتومی نیز استفاده می‌شود. به طور کلی برای کنترل شکل نهایی ذرات، روش‌های شیمیایی بهتر از روش‌های چگالش بخار هستند. در روش‌های شیمیایی، اندازه نهایی ذره را می‌توان یا با توقف فرآیند در هنگامی که اندازه مطلوب بدست آمد، یا با انتخاب مواد شیمیایی تشکیل دهنده ذرات پایدار و یا توقف رشد در یک اندازه خاص کنترل نمود. این روش‌ها معمولاً کم‌هزینه و پرحجم هستند [۱۲].

۲-۴-۲) الکترو انباشت

الکترو انباشت روشی است که در آن از واکنش‌های اکسایش و کاهش در تولید نانومواد استفاده می‌شود. در این روش به دلیل داشتن کنترل بر واکنش‌ها بوسیله کنترل ولتاژ اعمالی و قطع جریان در زمان معین، می‌توان لایه‌های نازک اتمی روی الکترودها رسوب داد. حتی به وسیله ماسک زدن هم می‌توان نانوذرات را تولید کرد.

۲-۵) شیوه‌های متداول ساخت نانوذرات در روش بالا به پایین

۲-۵-۱) چگالش بخار

از این روش برای ایجاد نانوذرات سرامیکی فلزی و اکسید فلزی استفاده می‌شود. این روش شامل تبخیر یک فلز جامد و سپس چگالش سریع آن برای تشکیل مواد نانومتری است، که به صورت پودر ته‌نشین می‌شوند.

از روش‌های مختلفی می‌توان برای تبخیر فلز استفاده نمود. تغییر دستگاهی که امکان تبخیر را به وجود می‌آورد، طبیعت اندازه ذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در هنگام ایجاد نانوذرات فلزی برای جلوگیری از اکسیداسیون، از گازهای بی اثر همچون آرگون و هلیوم و... استفاده می‌شود، حال آنکه برای تولید نانوذرات سرامیکی اکسید فلزی از اکسیژن استفاده می‌شود. مهمترین مزیت این روش میزان کم آلودگی است. در نهایت اندازه ذره با تغییر پارامترهایی نظیر دما، فشار، محیط گاز و سرعت تبخیر کنترل می‌شود.

بطور کلی مراحل فرآیند سنتز فیزیکی بخار را می توان مشتمل بر دو بخش زیر در نظر

گرفت:

۱- انتقال ماده به فاز بخار

۲- جوانه زنی و رشد ذرات

روش های مختلف تولید نانوذرات به روش چگالش بخار در زیر تشریح خواهد شد [۱۳].

۲-۱-۵-۱) سیم انفجاری

در این روش جریان برقی با ولتاژ بالا به سیم فلزی با قطر بسیار کم اعمال می شود، در نتیجه دمای سیم بطور ناگهانی بالا می رود و باعث تبخیر سریع سیم فلزی می شود (که خود را به صورت انفجار نشان می دهد). ذرات در فضای اطراف پخش می شوند و پس از سرد شدن به صورت پودر می نشینند.

۲-۱-۵-۲) تبخیر با لیزر (گداخت لیزری)

یکی دیگر از روش های تولید فیزیکی بخار، روش گداخت لیزری می باشد. از آنجا که تبخیر حرارتی موادی با دمای ذوب بالا مشکل است، استفاده از انرژی لیزر برای تولید نانوذرات توسعه یافته است. لیزر در حقیقت پرتو تکفامی از نور می باشد، که در شعاع بسیار باریک متمرکز شده است. در صورتی که این پرتو به صورت پالسی تابیده شود، می تواند انرژی لحظه ای بسیار زیادی در حد چند مگاوات تابش کند. تحت این شرایط در اثر برخورد پرتوی لیزر به سطح اجسام، اتم های لایه بالایی گرم و تبخیر می شوند. با انتقال ماده به فاز بخار و در اثر برخورد اتم های فلز با اتم های گاز موجود در محفظه و سرد شدن آنها و نشستن اتم ها روی بدنه محفظه، رشد ذرات شروع می شود تا نانوذرات محصول، تولید شوند. این عملیات معمولاً در رآکتورهای خلا و یا حاوی گازهای بی اثر (جهت تولید نانوذرات خالص فلزی) و یا فعال مانند اکسیژن انجام می شود. در صورت استفاده از اتمسفرهای فعال، ترکیبات فلزی مانند اکسیدها و نیتrideها را می توان تولید کرد [۱۴].

۲-۵-۱-۳) روش قوس الکتریکی در تولید نانوذرات

از روش قوس الکتریکی برای تولید نانوذرات فلزی و ترکیبات فلزی می‌توان استفاده کرد. اساس کار این روش بر مبنای ایجاد قوس الکتریکی توسط یک منبع جریان بالا بین دو الکتروود فلزی، در یک راکتور حاوی یک یا چند نوع گاز و یا در محیط‌های مایع است. در این روش به وسیله یک سیستم کنترل فاصله الکتروودها، الکتروود آند به الکتروود کاتد نزدیک شده، در فاصله معینی بین الکتروودها میدان الکتریکی بسیار قوی ایجاد می‌شود که باعث یونیزه شدن گاز و یا مایع بین آند و کاتد می‌شود، به این وضعیتی که رخ می‌دهد قوس الکتریکی گویند. هنگامی که قوس الکتریکی رخ می‌دهد در محدوده بین آند و کاتد گاز یونیده با دمای بسیار بالا بوجود می‌آید که به آن پلاسما می‌گویند. هنگام تشکیل پلاسما به علت دمای بالا آند و کاتد تبخیر می‌شوند، در صورتی که درون محفظه راکتور با گاز نجیب پر شده باشد، اتم‌های تبخیر شده پس از روی هم قرار گرفتن و بهم چسبیدن، نانوذرات خالص فلزی هم‌جنس با الکتروودها را تشکیل می‌دهند. اگر فضای درون راکتور بطور خالص با گاز اکسیژن و یا چند گاز متفاوت که یکی از آنها اکسیژن باشد پر شود، نانوذرات فلزی تولید شده با اکسیژن ترکیب می‌شوند و نانوذرات اکسید فلزی می‌دهند. با تغییر فشار گازهای درون راکتور یا تغییر محیط‌های مایع و تغییر جریان ایجادکننده پلاسما، شرایط مختلف برای تشکیل نانوذرات فلزی یا اکسید فلزی ایجاد می‌شود. نانوذرات حاصل بسته به شرایط می‌توانند یک فاز خالص و یا بطور هم‌زمان فازهای مختلف یک ماده را ایجاد کنند که در بعضی موارد می‌توان با گرم کردن نمونه‌های حاصل یک فاز خاص را تقویت و دیگر فازها را تضعیف نمود [۱۵].

۲-۵-۲) آسیاب نمونه‌های توده‌ای

از روش آسیاب یا پودرکردن می‌توان برای ایجاد نانوذرات استفاده نمود. خواص نانوذرات حاصل تحت تأثیر نوع ماده آسیاب کننده، زمان آسیاب و محیط اتمسفری آن قرار می‌گیرد. از این روش می‌توان برای تولید نانوذراتی از مواد استفاده نمود که در دو روش قبلی به

آسانی تولید نمی‌شوند. آلودگی حاصل از مواد آسیاب‌کننده خود می‌تواند یک مسئله باشد که به عنوان عیب در این روش شناخته می‌شود.

۳-۵-۲) فرآیندهای فوق‌بحرانی (SCF)^۱

هرچه بازار نانوذرات در عرصه فناوری‌های پیشرفته، همچون صنعت کامپیوتر و داروسازی توسعه می‌یابد، تقاضا برای نانوذرات دارای اندازه و یا شکل تعریف شده در مقیاس انبوه و قیمت اندک افزایش می‌یابد. این روند موجب اصلاح مداوم فناوری‌های تولیدی موجود و پیشرفت روش‌های تولیدی نوین می‌گردد.

اخیراً محققان شروع به استفاده از سیالات فوق‌بحرانی به عنوان واسطه رشد نانوذرات فلزی کرده‌اند. با استفاده از این روش می‌توان محصولی با توزیع اندازه ذرات کنترل شده تولید نمود و همین امر موجب افزایش مطالعات در این زمینه شده است.

فرآیندهای فوق‌بحرانی برحسب اهداف مختلف، دارای تنوع بسیاری می‌باشند ولی همگی بر پایه استفاده از برخی خواص گازگونه نظیر نفوذ پذیری و برخی خواص مایع‌گونه نظیر دانسیته سیال فوق‌بحرانی مورد استفاده، استوارند. هریک از این فرآیندها دارای ویژگی‌های خاصی بوده و در تولید ذرات با اندازه ریز و بسیار ریز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶-۲) روش‌های سنجش نانوذرات

از چالش‌های پژوهش در حوزه علوم و فنون نانو، سنجش و تجزیه و تحلیل خواص نانوذرات می‌باشد. تعیین مشخصات نانوذرات برای کنترل و کاربرد آنها ضروری است. همانگونه که ساخت و تولید نانوذرات یک چالش مهم است، تجزیه و تحلیل و سنجش خواص آنها به مراتب مهم‌تر است. این حساسیت و اهمیت ناشی از همان اندازه بسیار کوچک این ذرات است که برای بررسی و مطالعه آنها نیاز به ابزار و تجهیزات بسیار دقیق خواهد بود.

^۱ Super Critical Process

خواص نانوذرات با استفاده از روش‌های گوناگونی نظیر میکروسکوپ‌های الکترونی SEM^۱، TEM^۲، AFM^۳، طیف‌سنجی، فوتوالکترون، FT-IR^۴ و... همچنین روش‌های تعیین اندازه و سطح ویژه ذرات سنجیده می‌شود.

از طیف‌سنجی UV^۵ برای بررسی طیف جذب و مطالعه طول موج جذب نیم‌رساناهای نانو ساختار و مقایسه آنها با طول موج جذب در حالت حجیم (توده) استفاده می‌شود.

تکنیک XRD^۶ جهت مطالعه و بررسی ساختار بلورین نانوذرات و محاسبه اندازه تقریبی ریزبلورک‌ها (با استفاده از رابطه دبی - شرر) بکار می‌رود.

برای بررسی خلوص ذرات نانو ساختار نیم‌رسانا از دستگاه XPS^۷ استفاده می‌گردد. محاسبه مقدار دقیق ناخالصی‌های آلاینده نیم‌رساناها با بکارگیری دستگاه AAS^۸ انجام می‌شود. مطالعه خواص نوری نیم‌رساناهای نانو ساختار آلاینده، با روش طیف‌سنجی PLS^۹ انجام می‌شود و بررسی تأثیر نوع و میزان ناخالصی در خصوصیات نوری از این طریق امکان پذیر است.

۲-۶-۱) اساس کار میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی (SEM)

در میکروسکوپ الکترونی روبشی، یک پرتو الکترونی تولید و به نمونه تابیده می‌شود. بعضی قسمت‌ها نظیر تفنگ الکترونی و عدسی‌های متمرکز کننده در شکل (۲-۱۶) به صورت شماتیک رسم شده است. سیستم خلاً در هر دو دستگاه مشابه است. اصولاً از SEM برای مطالعه ساختار سطح نمونه‌های حجیم استفاده می‌شود. اجزاء اصلی و حالت کاری یک SEM ساده در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

^۱ Scanning Electron Microscopy

^۲ Transmission Electron Microscopy

^۳ Atomic Force Microscopy

^۴ Fourier transform infrared spectroscopy

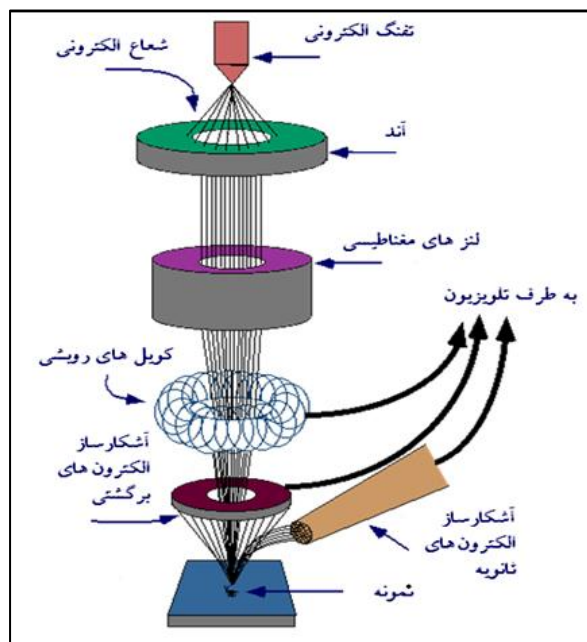
^۵ Ultra Violet

^۶ X-Ray Diffraction

^۷ X-Ray Photon Spectroscopy

^۸ Atomic Absorption Spectroscopy

^۹ Photoluminescence Spectroscopy



شکل (۲-۱): اجزاء اصلی و حالت کاری یک SEM ساده

در SEM الکترون ها به وسیله یک تفنگ الکترونی و به طور معمول بین $1-30 \text{ eV}$ شتاب داده می شوند. سپس دو یا سه عدسی متمرکز کننده پرتو الکترونی را کوچک می کنند تا حدی که در موقع برخورد با نمونه قطر آن حدوداً بین $10-2$ نانومتر شود.

در دستگاه های قدیمی تر یک پرتو الکترونی ظریف، به کمک کویل های روبشی روی سطح نمونه جاروب می شود و یک آشکارساز تعداد الکترون های ثانویه کم انرژی یا تشعشعات دیگری که از هر نقطه از سطح منتشر می شود را می شمارد. میدان روشنایی هر نقطه توسط جریان تقویت شده آشکارساز تعیین می شود. در میکروسکوپ های جدید این کار با کنترل دیجیتالی جای پرتو بر روی نمونه و نمایش تصویر بر روی مانیتور کامپیوتر انجام می شود [۱۶].

۲-۶-۲) تکنیک فتولومینسانس

فتولومینسانس، تکنیک اپتیکی بسیار قدرتمند، ساده غیر مخرب و سودمندی است که اطلاعات با ارزش از فرآیندهای بازترکیب نوری، گاف انرژی، ساختار داخلی و ناهمواری های سطوح مشترک بویژه در نانساختارهای نیم رسانا مانند چاه ها و نقاط کوانتومی را در خود نهفته