دانشگاه تربیت معلم

دانشکده علوم-گروه فیزیک

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک حالت جامد

عنوان

سنتز نانوذرات PbS وتعیین برخی از مشخصات آنها

اساتید راهنما

فرهنگ سهیلیان-محمود بهار

نگارش

عطیه بهنام

شهریور ۱۳۸۸

تقدیم به

مادر مهربانم که آئینه ی تمام نمای شور زندگیست، او که دلخوشی های امروز را مدیون تشویق های دیروز و دلواپسی های همیشگی اش هستم؛

پدر عزیزم که مفهوم بی دریغ مهربانی و صداقت است، او که وسعت افق های پیش رویم از پس نگاه های بلندش روشن می شود؛

و همسر عزیزم به پاس مهربانی، همدلی و همراهیش.

تقدیر

ستایش خدایی را که اول و آخر وجود است ، بی آنکه اولی بر او پیشی گیرد و یا آخری پس از او باشد.

با سپاس از :

اساتید راهنمای ارجمندم ، آقای دکتر بهار که افتخار شاگردی ایشان همواره با من است و بضاعت علمی خود را وامدار ایشانم که مشتاقانه مرا هدایت کردند و آقای دکتر سهیلیان که سهم بزرگی در پیشبرد این تحقیق داشتند؛

آقای دکتر خسروی و آقای دکتر کنجوری که قبول زحمت کرده و داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند؛

مدیر محترم گروه فیزیک آقای شیخ‌الاسلامی و اساتید محترم گروه فیزیک که در طول دوره‌ی کارشناسی ارشد از رهنمودهای پربارشان بهره‌مند شدم؛

و تمامی دوستان و عزیزانی که به هر نحو مرا یاری داده‌اند.

چکیده

در این پایان‌نامه نانوذرات سولفید سرب به روش شیمیایی مرطوب و با استفاده از عوامل مهارکننده‌ی مرکاپتواتانول و پلی وینیل الکل تهیه شدند. در مورد مرکاپتواتانول ، با افزایش غلظت مهارکننده ، در طیف جذبی نانوذره‌ها جابه‌جایی نسبتاً بزرگی به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر مشاهده می‌شود که نشان دهنده‌ی بزرگ شدن گاف انرژی و کوچک شدن ابعاد ذره-هاست. با استفاده از پراش پرتو X ، ابعاد این ذره‌ها محاسبه و بلوری شدن آنها تأیید می‌شود. تصاویر SEM و TEM نیز ابعاد نانوذرات و کروی بودن آنها را تأیید می‌کنند و آنالیز XRF خلوص بالایی را برای این نانوذره‌ها نشان می‌دهد.

استفاده از پلی وینیل الکل نیز باعث تولید ذرات سولفید سرب در ابعاد نانو می‌شود و در این مورد استفاده از مواد اولیه با غلظت کمتر نتیجه‌ی بهتری دارد. آنالیزهای UV-VIS و XRD این نتایج را تأیید می‌کنند.

فهرست مطالب

فصل اول : نانوذرات نیمرسانا ۹

۱-۱ مقدمه ۱۰

۱-۲ تاریخچه ۱۰

۱-۳ فناوری نانو ۱۲

۱-۴ نانوساختارها ۱۳

۱-۴-۱ نقاط کوانتومی ۱۳

۱-۴-۲ سیم‌های کوانتومی ۱۴

۱-۴-۳ لایه‌های کوانتومی ۱۵

۱-۵ روش‌های تولید نانوذرات ۱۵

۱-۵-۱ خرد کردن و کار مکانیکی ۱۵

۱-۵-۲ سنتز به روش شیمی مرطوب ۱۷

۱-۵-۲-۱ سل-ژل ۱۷

۱-۵-۲-۲ واکنش‌های جامد- مایع ۱۸

۱-۵-۳ سنتز از فاز گاز ۱۸

۱-۵-۳-۱ سنتز از فاز گاز در کوره ۱۹

۱-۵-۳-۲ فرآیند چگالش از گاز ۲۱

۱-۵-۴ چگالش بخارات شیمیایی ۲۲

۱-۶ ویژگی‌های نانوذرات ۲۳

۱-۶-۱ افزایش سطح ۲۳

۱-۶-۲ رفتار مکانیک کوانتومی ۲۴

۱-۶-۳ خواص مغناطیسی ۲۴

۱-۷ کاربردهای فناوری نانو ۲۵

۱-۸ نانوذرات نیمرسانا ۲۵

۱-۸-۱ نیمرساناهای گاف مستقیم و غیر مستقیم ۲۸

۱-۸-۲ اثر محدودیت اندازه ۳۱

۱-۸-۳ گاف انرژی ۳۳

۱-۸-۴ تقریب جرم مؤثر ۳۴

فصل دوم : ویژگی‌های سولفید سرب ۳۸

۲-۱ معرفی سولفید سرب ۳۹

۲-۲ اهمیت نمک‌های سرب در نانوتکنولوژی ۴۲

۲-۲-۱ حالت‌های الکتریکی ۴۴

۲-۲-۲ بستگی دمایی گاف انرژی ۴۶

۲-۳ کاربردهای نانوذرات PbS ۴۸

۲-۴ سنتز نانوذرات PbS ۴۹

۲-۴-۱ روش شیمیایی مرطوب با استفاده از عامل مهارکننده ۵۰

۲-۴-۲ روش شیمیایی برای تولید نانوذره‌های PbS در دمای اتاق ۵۰

۲-۴-۳ سنتز نانوذرات PbS به روش C.B.D ۵۱

۲-۴-۴ سنتز ذرات PbS در پلیمر سه بلوکه‌ی PEO-PPO-PEO ..۵۲

۲-۴-۵ تولید نانوذرات PbS با استفاده از موج مایکروویو ۵۴

۲-۴-۶ سنتز نانوذرات PbS توسط PVA ۵۵

۲-۴-۷ سنتز نانوکامپوزیت PbS/PVA ۵۷

۲-۴-۸ سنتز نقطه‌های کوانتومی PbS در محلول کلوئیدی ۵۸

فصل سوم : سنتز نانوذرات سولفید سرب توسط عوامل مهارکننده ۶۰

۳-۱ مقدمه ۶۱

۳-۲ سنتز نانوذرات PbS توسط مرکاپتواتانول ۶۱

۳-۲-۱ انتخاب و محاسبه‌ی غلظت مواد اولیه ۶۴

۳-۲-۲ نحوه‌ی قرار گرفتن مواد در ظروف ۶۶

۳-۲-۳ زمان انجام واکنش ۶۸

۳-۲-۴ تعیین اندازه‌ی آهنربای مغناطیسی مورد استفاده ۶۸

۳-۲-۵ بررسی دمای انجام آزمایش ۶۹

۳-۲-۶ انتخاب حلال مناسب ۶۹

۳-۲-۷ انجام آزمایش نهایی ۷۱

۳-۳ سنتز نانوذرات PbS توسط پلی وینیل الکل ۷۱
۳-۳-۱ روش انجام آزمایش ۷۳

فصل چهارم : طیف سنجی ذرات نانو ۷۵
۴-۱ مقدمه ۷۶
۴-۲ طیف سنجی فرابنفش-مرئی ۷۶
۴-۳ طیف سنج پراش پرتوX ۸۱
۴-۳-۱ قانون براگ ۸۲
۴-۳-۲ رابطه‌ی شرر و تعیین اندازه‌ی ذره‌ها ۸۴
۴-۳-۳ روش‌های تجربی پراش پرتوهای X ۸۴
۴-۳-۴ شناسایی مواد به کمک پراش پرتو X ۸۵
۴-۴ فلوئورسانس پرتو X ۸۶
۴-۴-۱ انواع XRF و اساس کار آنها ۸۸
۴-۵ میکروسکوپ الکترونی عبوری ۹۰
۴-۶ میکروسکوپ الکترونی روبشی ۹۴

فصل پنجم : نتایج ۹۸
۵-۱ طیف سنجی UV-VIS ۹۹
۵-۱-۱ نتایج طیف سنجی فرابنفش-مرئی با استفاده از مرکاپتواتانول ... ۹۹
۵-۱-۲ نتایج طیف سنجی فرابنفش-مرئی با استفاده از پلی وینیل الکل ۱۰۴
۵-۲ طیف سنجی XRD ۱۰۹
۵-۲-۱ نتایج آنالیز XRD نانوذرات تولید شده توسط ME ۱۱۰
۵-۲-۲ نتیجه‌ی آنالیز XRD نانوذرات تولید شده توسط PVA..... ۱۱۶
۵-۳ طیف سنجی XRF ۱۱۶
۵-۴ بررسی اندازه‌ی ذرات توسط SEM ۱۱۸
۵-۵ بررسی اندازه‌ی ذرات توسط TEM ۱۲۱

۵-۶ نتایج ۱۲۳
۵-۷ مطالعات آینده ۱۲۳

پیوست ۱۲۵
الف) نقاط کوانتومی PbS از دیدگاه نظری ۱۲۶

منابع ۱۲۹

فصل اول

نانوذرات نیمرسانا

۱-۱مقدمه

پیشوند نانو در فناوری نانو به معنای یک میلیاردم ($۱۰^{-۹}$) است و فناوری نانو به ساختارهای متفاوتی از مواد که دارای ابعادی از مرتبه‌ی یک میلیاردم متر است مربوط می‌شود. به طور کلی نانوساختار به ماده‌ای اطلاق می‌شود که حداقل یکی از ابعاد آن در مقیاس نانومتری کمتر از ۱۰۰nm باشد. اگر فقط یک بعد از یک ساختار سه بعدی دارای اندازه‌ی نانو باشد ، این ساختار به عنوان یک چاه کوانتومی شناخته می‌شود و ساختار الکترونیکی آن نسبت به حالتی که دو بعد آن دارای اندازه‌ی نانومتری باشد ، کاملاً فرق دارد و ساختاری را که به عنوان یک سیم کوانتومی است به وجود می‌آورد. در یک نقطه‌ی کوانتومی هر سه بعد در گستره‌ی نانومتر قرار دارند [۱].

نانوتکنولوژی ، تولید کارآمد مواد و دستگاه‌ها و سیستم‌ها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های نوظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته‌اند. در حقیقت فناوری نانو یک فناوری جدید نیست ، بلکه یک مقیاس جدید در فناوری‌ها و رویکردی تازه در تمام رشته‌ها است که این توانایی را به بشر می‌دهد که بتواند دخالت خود را در ساختار و مواد گسترش دهد و در ابعاد بسیار ریز به ساخت و طراحی اقدام کند. این توانایی منحصر به هیچ رشته‌ی خاصی نبوده و گستره‌ای به پهنای تمام علوم دارد.

۱-۲ تاریخچه

تحقیق در قلمرو نانوتکنولوژی از اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ آغاز شد. در سال ۱۹۵۰ ریچارد فاینمن[1] مقاله‌ای درباره‌ی قابلیت‌های فناوری نانو در آینده منتشر ساخت. او در آن سال طی یک

1. Richard Feynman

سخنرانی ایده‌ی فناوری نانو را برای عموم مردم آشکار ساخت. عنوان سخنرانی وی " طبقات زیادی در زیر این طبقه وجود دارد" بود. سخنرانی او شامل این مطلب بود که می‌توان تمام دائرةالمعارف بریتانیکا را بر روی نوک یک سنجاق نگارش کرد ، یعنی می‌توان ابعاد آن را به اندازه‌ی $\frac{۱}{۲۵۰۰۰}$ ابعاد واقعیش کوچک کرد. در سال ۱۹۸۱ شرکت IBM دستگاهی اختراع کرد که به کمک آن جابه‌جایی تک تک اتم‌ها امکان‌پذیر می‌شد. در دهه‌ی ۱۹۹۰ نخستین نتایج چشمگیر فناوری نانو عاید بشر شد. از جمله آن‌که گروهی از محققان شرکت IBM موفق شدند ۳۵ اتم زنون را بر روی یک صفحه از جنس نیکل جای دهند و با کمک این تک اتم‌ها نامی را بر روی صفحه‌ی نیکل درج کنند.

پس از آن بشر به پیشرفت‌های بیشتری در زمینه‌ی نانو دست یافت که از آن بین می‌توان به این موارد اشاره کرد : کشف نانولوله‌های کربنی در سال ۱۹۹۱ ، تولید اولین نقاط کوانتومی با کیفیت بالا در سال ۱۹۹۳ ، ساخت اولین نانوترانزیستور در سال ۱۹۹۷ ، ساخت اولین موتور DNA در سال ۲۰۰۰ ، ساخت یک مدل آزمایشگاهی سلول سوخت با استفاده از نانولوله‌ها در سال ۲۰۰۲ و تولید نمونه‌هایی از نانوسلول‌های خورشیدی در سال ۲۰۰۳. ساخت ترانزیستورهای کامپیوتری در ابعاد کوچک در حدود ۱۰۰nm و دقیق‌تر و کوچک‌تر کردن حسگرهای مربوط به کیسه هوا در اتومبیل نیز از جمله توانایی‌های بشر در حال حاضر است. همچنین تحقیقات زیادی برای ساخت کامپیوترهای کوچک و سریع ، ارائه‌ی سیستم‌های نوین تزریق ژن و دارو ، تولید سرامیک‌های نانوساختاری ، تولید پلیمرها و فلزات دارای خصوصیات بسیار بهبود یافته و ... در حال انجام است که تحقیقات اخیر به سرعت از مرحله‌ی کشف و مشاهده به مرحله‌ی طراحی و ساخت مجموعه‌های پیچیده پیش می‌رود [۱و۲].

۱-۳ فناوری نانو

هنگامی که درباره‌ی فناوری نانو شروع به مطالعه می‌کنیم ، به موضوعات و مواد مختلفی مانند نانولوله‌ها ، شبیه‌سازی مولکولی ، نانوداروها ، سلول‌های سوختی ، کاتالیزورها ، نانوذره‌ها و ... برمی‌خوریم. بنابراین ممکن است فناوری نانو رشته‌ای کاملاً گسترده به نظر آید که موضوعات آن ربط چندانی به هم ندارند.

به طور کلی مطالعات فناوری نانو را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. اگر چه روش‌های تحقیقاتی در آنها با هم متفاوت است ، اما این سه شاخه کاملاً با یکدیگر در ارتباط‌اند و پیشرفت در یکی از شاخه‌ها می‌تواند در شاخه‌های دیگر نیز مؤثر باشد. این سه شاخه عبارت‌اند از :

۱- نانوتکنولوژی نرم : این شاخه به مطالعه‌ی سیستم‌های زنده‌ای می‌پردازد که اساساً درمحیط‌های آبی وجود دارند. در این شاخه ساختمان مواد ژنتیکی ، غشاءها و سایر ترکیبات سلولی در مقیاس نانومتر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پژوهشگران موفق شده-اند ساختارهای زیستی فراوانی تولید کنند که نحوه‌ی عملکرد آنها در مقیاس نانویی کنترل می‌شود. این شاخه دربرگیرنده‌ی علوم پزشکی ،دارویی و به طور کلی علوم و روش‌های مرتبط با زیست فناوری است.

۲- نانوتکنولوژی سخت : این شاخه از علوم پایه‌ی فیزیک و شیمی مشتق می‌شود و به مطالعه‌ی تشکیل ساختارهای کربنی ، سیلیسیوم و مواد غیر آلی و فلزی می‌پردازد. نکته‌ی قابل توجه این است که الکترون‌های آزاد که در فناوری نرم ، موجب انتقال مواد و انجام واکنش‌ها می‌شوند ، در فناوری سخت خصوصیات فیزیکی ماده را پدید می‌آورند. در نانوتکنولوژی سخت کاربرد مواد نانویی در الکترونیک ، مغناطیس و

ابزارهای نوری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای مثال طراحی و ساخت میکروسکوپ-هایی که بتوان با استفاده از آنها مواد را در ابعاد نانومتر دید.

۳- نانوتکنولوژی محاسبه‌ای : در بسیاری از مواقع ابزار آزمایشگاهی موجود ، برای انجام برخی از آزمایش‌ها در مقیاس نانومتر ، مناسب نیستند و/یا آنکه انجام این آزمایش‌ها بسیار گران تمام می‌شود. در این حالت از رایانه‌ها برای شبیه‌سازی فرآیندها و واکنش-های اتم‌ها و مولکول‌ها استفاده می‌شود. اطلاعاتی که توسط محاسبات به دست می‌آید باعث پیشرفت چشمگیر نانوتکنولوژی سخت در چند دهه‌ی اخیر شده و در نانوتکنولوژی نرم نیز تأثیر قابل توجهی داشته است [۳].

تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته تنها کوچک بودن اندازه مدنظر نیست ، بلکه زمانی که اندازه‌ی مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد ، خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ ، استحکام ، مقاومت خوردگی و ... تغییر می‌یابد.

۱-۴ نانوساختارها

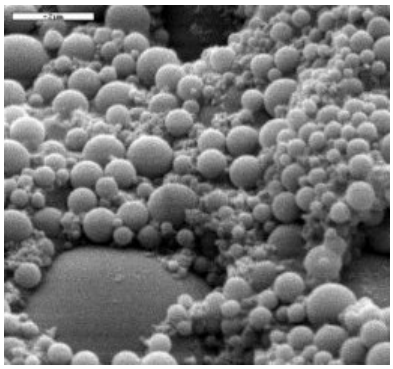
ساختارهای نانومتری بر حسب آنکه چند بعد در مقیاس نانومتر دارند ، به سه دسته تقسیم می‌شوند :

۱-۴-۱ نقاط کوانتومی[۲]

نقاط کوانتومی یا نانوذرات ، ذراتی با ابعاد نانومتر در هر سه بعد هستند. با توجه به اندازه‌ی بسیار ریز و خواص الکترونی جالب توجه نقاط کوانتومی فلزی و نیمرسانا از آنها می‌توان به

2. Quantum Dots

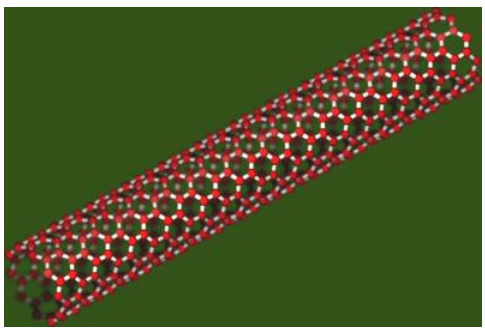
عنوان آجرهای ساختمانی تولید قطعات حالت جامد الکترونی استفاده کرد. مدارهای مجتمع (IC) مینیاتوری ، ترانزیستورهای تک الکترونی (SET) ، دیودهای نوری (LED) ، سلول‌های خورشیدی ، سنگ بنای کریستال‌های فوتونی ، برچسب‌های نورتاب برای ردیابی واکنش‌های زیستی ، دارورسانی هدفمند و ساده ، تجزیه‌ی آلاینده‌های محیط زیست و ... از جمله کاربردهای نقاط کوانتومی هستند.



شکل (۱-۱) تصویری از چند نانوذره.

۱-۴-۲ سیم‌های کوانتومی[۳]

یک سیم کوانتومی ساختاری با ابعاد نانومتری در دو بعد است. یکی از پرکاربردترین نانوسیم‌ها، نانولوله‌ی کربنی است. از مهم‌ترین کاربردهای نانولوله‌های کربنی می‌توان ذخیره‌سازی هیدروژن ، تصویربرداری زیستی دقیق ، ژن درمانی و از بین بردن باکتری‌ها را نام برد.



شکل (۱-۲) تصویری از یک نانولوله‌ی کربنی تک جداره.

3. Quantum wires

۱-۴-۳ لایه‌های کوانتومی[۴]

ساختاری که در یک بعد دارای ابعاد نانومتری باشد نانولایه نام دارد. نانولایه‌ها بر اساس نوع ماده و نحوه‌ی ساخت ، کاربردهای فراوانی دارند. به عنوان مثال لایه نازک شفاف ، ضد خش ، ضد بازتاب و ضد مه برای آینه‌ی خودرو ، شیشه‌ی عینک و لایه نازک مقاوم ، ضد لک و ضد زنگ در ریل‌های راه‌آهن ، پنجره‌ها ، بدنه‌ی خودرو و تراشه‌های سیلیسیومی در صنعت الکترونیک استفاده می‌شوند [۱].

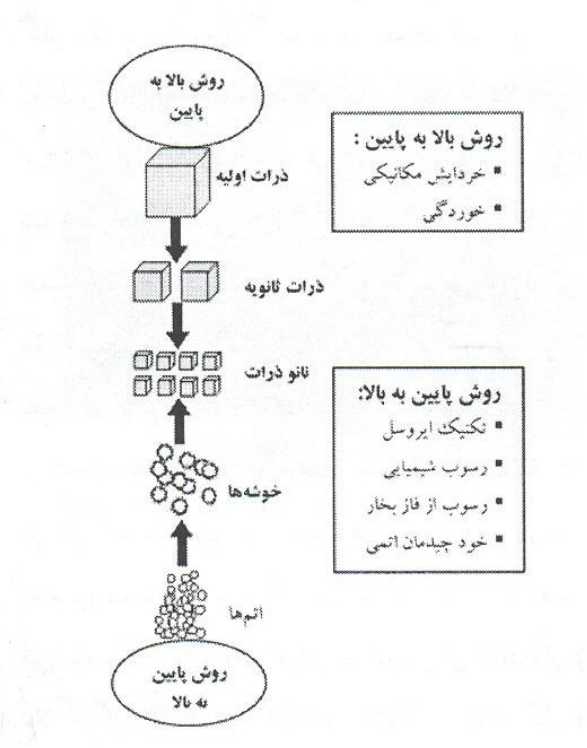
۱-۵ روش‌های تولید نانوذرات

مواد نانو مقیاس را می‌توان از دو روش پایین به بالا و بالا به پایین تهیه کرد. منظور این است که می‌توان یک ساختار نانومقیاس را با جمع کردن و چیدن اتم‌ها و یا با شکستن و خردکردن ذره‌های درشت‌تر تهیه کرد. بنابراین برای تهیه مواد نانومقیاس نیاز به تلفیق روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی است که این روش‌ها از لحاظ ترمودینامیکی ، به صورت تعادلی و غیر تعادلی امکان تهیه‌ی چنین ساختارهایی را به محققان داده است [۴].

۱-۵-۱ خردکردن و کار مکانیکی

خردکردن مکانیکی یک روش مرسوم و مثال واضحی از تکنیک بالا به پایین در تولید مواد نانو ساختار است که برخلاف روش پایین به بالا مواد از خوشه‌های اتمی اولیه تشکیل نشده و تنها از طریق خرد شدن و تغییر فرم پلاستیکی شدید این مواد تهیه می‌شوند. به دلیل سهولت و تجهیزات نسبتاً ارزان قیمت (در مقیاس آزمایشگاهی) و قابلیت تولید اکثر مواد ، این روش کاربرد فراوانی یافته است. در عین حال می‌توان این روش را به سادگی برای تولید در مقیاس

4. Quantum Wells



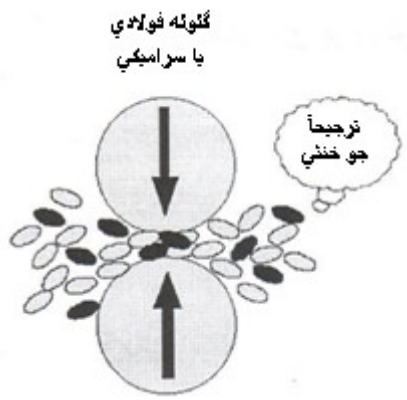
شکل (۱-۳) بیان ساده‌ای از فرآیند تولید پودر به روش بالا به پایین و پایین به بالا [۴].

صنعتی به کار گرفت. عمده‌ی محدودیت‌های این روش ، آلودگی ناشی از محیط وجو آسیاب و نیز متراکم شدن و کلوخه شدن[5] ذره‌ها در حین آسیاب کردن است.

در این فرآیند معمولاً از آسیاب‌های ماهواره‌ای با انرژی بالا[6] ، استفاده می‌شود. نانوذرات بر اساس تنش‌های برشی وارده بر ذره‌ها تولید می‌شوند. انرژی دستگاه از طریق گلوله‌های آسیاب به ذره‌ها وارد می‌شود (شکل ۱-۴). میزان انرژی به سرعت لغزش ، اندازه و تعداد گلوله‌ها ، نسبت وزنی گلوله به پودر ، زمان آسیاب و جو آسیاب بستگی دارد. به طور مثال بیان شده است که آسیاب در محیط مایعات سرمازا[7] ، سبب افزایش تردی پودر می‌شود. از سوی دیگر از اکسید شدن ذره‌های حساس به اکسید شدن باید جلوگیری شود ، به همین منظور تولید برخی مواد به خصوص مواد غیر اکسیدی در جو خاصی صورت می‌پذیرد. بر اساس انرژی آسیاب و نیز

5. Agglomeration
6. High Energy Shaker
7. Cryogenic

ترمودینامیک واکنش‌های رخ داده مواد به صورت بلوری یا بی‌ریخت[8] و تک فاز و یا چند فاز تولید می‌شوند. در این روش برای خرد کردن از مواد دارای سختی بالا مانند Al_2O_3 و ZrO_2 به عنوان گلوله استفاده می‌شود [۴].



شکل (۱-۴) شکل ساده‌ای از فرآیند کار مکانیکی [۴].

۱-۵-۲ سنتز به روش شیمی مرطوب

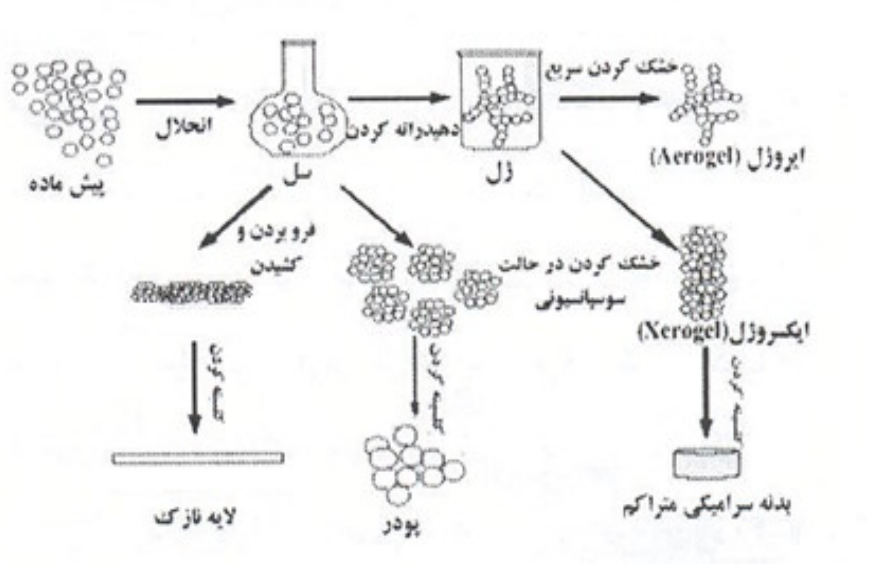
سنتز شیمیایی مواد نانومتری می‌تواند به دو طریقه‌ی سنتز بالا به پایین و سنتز پایین به بالا انجام گیرد. به عنوان مثال حکاکی [9] تک بلورها در یک محلول از روش‌های بالا به پایین است. روش سل- ژل[10] و رسوب از فاز مایع که در آنها می‌توان با یک ماده‌ی اولیه مناسب به ترکیب نانوساختار مورد نظر دست یافت ، از روش‌های پایین به بالا به حساب می‌آیند. در ادامه برخی از روش‌های مطرح از این گروه ، معرفی می‌شوند [۴].

۱-۵-۲-۱ سل- ژل

فرآیند سل- ژل متداول‌ترین روش شیمیایی برای تولید مواد نانومتری است. در این فرآیند یک شبکه‌ی غیرآلی به صورت یک محلول معلق کلوئیدی (سل) تهیه شده و در نهایت طی فرآیند

8. Amorph
9. Etching
10. Sol-Jel

تشکیل ژل ، مایع از آن خارج می‌شود. ماده‌ی اولیه این روش ، فلزات حاوی لیگاندهای فعال و یا ذرات کلوئیدی اکسیدی پخش شده در محیط آب و یا اسید رقیق است. با کنترل فرآیند تبدیل سل به ژل می‌توان اندازه و شکل ذره‌ها را کنترل کرد. جزئیات روش سل- ژل در شکل (۱-۵) به خوبی نشان داده می‌شود [۴].



شکل (۱-۵) شمایی از فرآیند سل-ژل برای تولید مواد نانو [۴].

۱-۵-۲-۲ واکنش‌های جامد- مایع

ذره‌های بسیار ریز از طریق رسوب از محلول نیز تولید می‌شوند که به طریقه‌ی جوانه زنی و رشد در محلول به وجود می‌آیند. به طور مثال می‌توان به پودر ZnS حاصل از واکنش محلول نمک روی با تیواستامید[11] اشاره کرد [۴].

۱-۵-۳ سنتز از فاز گاز

کلیه روش‌هایی که در آن پودر از واکنش یک یا چند گاز به دست می‌آید ، جزء این گروه محسوب می‌شوند. در این روش به دلیل کنترل دقیق شرایط سنتز ، توانایی کنترل اندازه ،

11. Thioacetamide

شکل و ترکیب شیمیایی پودر بالاست. قبل از توضیح برخی از روش‌های سنتز فاز گازی به برخی از جنبه‌های کلی این تکنیک اشاره می‌شود. با استفاده از روش رسوب شیمیایی بخار (CVD)[۱۲] ، بسته به کاربرد مورد نظر ، می‌توان با کنترل شرایط پودری با ترکیب همگن و یا غیر همگن سنتز کرد. در روش CVD همگن ، ذرات در درون فاز گاز تشکیل شده و به دلیل نیروی محرکه‌ی ناشی از گرادیان دمایی به طرف بیرون رشد می‌کنند. ولی در روش CVD غیر همگن ، جامد روی سطح یک زیرلایه که نقش کاتالیزور را دارد تشکیل می‌شود.

روش سنتز از فاز گازی مدام در حال توسعه و تغییر و تحول است. مزایای این روش عبارت-اند از :

-کنترل دقیق اندازه ، شکل ، درجه‌ی بلوری بودن و ترکیب شیمیایی پودر حاصل،

-خلوص بالای محصول نهایی،

-کنترل راحت سازوکارهای واکنش.

این روش مبتنی بر تشکیل خوشه‌های کوچکی از اتم‌هاست و از متراکم شدن این خوشه‌ها نانوپودر تولید می‌شود. زمانی که بخار فوق اشباع شود و در داخل آن خوشه‌های اتمی تشکیل شده باشند ، تراکم خوشه‌ها رخ می‌دهد [۴].

۱-۵-۳-۱ سنتز از فاز گاز در کوره

استفاده از کوره ساده‌ترین شکل سنتز از فاز گاز و مطلوب برای مواد با فشار بخار بالاست. انرژی گرمایی به روش قوس الکتریکی و/یا توسط باریکه‌ی الکترونی به ماده‌ی اولیه داده می‌شود. اتم-های ماده‌ی اولیه بخار شده و وارد محیط راکتور (واکنشگر) می‌شوند. جو محیط ، خنثی و

12. Chemical Vapour Desposition

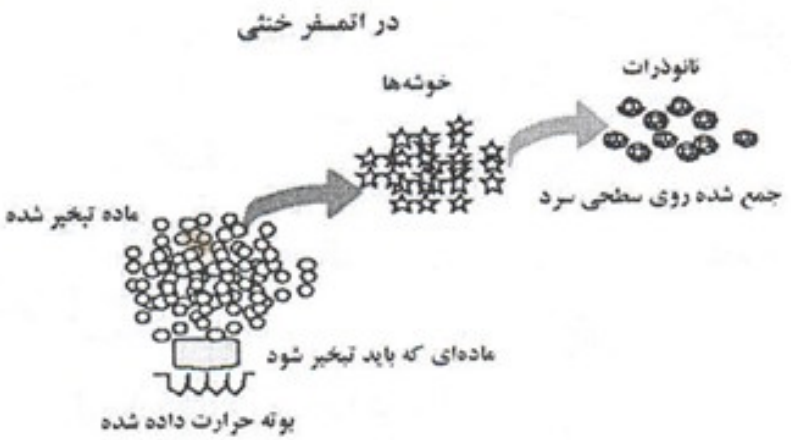
حاوی گاز واکنش دهنده است. برای مواد با فشار بخار پایین ، از ماده‌ی اولیه مناسبی مانند ترکیبات آلی-فلزی استفاده می‌شود. اتم‌های داغ بخار شده از ماده اولیه ، با ایجاد جوانه‌ی همگن سبب کاهش انرژی سیستم شده و در نهایت متراکم می‌شوند (شکل ۱-۶). برای سنتز کامپوزیت پودری ، گازهای مختلفی را وارد محفظه‌ی واکنشگر می‌کنند. عامل محرک رشد جوانه‌های ایجاد شده ، فوق اشباع ماندن ناحیه‌ی بخار است. با کنترل سرعت خروج جوانه‌ها از محیط فوق اشباع ، می‌توان اندازه‌ی ذره‌ها را کنترل کرد. اندازه و نحوه‌ی توزیع خوشه‌های اتمی به پارامترهای زیر بستگی دارد:

۱- سرعت تبخیر شدن (میزان انرژی داده شده به سیستم)،

۲- سرعت متراکم شدن،

۳- سرعت خروج خوشه‌ها.

به دلیل سادگی این روش ، امکان تبدیل آن از مقیاس آزمایشگاهی به صنعتی وجود دارد [۴].



شکل (۱-۶) بیان ساده‌ای از سنتز مواد نانو از فاز گاز [۴].