بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده‌ی علوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

عنوان:

ساخت و مطالعه‌ی نانوذرات CuO به روش الکترواکسیداسیون

نگارش:

مریم حسنوند

استاد راهنما:

دکتر ایرج کاظمی‌نژاد

استاد مشاور:

دکتر ابراهیم حاجی دولو

تیرماه ۱۳۹۰

گرچه دانسته‌هایم اندک است

امامی خواهم آن را بشناسانم

تا دیگری بهتر از من حقیقت را کشف کند

و کاری را پی گیرد که به رفع اشتباه من بینجامد

با این همه شادمان خواهم شد

که علت کشف آن حقیقت بوده‌ام.

«آلبرشت دوور»

تقدیم به

روان پاک پدرم

گرچه درکنارم نیست ولی یادش در خاطرم جاویدان است.

مادرم

باشکوه‌ترین زمزمه‌ام که لوح ضمیرم را با واژه‌ی مهر و محبت معطر ساخت

او که دعاهایش بزرگ‌ترین سرمایه‌ام در مسیر زندگی است.

در برابر وجود گرامی‌اش زانوی ادب بر زمین می‌نهم و

با دلی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستان پر از مهرش بوسه می‌زنم.

برادر بزرگوارم

او که همچون پدر پشتیبان من بود و سختی راه را بر من آسان نمود.

تمام سپاس از آن او که غیر از او، هیچ کس را صدا نمی‌کنم. گیرم که دیگران را صدا می‌کردم، پاسخم را نمی‌دادند.

تمام سپاس از آن او که دلم به هیچ کس غیر او خوش نیست. گیرم که به دیگران دل خوش می‌کردم، ناامیدم می‌کردند.

تمام سپاس از آن او که کارهایم را خودش رو به راه می‌کند و پیش او عزیزم. گیرم که امورم را وا می‌گذاشت به این مردم، خوارم می‌کردند.

تمام سپاس از آن او که جوری با من صبوری کرد که گویی هیچ کار سیاهی نکرده‌ام.

پروردگار من، بهترین من است. شایسته‌ترین برای سپاس.

ترجمه‌ی پاره‌ای از دعای ابوحمزه ثمالی

ثنای بی حد خدایی راکه بر من منت نهاد و شوق آموختن را در قلبم جاری ساخت و مرا یاری کرد تا بر تکیه بر لطف بی دریغش قدم در این راه نهاده و در سایه عنایاتش آن را به پایان برسانم. به حکم اینکه اگر از خلق تشکر نکنیم، شکر خالق را به جا نیاورده ایم، بر خود لازم می دانم تا از تمامی کسانی که در این راه یاری و راهنمایی ام کرده اند و از محضرشان دانش آموخته ام، تشکر و سپاسگزاری کنم.

در ابتدا مراتب ادب و قدردانی خود را نسبت به استاد راهنمای محترم و فرهیخته، **جناب آقای دکتر ایرج کاظمی نژاد** که با تعهد و خلوص نیت مرا از دریای علم خویش سیراب کرده و تجربه سال ها تحقیق و تخصص علمی شان را در اختیار اینجانب قرار دادند، ابراز می دارم.

از استاد مشاور محترم **جناب آقای دکتر ابراهیم حاجی دولو** که مشاوره این پایان نامه را عهده دار بودند نهایت سپاسگزاری را دارم.

همچنین از ستاد توسعه و فناوری نانو کمال تشکر را دارم.

در انتها لازم می دانم از دوستان محترم جناب آقایان **امراله دهقانی** و **مرتضی حسین پور**، همچنین آقای مهندس **امینی فضل** (آنالیزور محترم میکروسکوپ الکترونی روبشی پژوهشگاه علوم و فناوری رنگ) به خاطر الطاف بی دریغشان سپاسگزاری نمایم.

مریم حسنوند

تیرماه ۱۳۹۰

نام خانوادگی دانشجو: حسنوند **نام:** مریم

عنوان پایان‌نامه: ساخت و مطالعه‌ی نانوذرات CuO به روش الکترواکسیداسیون

استاد راهنما: دکتر ایرج کاظمی‌نژاد **استاد مشاور:** دکتر ابراهیم حاجی دولو

درجه‌ی تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** فیزیک **گرایش:** حالت جامد

محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز **دانشکده:** علوم

تاریخ فارغ التحصیلی: تیرماه ۱۳۹۰ **تعداد صفحات:** ۱۰۸

کلید واژه‌ها: الکترواکسیداسیون، نانوذرات، اکسید مس

Electrooxidation, Nanoparticles, Copper oxide

چکیده‌ی فارسی: در این تحقیق نانوذرات CuO به روش الکترواکسیداسیون در حضور یک آمین تولید شدند. آمین به کار رفته در این روش به‌عنوان الکترولیت حامل، عامل پایدارساز و پوشش دهنده‌ی ذرات به منظور جلوگیری از افزایش اندازه‌ی آن‌ها ایفای نقش می‌کند. هم‌چنین برای ساخت نانوذرات CuO از دو الکترود مسی به نسبت اندازه‌ی یک به دو به ترتیب به‌عنوان آند و کاتد و محلول آبی- نمکی، به‌عنوان الکترولیت، استفاده شده است. برای هر آزمایش زمان انجام واکنش ۱۲۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد و دمای آزمایش بوسیله حمام ترموستاتیک ثابت نگه داشته شد. پس از انجام واکنش و اتمام فرآیند، رسوب سیاه رنگ نشست کرده در کف ظرف واکنش، به وسیله‌ی آب شستشو داده شد و نهایتاً تحت شرایط خلأ خشک شد. از جمله عوامل مؤثر بر اندازه و شکل ذرات حاصل در این فرآیند، ولتاژ خارجی، دمای واکنش و غلظت پایدارساز می‌باشد. از همین‌رو در این پایان‌نامه اثر این پارامترها بر خواص محصولات، مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفت. هم‌چنین تأثیر امواج مافوق صوت بر خواص محصولات مطالعه شد. پس از اینکه ذرات تحت شرایط مختلف رشد یافتند، با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR و هم‌چنین دستگاه پراش پرتو X ساختار و هویت محصولات مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی شکل و اندازه‌ی محصولات تعیین گردید و نهایتاً خواص اپتیکی محصولات با استفاده از طیف‌سنجی UV- visible ارزیابی شد.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱. مفهوم نانو ۲

۱-۲. تاریخچه‌ی فناوری نانو ۳

۱-۳. هدف از انجام این پروژه ۴

فصل دوم: اکسید مس و اساس روش الکترواکسیداسیون ۶

۲-۱. مقدمه ۷

۲-۲. نانوذرات ۸

۲-۲-۱. خواص و کاربردها ۹

۲-۳. اکسید مس ۱۰

۲-۳-۱. فاز Cu_2O اکسید مس ۱۱

۲-۳-۲. فاز CuO اکسید مس ۱۲

۲-۴. روش‌های مختلف ساخت نانوذرات اکسید مس ۱۴

۲-۴-۱. روش حلالی- حرارتی (هیدروترمال) ۱۴

۲-۴-۲. روش سل- ژل ۱۴

۲-۴-۳. روش انباشت با بخار شیمیایی (CVD) ۱۵

۲-۴-۴. روش گداخت لیزری ۱۵

۲-۴-۵. روش تخلیه‌ی قوس الکتریکی ۱۶

۲-۵. تولید نانوذرات با استفاده از روش الکتروشیمیایی ۱۶

۲-۵-۱. سلول الکتروشیمیایی ۱۸

۲-۵-۲. الکترولیت ۱۸

۲-۵-۳. الکترودها ۱۹

۲-۶. سینماتیک حاکم بر الکترواکسیداسیون ۱۹

۲-۷. مکانیسم انتقال جرم ۱۹

۲-۷-۱. فرآیند پخش ۲۰

۲-۷-۲. فرآیند مهاجرت ۲۰

۲-۷-۳. فرآیند همرفت ۲۱
۲-۸. نظریه‌ی جنبشی انتقال بار ۲۱
۲-۸-۱. بررسی یک واکنش الکتروشیمیایی ۲۱
۲-۸-۲. جریان کاتدی یا انتقال الکترون از کاتد به یون‌ها ۲۲
۲-۹. عوامل مؤثر بر تولید نانوذرات با استفاده از روش الکترواکسیداسیون ۲۳
۲-۹-۱. ولتاژ ۲۳
۲-۹-۲. دما ۲۴
۲-۹-۳. غلظت الکترولیت ۲۴
۲-۹-۴. افزودن پایدارسازها ۲۴
۲-۱۰. مزایا و معایب ۲۵
۲-۱۱. مبدل‌ها ۲۵
۲-۱۱-۱. تقسیم‌بندی بر اساس آرایش جریان ۲۶
۲-۱۱-۲. تقسیم‌بندی بر اساس خصوصیات سیال ۲۶
۲-۱۱-۳. برخی معیارهای انتخاب مبدل حرارتی ۲۷
۲-۱۲. نانوسیال در مبدل‌ها ۲۷
۲-۱۲-۱. روش‌های تولید نانوسیال ۲۸
۲-۱۲-۲. پایدار کردن نانوذرات در درون نانوسیال ۳۰
۲-۱۲-۳. مزایای بالقوه نانوسیال ۳۱
۲-۱۳. بررسی پراش پرتو X ۳۲
۲-۱۴. طیف‌سنجی نوری FT-IR ۳۴
۲-۱۵. بررسی ریخت‌شناسی نانوذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۳۵
۲-۱۵-۱. میکروسکوپ الکترونی روبشی ۳۵
۲-۱۶. طیف‌سنجی فرابنفش- مرئی ۳۷
۲-۱۷. جمع‌بندی ۳۸
فصل سوم: ساخت نانوذرات اکسید مس به روش الکترواکسیداسیون ۳۹
۳-۱. مقدمه ۴۰

۳-۲. فلز مس به‌عنوان الکترود کار ۴۱
۳-۳. سورفکتانت ۴۲
۳-۴. تهیه‌ی الکترولیت حامل ۴۵
۳-۵. آماده‌سازی الکترودها ۴۶
۳-۵-۱. سونش مکانیکی الکترودها ۴۶
۳-۵-۲. ماسک‌گذاری الکترودها ۴۷
۳-۶. آماده‌سازی سلول الکتروشیمیایی ۴۸
۳-۷. الکترواکسیداسیون مس ۴۸
۳-۸. شستشو و خشک کردن نمونه‌ها ۵۰
۳-۹. مطالعه‌ی مکانیزم تشکیل نانوذرات CuO ۵۲
۳-۱۰.جمع‌بندی ۵۲
فصل چهارم: مطالعه‌ی خواص ساختاری و اپتیکی نانوذرات اکسید مس تهیه شده به‌روش الکترواکسیداسیون ۵۳
۴-۱. مقدمه ۵۴
۴-۲. بررسی اثر تغییر ولتاژ بر خواص ساختاری و اپتیکی نانوذرات اکسید مس ۵۵
۴-۲-۱. نتایج حاصل از مطالعه‌ی XRD ۵۵
۴-۲-۲. نتایج حاصل از مطالعه‌ی طیف FT-IR نمونه‌ها ۵۸
۴-۲-۳. نتایج حاصل از مطالعات SEM ۶۰
۴-۲-۴. نتایج حاصل از طیف‌سنج UV-visible ۶۸
۴-۳. بررسی اثر تغییر دمای الکترولیت بر خواص ساختاری و اپتیکی نانوذرات اکسید مس ۷۲
۴-۳-۱. نتایج حاصل از مطالعه‌ی XRD ۷۲
۴-۳-۲. نتایج حاصل از مطالعه‌ی طیف FT-IR نمونه‌ها ۷۴
۴-۳-۳. نتایج حاصل از مطالعات SEM ۷۵
۴-۳-۴. نتایج حاصل از طیف‌سنج UV-visible ۷۹
۴-۴. بررسی اثر تغییر غلظت پایدارساز بر خواص ساختاری و اپتیکی محصولات ۸۲
۴-۴-۱. نتایج حاصل از مطالعه‌ی XRD ۸۲

۴-۴-۲. نتایج حاصل از مطالعه‌ی طیف FT-IR نمونه‌ها..... ۸۴
۴-۴-۳. نتایج حاصل از مطالعات SEM..... ۸۵
۴-۴-۴. نتایج حاصل از طیف‌سنج UV-visible..... ۸۸
۴-۵. بررسی اثر امواج مافوق صوت بر خواص ساختاری و اپتیکی نمونه‌ها..... ۹۱
۴-۵-۱. نتایج حاصل از مطالعه‌ی XRD..... ۹۱
۴-۵-۲. نتایج حاصل از مطالعه‌ی طیف FT-IR نمونه‌ها..... ۹۳
۴-۵-۳. نتایج حاصل از مطالعات SEM..... ۹۴
۴-۵-۴. نتایج حاصل از طیف‌سنج UV-visible..... ۹۶
۴-۶. نتیجه‌گیری..... ۹۸
۴-۷. پیشنهادات..... ۱۰۱
مراجع..... ۱۰۲
واژه‌نامه..... ۱۰۷

حروف اختصاری

FT-IR	Fourier transform infrared
SEM	Scaning Electron Microscope
XRD	X-Ray Diffraction
UV	Ultra Violet
FE	Field Emission

فصل اول

کلیات

فصل اول

کلیات

۱-۱ مفهوم نانو

نانو یک پیشوند یونانی به معنای کوتوله است. یک نانومتر مقیاسی معادل یک میلیاردم متر ($۱۰^{-۹}m$) می‌باشد، که نسبت به قطر موی سر انسان که یک‌دهم میلی‌متر است، صد هزار بار کوچکتر است [۱]. موادی که ابعادشان در گستره‌ی کمتر از یک میکرون باشد، در مقیاس نانو قرار می‌گیرند. از آن‌جا که خواص مواد قویاً به اندازه‌ی اجزای تشکیل دهنده و به عبارتی ریزدانه‌ها وابسته است، موادی که ریزدانه‌های آن‌ها در مقیاس نانو طراحی می‌شود از ویژگی‌های جدیدی برخوردارند که در مواد معمولی یافت نمی‌شوند؛ به‌همین لحاظ تحقیقات در حوزه‌ی نانو مواد، روز به روز فعال‌تر می‌شود. اهمیت این مقیاس طولی به این مهم برمی‌گردد که از دیدگاه مکانیک کوانتومی، خاصیت موجی الکترون‌های داخل ماده و تقابل اتم‌ها با یکدیگر، از جابجایی مواد در مقیاس نانومتر اثر می‌پذیرد [۲].

۱-۲ تاریخچه‌ی فناوری نانو

دقیقاً مشخص نیست که فناوری نانو از چه زمانی آغاز شده است. در طول تاریخ دانشمندان معتقد بودند که می‌توان مواد را به اجزای کوچکی تقسیم کرد و به ذراتی رسید که خرد ناشدنی هستند و این ذرات بنیان مواد را تشکیل می‌دهند. تا اینکه در حدود ۴۰۰ سال پیش از میلاد مسیح، دموکریتوس فیلسوف یونانی برای اولین بار واژه‌ی اتم را که در زبان یونانی به معنی تقسیم نشدنی است، برای توصیف ذرات سازنده‌ی مواد به‌کار برد. از این‌رو شاید بتوان او را پدر فناوری و علوم نانو دانست. شیشه‌های رنگارنگ کلیساهای قرون وسطی و شمشیرهای یافت شده در حفاری سرزمین‌های مسلمان نشین، نشانه‌هایی از کاربردهای این فناوری در گذشته است. آن‌ها در ساخت شیشه‌ی کلیساهای خود از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌کردند و با این‌کار شیشه‌های رنگی بسیار خوش‌رنگ به‌دست می‌آمد. به‌طور خاص در قرن نهم صنعت‌گران منطقه‌ی بین النهرین برای جلا دادن ظروف سفالی از نانوذرات استفاده کرده‌اند. سفال‌های به‌جا مانده از قرون وسطی و رنسانس نیز دارای پوشش درخشانی از طلا یا مس می‌باشند. به‌نظر می‌آید قدیمی‌ترین شیء به‌دست آمده که از این طریق ساخته شده، جام لیکورگوس[۱] است که متعلق به قرن چهارم پس از میلاد می‌باشد و در یکی از موزه‌های انگلستان نگهداری می‌شود [۳].

در عصر حاضر، نخستین جرقه‌ی فناوری نانو توسط فاینمن[۲] زده شد. در سال ۱۹۵۹ ریچارد فاینمن در همایش سالانه‌ی جامعه‌ی فیزیک آمریکا طی یک سخنرانی، با عنوان کردن این موضوع که «آن پایین فضای زیادی وجود دارد»[۳]، ایده‌ی فناوری نانو را مطرح نمود. با این نظریه جهان روندی رو به کوچک شدن در پیش گرفت. تا اینکه در سال ۱۹۷۴ تانیگوچی برای اولین بار واژه‌ی فناوری نانو را برای ساخت موادی که ابعاد آن‌ها در حد نانومتر است، به‌کار برد.

هر چند آزمایش‌ها و تحقیقات پیرامون فناوری نانو از ابتدای دهه‌ی ۸۰ قرن بیستم به‌طور جدی پیگیری شد، اما اثرات تحول‌آفرین، معجزه آسا و باور نکردنی آن در روند تحقیق و توسعه باعث گردید که نظر تمامی کشورهای بزرگ به این موضوع جلب گردد و فناوری نانو را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اولویت‌های تحقیقاتی خویش در قرن بیست و یک محسوب نمایند. در واقع می-

---

[۱] Lycurgus

[۲] Feynman

[۳] "There is plenty of room at the bottom"

توان گفت نانوتکنولوژی، توان‌مندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با کنترل در سطوح مولکولی و اتمی و استفاده از خواصی است که در آن مقیاس ظاهر می‌شود. از همین تعریف ساده برمی‌آید که نانوتکنولوژی یک رشته‌ی جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در رشته‌های مختلف است [۳].

۱-۳ هدف از انجام این پروژه

با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های اکسید مس، در این پایان‌نامه تهیه‌ی نانوذرات اکسید مس به روش الکترواکسیداسیون[۱] در دستور کار قرار گرفت. اساس روش الکترواکسیداسیون بر پایه‌ی واکنش‌های اکسیداسیون و احیاء در یک سل[۲] الکتروشیمیایی بنا نهاده شده است. از مزیت-های این روش نسبت به سایر روش‌های ساخت نانوذرات اکسید مس می‌توان به قابلیت انعطاف بسیار بالا در شرایط متعارفی و کنترل بسیار مناسب اندازه‌ی ذرات با تغییر پارامترهای فرآیند رشد از جمله دما، ولتاژ، غلظت پایدارساز و فاصله الکترودها اشاره نمود.

در این پایان‌نامه نانوذرات CuO از طریق الکترواکسیداسیون مس فلزی در حضور یک آمین[۳] تولید شدند. آمین به‌کار رفته هم به‌عنوان الکترولیت حامل و هم به‌عنوان عامل پایدارساز، منظور ممانعت از بهم پیوستن ذرات و کنترل اندازه‌ی آن‌ها ایفای نقش می‌کند. هم‌چنین برای ساخت نانوذرات CuO از دو الکترود مس و محلول آبی- نمکی، به‌عنوان الکترولیت حامل، استفاده شد. ساختار و هویت ذرات رشد داده شده در شرایط مختلف، توسط دستگاه پراش پرتو X و هم-چنین طیف‌سنج FT-IR مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی شکل و اندازه‌ی محصولات تعیین گردید و در نهایت خواص اپتیکی محصولات توسط طیف‌سنجی UV-visible بررسی شد. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده، در سه فصل بعدی این پایان‌نامه آمده است.

---

[۱] Electrooxidation

[۲] Cell

[۳] Amin

در فصل دوم ساختار بلوری، خصوصیات و ویژگی‌های اکسید مس ذکر خواهد شد. علاوه بر این ضمن توضیح برخی از روش‌های ساخت نانوذرات اکسید مس به معرفی روش الکترواکسیداسیون و پارامترهای مؤثر بر این روش، به‌عنوان روش منتخب و برگزیده در این پایان-نامه خواهیم پرداخت. سپس به‌طور مختصر در مورد مبدل‌ها و نانوسیال‌ها به‌عنوان یکی از کاربردهای نانواکسید مس بحث خواهد شد. در نهایت اساس کار دستگاه‌های XRD، FT-IR، SEM و UV-visible که جهت بررسی محصولات این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توضیح داده خواهد شد.

در فصل سوم کلیه مراحل ساخت نانوذرات CuO به روش الکترواکسیداسیون، شامل آماده سازی الکترودها، تهیه‌ی محلول الکترولیت، شستشو و خشک کردن محصول و هم‌چنین مکانیزم واکنش شیمیایی تشکیل نانوذرات CuO بیان خواهد شد.

در فصل چهارم نتایج بررسی‌های انجام شده بر روی محصولات با استفاده از دستگاه‌های XRD، FT-IR، SEM و UV-visible بیان و مورد مطالعه و بررسی قرار خواهند گرفت.

فصل دوم

اکسید مس و اساس روش الکترواکسیداسیون

فصل دوم

اکسید مس و اساس روش الکترواکسیداسیون

۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا توضیح مختصری در مورد نانوذرات، خواص و کاربردهای آن‌ها ارائه می‌گردد. سپس به بیان ساختار بلوری، خواص و ویژگی‌های اکسید مس پرداخته خواهد شد، علاوه بر این ضمن بیان چند روش متداول برای تولید نانوساختارهای اکسید مس، تئوری حاکم بر روش الکترواکسیداسیون که روش منتخب جهت تولید نانوذرات اکسید مس در این پایان نامه می‌باشد، به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت. سپس به‌طور مختصر در مورد مبدل‌ها و نانوسیال در مبدل‌ها به‌عنوان کاربردی از نانواکسید مس در سیستم‌های خنک‌کننده جهت افزایش راندمان و بهبود عملکرد دستگاه‌های حرارتی ذکر خواهد شد. در نهایت اساس کار دستگاه‌های XRD، FTIR، SEM و UV-visible که جهت بررسی محصولات این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توضیح داده خواهد شد.

۲-۲ نانوذرات[۱]

نانوذرات به صورت‌های متعددی تعریف شده است، اما به‌طور خاص نانوذرات (نانو پودرها[۲]، نانو خوشه‌ها[۳] و یا نانو بلورها[۴]) ذراتی میکروسکوپی با ابعادی کمتر از ۱۰۰ نانومتر هستند که می‌توانند آلی یا غیر آلی (به صورت پودر خشک یا توزیع در مایع) باشند. نانوذرات را می‌توان به‌طور عمده در ۴ گروه کلی نانوذرات فلزی، نانوذرات سرامیکی، نانوذرات پلیمری و نانوذرات نیم‌رسانا طبقه‌بندی کرد [۴].

این مواد را می‌توان با استفاده از روش‌های بالا به پایین بوسیله فرسایش مواد درشت دانه و یا برعکس از طریق چیدن اتم‌ها یا ذرات در کنار هم، در شیوه‌های پایین به بالا تولید نمود. می‌توان روش استفاده از آسیاب گلوله‌ای جهت تولید نانوذرات را جزء روش‌های بالا به پایین محسوب کرد. خواص نانوذرات تولید شده به این روش تحت تأثیر نوع ماده‌ی آسیاب کننده، زمان آسیاب و محیط اتمسفری آن قرار می‌گیرد. علاوه بر این ممکن است محصولات به‌دست آمده از این روش شامل مقادیر قابل توجهی ناخالصی از محیط آسیاب‌کاری باشند، هم‌چنین کنترل ذرات تولید شده از نظر شکل و اندازه با این روش بسیار مشکل است.

روش‌های پایین به بالا به مراتب روش‌های قابل استفاده‌تری در تولید نانوذرات هستند. در میان روش‌های پایین به بالا، روش‌های شیمیایی به‌دلیل توانایی کنترل نظم اتم‌ها (از مقیاس نانو تا مقیاس ماکرو)، اهمیت زیادی یافته‌اند. برای قابل کاربرد بودن ذرات تولید شده بایستی تمهیداتی جهت کنترل همسان بودن شکل، ترکیب شیمیایی و ساختار بلوری ذرات، عدم تراکم و مساوی بودن اندازه ذرات را در نظر گرفت [۴].

اگر ذرات نیم‌رسانا به اندازه‌ی کافی کوچک شوند، تأثیرات کوانتومی ظاهر خواهد شد. با توجه به نیم‌رسانا بودن اکسید مس، از اصطلاح نقاط کوانتومی برای توصیف این نانوذرات نیز استفاده می‌شود [۴ و ۵].

---

[۱] Nanoparticles

[۲] Nanopowders

[۳] Nanoclusters

[۴] Nanocrystals