INSO
15625
1st Edition
2018
Identical with
ASTM E3071:2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۵۶۲۵
چاپ اول
۱۳۹۷

فناوری نانو- آموزش نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد- راهنما

Nanotechnology- workforce education in materials synthesis and processing- Guide

ICS: 07.030

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۵۶۲۵(چاپ اول) : سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران،ضلع جنوب‌غربی میدان ونک،خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن:۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱(۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴(۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه:http://www.isiri.gov. ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website:http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود . پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب ، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود . بدین ترتیب ، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی ، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون ، برای حمایت از مصرف کنندگان ، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی ، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور ، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره ، آموزش ، بازرسی ، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی ، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم ، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها ، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
« فناوری نانو- آموزش نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد- راهنما»

رئیس:	**سمت و/ یا محل اشتغال**
آقابزرگ، حمیدرضا (دکترای شیمی)	عضو هیئت علمی - پژوهشگاه صنعت نفت و نماینده انجمن نانوفناوری ایران
دبیر:	
آل‌علی، هدی (دکترای فیزیک)	عضو هیئت علمی گروه پژوهشی اندازه-شناسی- پژوهشگاه استاندارد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
احمدی، سارا (دکترای مواد)	کارشناس- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
اسلامی پور، الهه (کارشناسی ارشد زیست شناسی)	کارشناس- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
دشت بزرگی، زهرا (دکترای شیمی تجزیه)	مدیر ارشد- آزمایشگاه کیمیا شنگرف پارس
چوخاجی زاده مقدم، امین (کارشناسی ارشد نانوفناوری)	کارشناس- ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
سهرابی جهرمی، ابوذر (دکترای نانوفناوری)	مدیرعامل- شرکت راصد توسعه فناوری های نوین
کریمی، مریم (دکترای شیمی تجزیه)	کارشناس- پژوهشگاه استاندارد

گرائیلی، علیرضا (دکترای نانوفیزیک)	عضو هیئت علمی - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
معتضدی فرد، علی (دکترای فیزیک)	کارشناس- مرکز میکروالکترونیک جهاد دانشگاهی شریف
میرزایی، مریم (دکترای فیزیک)	عضو هیئت علمی- پژوهشگاه استاندارد
نوری، نینا (دکترای شیمی تجزیه)	کارشناس- پژوهشگاه استاندارد

ویراستار:

سیفی، مهوش (کارشناس ارشد مدیریت دولتی)	کارشناس استاندارد – بازنشسته سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش گفتار	ز
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ کلیات	۴
۵ اهمیت و کاربرد	۴
۶ مهارت و دانش عمومی	۴
۷ مفاهیم و مهارت‌هایی که باید در نظر گرفته شوند	۵
۸ مفاهیم و فنون مرتبط با زیرساخت فناوری نانو	۵
۸-۱ جنبه‌های مربوط به ماده	۵
۸-۲ مفاهیم مربوط به فرآیندهای افزودنی	۶
۸-۳ فنون رشد و رسوب‌دهی	۶
۸-۴ فنون ساخت نانوذرات مجزا	۷
۸-۵ مفاهیم مربوط به فرآیند کاهشی	۸

پیش‌گفتار

استاندارد «فناوری نانو- آموزش نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد- راهنما» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی ایران تهیه و تدوین شده و در هفتاد و پنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی فناوری نانو مورخ ۱۳۹۷/۱۰/۰۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است :

ASTM E3071:2016،Standard guide for nanotechnology workforce education in materials synthesis and processing

فناوری نانو- آموزش نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد- راهنما

۱ هدف و دامنه کاربرد[1]

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، ارائه چارچوبی برای آموزش پایه‌ای نیروی کار در زمینه سنتز و فرآوری مواد نانومقیاس است که باید در سطح کارشناسی تدریس شود. وسعت این آموزش باید به‌گونه‌ای باشد که فرد را برای کار در یکی از زمینه‌های تحقیق، توسعه یا ساخت در زمینه فناوری نانو آماده کند.

۱-۲ این راهنما می‌تواند برای توسعه یا ارزشیابی برنامه آموزشی کاربردهای سنتز و فرآوری در زمینه فناوری نانو استفاده شود و همچنین، فهرستی از موضوعات کلیدی را ارائه می‌کند که باید در برنامه آموزشی فناوری نانو در این زمینه منظور شود، اما مواد آموزشی خاصی را که در چنین برنامه‌ای استفاده می‌شود، ارائه نمی‌کند. این رویکرد برای نهادهای آموزشی نیروی کار درنظرگرفته شده است تا اطمینان یابند که برنامه‌های موردنیازشان را پوشش می‌دهد و آنها را قادر می‌سازد تا برنامه‌های خود را متناسب با نیازهای کارفرمایان خود تنظیم کنند.

۱-۳ مقادیر ذکر شده در سامانه بین المللی یکاها SI درنظرگرفته می‌شوند. هیچ واحد اندازه‌گیری دیگر در این استاندارد وجود ندارد.

۱-۴ این استاندارد ادعا نمی‌کند که به همه موارد ایمنی، درصورت وجود، می‌پردازد. مسئولیت ایجاد معیارهای ایمنی و بهداشت و تعیین قابلیت کاربرد محدودیت‌های مقرراتی قبل از استفاده بر عهده کاربر این استاندارد است.

۱-۵ این استاندارد ادعا نمی‌کند که به همه فنون، مواد و مفاهیم مورد نیاز سنتز و فرآوری مواد در مقیاس نانو می‌پردازد. مسئولیت استفاده از دیگر دانش و مهارت‌های قابل کاربرد به شرایط یا قوانین بومی موردنیاز بر عهده کاربر این استاندارد است.

۲ مراجع الزامی

---

۱ - توضیحات تکمیلی در خصوص دامنه کاربرد این استاندارد،در بند اهمیت و کاربرد(به بند ۵ مراجعه شود) ارائه شده است.

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵، فناوری نانو- -واژه نامه - قسمت ۲: نانو اشیاء

۲-۲ استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۴-۸۰۰۰۴: سال۱۳۹۶، فناوری نانو- -واژه نامه -قسمت ۴: فرآیندهای نانوساخت

۲-۳ استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۱۱۹۸: سال۱۳۹۵، فناوری نانو - آموزش سلامت و ایمنی برای نیروی کار - راهنما

2-4 ASTM E2456, Terminology relating to nanotechnology

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات با تعاریف زیر به‌کار می‌رود:

۳-۱ در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف فناوری نانو ذکر شده در استاندارد ASTM E2456 و استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۴-۸۰۰۰۴ به‌کار می‌رود.

۳-۲ تعاریف اصطلاحات خاص در این استاندارد:

۳-۲-۱

فرآیند افزودنی

additive processing

افزودن لایه‌ای از یک ماده جدید برای ایجاد الگویی از ماده رسوب‌یافته روی بستره است.

[منبع: تعریف ۷-۱-۲، استاندارد ملی شماره ۴-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۶]

۳-۲-۲

فرآوری مواد

materials processing

فنون مورد استفاده برای تبدیل مواد صنعتی از حالت اولیه یا میانی به محصولات یا بخش‌های اصلاح‌شده یا نهایی شده است.

۳-۲-۳

سنتز مواد

materials synthesis

فرآیندها یا واکنش‌های ساختن مواد یا ساختاری پیچیده با واحدهایی از ترکیبات یا عناصر ساده‌تراست.

۳-۲-۴

نانوذره

nanoparticle

نانوشیئی با تمام ابعاد خارجی در مقیاس نانو که در آن طول بلندترین و کوتاهترین محورهای نانوشئ به‌طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوتی نداشته باشد.

[منبع: تعریف ۴- ۴، استاندارد ملی شماره ۲-۸۰۰۰۴: سال ۱۳۹۵]

۳-۲-۵

فرآیند کاهشی

subtractive processing

حذف لایه‌ای از ماده به جز جایی که سطح با ماده مقاوم[1] الگودهی‌شده، محافظت می‌شود.

۴ کلیات

1-Resist

۴-۱ این راهنما فهرستی از موضوعات مربوط به سنتز و فرآوری در مقیاس نانو و مرتبط با آموزش نیروی کار فناوری نانو را نشان می‌دهد. انتخاب سازوکارها، مفاهیم و مواد براساس منابع درونداد[1] از صنعت، مربیان فناوری نانو و متخصصان انجام می‌شود.

۴-۲ در هر موضوع، مباحث مهمی که باید پوشش داده شود به‌طور ویژه فهرست می‌شوند.

۴-۳ این رویکرد، آموزش جامع و همچنین تأکید عمیق روی موضوعات کلیدی در محدوده‌های زمانی یک دوره یا برنامه آموزشی را فراهم می‌کند.

۵ اهمیت و کاربرد

۵-۱ این استاندارد ساختار پایه‌ای برای آموزش در سطح کارشناسی در زمینه سنتز و فرآوری مواد در مقیاس نانو را فراهم می‌کند.

۵-۲ نقش کارکنان در محیط کار ممکن است تغییر کند. شرکت‌کنندگان در چنین آموزشی درک جامعی از مباحث سنتز و فرآوری خواهند داشت، بنابراین امکان یافتن شغل برای آنها در زمینه فناوری نانو و حتی فراتر از آن افزایش می‌یابد.

۵-۳ این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهای تدوین شده برای آموزش نیروی کار در جنبه‌های مختلف فناوری نانو است. این استاندارد به سازمان‌ها کمک می‌کند که برای توسعه برنامه‌ای که قابل کاربرد در خیلی از حوزه‌های فناوری نانو است، ساختار پایه‌ای داشته باشند، بنابراین آموزش نیروی کار پویا و در حال رشدی را فراهم می‌کند.

۶ مهارت و دانش عمومی

۶-۱ جبر مقدماتی، شیمی، فیزیک و آمار در سطح کارشناسی.

۶-۲ مخاطرات زیست‌محیطی، بهداشتی و ایمنی (EHS)[2] که نانومواد دارند می‌تواند بسیار متفاوت از مواردی باشد که مواد توده‌ای از خود نشان می‌دهند. دانشجویان باید درک اولیه‌ای از فاکتورهای منحصر به فرد EHS هنگام به‌کارگیری نانومواد داشته باشند.

1- Input
2- Environmental, Health and Safety

یادآوری ۱ - برای جزئیات بیشتر به استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۱۱۹۸ مراجعه شود.

۳-۶ دانشجویان نیز باید دانش پایه‌ای از خواص فیزیکی و شیمیایی نانومواد داشته باشند.

۷ مفاهیم و مهارت‌هایی که باید درنظر گرفته شوند

۱-۷ روش‌ها یا موضوعات مرتبط با آموزش نیروی کار در سنتز و فرآوری همراه با موضوعات مهمی که باید برای هر روشِ ذکر شده به‌طور خاص پوشش داده شود، در بند ۸ ارایه شده است. آموزش این مباحث می‌تواند شامل مقایسه و تضاد فنون مختلف باشد. روش‌ها یا موضوعات تکمیلی و یا هر دو، می تواند بر اساس موارد مورد نیاز اضافه شود.

۲-۷ بهتر است روش‌های سنتز و فرآوری نانومقیاس شامل روش‌هایی باشند که بر مبنای فرآیند مواد افزودنی و کاهشی استفاده می‌شوند. انتخاب روش براساس اطلاعات درونداد از صنعت، مربیان فناوری نانو و متخصصین موضوع است.

۸ مفاهیم و فنون سنتز و فرآوری مرتبط با آموزش نیروی کار فناوری نانو

۱-۸ جنبه‌های مربوط به ماده- ساختار و فرآیندهای اساسی که خواص ماده را تحت‌تاثیر قرار می‌دهند :

۱-۱-۸ ساختار بلوری؛

۲-۱-۸ نقص‌ها؛

۳-۱-۸ پیوند؛

۴-۱-۸ تنش[1]؛

۵-۱-۸ نفوذ؛

۶-۱-۸ بازپخت[2]؛

۷-۱-۸ چسبندگی و جدایش از سطح؛

۸-۱-۸ کلوخه، انبوهه و تعلیقه؛

یادآوری ۲- این فرایندها برای نانوذرات قابل کاربرد هستند.

1- Stress
2- Annealing

۸-۲ مفاهیم مربوط به فرآیندهای افزودنی:

۸-۲-۱ ملاحظات مربوط به رشد و رسوب‌دهی:

۸-۲-۱-۱ جوانه‌زنی[1]؛

۸-۲-۱-۲ کنترل ضخامت؛

۸-۲-۱-۳ یکنواختی؛

۸-۲-۱-۴ پوشش پله‌ای؛

۸-۲-۱-۵ رشد همگن؛

۸-۲-۱-۶ رشد ناهمگن؛

۸-۲-۱-۷ اصلاح سطح:

(۱) اصلاح ریخت‌شناسی؛

(۲) اصلاح شیمیایی؛

یادآوری ۳- برای مثال، روشی مانند خودچینشی مولکولی در این رده قرار می‌گیرد.

(۳) عامل‌دارکردن زیستی.

۸-۳ فنون رشد و رسوب‌دهی:

۸-۳-۱ اکسایش:

۸-۳-۱-۱ اکسایش خشک؛

۸-۳-۱-۲ اکسایش تر؛

۸-۳-۱-۳ اکسایش فشار بالا؛

۸-۳-۲ روش های رسوب‌دهی فیزیکی فاز بخار (PVD)[2] :

۸-۳-۲-۱ تبخیر حرارتی و تبخیر با باریکه الکترونی؛

۸-۳-۲-۲ روش کندوپاش؛

1- Nucleation
2- Physical Vapor Deposition

۸-۳-۳ رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار (CVD)[1]:

۸-۳-۳-۱ رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار در فشار جو (APCVD)[2]؛

۸-۳-۳-۲ رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار در فشارهای پایین (LPCVD)[3]؛

(۱) فن رشد بخار- جامد؛

(۲) فن رشد بخار- مایع- جامد؛

۸-۳-۳-۳ رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار تقویت شده با پلاسما (PECVD)[4]؛

۸-۳-۴ رسوب‌دهی لایه اتمی (ALD)[5]؛

۸-۳-۴-۱ رسوب‌دهی لایه‌های اتمی به روش حرارتی؛

۸-۳-۴-۲ رسوب‌دهی لایه‌های اتمی تقویت شده با پلاسما (PEALD)[6]؛

۸-۳-۵ رشد لایه نازک بلوری؛

۸-۳-۵-۱ رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار آلی فلزی (MOCVD)[7]؛

۸-۳-۵-۲ رونشانی باریکه مولکولی (MBE)[8]؛

۸-۳-۶ رسوب‌دهی مبتنی بر محلول:

۸-۳-۶-۱ رسوب‌دهی الکتروشیمیایی (آبکاری)؛

۸-۳-۶-۲ آندی کردن؛

۸-۳-۶-۳ پوشش‌دهی چرخشی؛

یادآوری ۴- برای مثال، رسوب یک لایه شیشه‌ای همراه با دوپانت برای تشکیل یک دی الکتریک مسطح یا ایجاد یک منبع دوپانت در ساخت مدارهای مجتمع در این رده قرار می‌گیرد.

۸-۴ فنون ساخت نانوذرات مجزا:

۸-۴-۱ سنتز، ساخت و پایدارسازی نانوذرات:

1- Chemical Vapor Deposition
2- Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition
3- Low pressure Chemical Vapor Deposition
4- Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition
5- Atomic Layer Deposition
6 - Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition
7 - Metal Organic Chemical Vapor Deposition
8 - Molecular Beam Epitaxy

۸-۴-۱-۱ پیرولیز شعله‌ای[1]؛

۸-۴-۱-۲ برسابش[2] لیزری؛

۸-۴-۱-۳ آنالیز شیمیایی در محیط تر:

(۱) روش های کلوییدی توده‌ای[3]

(۲) سنتز با استفاده از میکروفلودئیک بر اساس میکروراکتور؛

۸-۴-۱-۴ آسیاکاری[4] مکانیکی؛

۸-۵ مفاهیم مربوط به فرآیند کاهشی؛

۸-۵-۱ ملاحظات مربوط به حکاکی[5]:

۸-۵-۱-۱ انتخاب‌پذیری؛

۸-۵-۱-۲ کنترل پروفایل:

(۱) نسبت منظری؛

(۲) حکاکی ناهمسانگرد؛

(۳) حکاکی همسانگرد؛

۸-۵-۱-۳ نرخ حکاکی؛

۸-۵-۱-۴ آسیب‌های حکاکی؛

۸-۵-۲ حکاکی در محیط تر:

۸-۵-۲-۱ ترکیبات شیمیایی؛

۸-۵-۲-۲ حکاکی وابسته به جهت گیری صفحه بلوری؛

۸-۵-۲-۳ کنترل دوپانت (نوعی ناخالصی اضافه کردن) در حکاکی؛

۸-۵-۳ صفحه‌ای کردن مکانیکی شیمیایی؛

یادآوری ۵- این فرایند به عنوان پرداخت مکانیکی شیمیایی نیز شناخته می‌شود.

1- Flame pyrolysis
2- Ablation
3- Bulk colloidal
4- Mechanical attrition
5- Etching

۸-۵-۴ حکاکی خشک:

۸-۵-۴-۱ تولید پلاسما:

(۱) گسیل نوری و تشخیص نقطه پایان؛

۸-۵-۴-۲ حکاکی با پلاسما (بدون بمباران یونی)؛

۸-۵-۴-۳ حکاکی یون‌واکنشی (RIE)[1]؛

۸-۵-۴-۴ حکاکی کندوپاشی (آسیاکاری یونی)؛

۸-۵-۴-۵ باریکه یونی متمرکز (FIB)[2]؛

۸-۵-۴-۶ سامانه‌های حکاکی خشک:

(۱) پلاسمای جفت‌شده القایی؛

(۲) پلاسمای جفت‌شده خازنی؛

(۳) سامانه‌های خاکسترسازی[3]؛

(۴) حکاکی کندوپاشی؛

۸-۵-۵ حکاکی تبخیری؛

یادآوری ۶- به عنوان مثال، حکاکی با بخار هیدروفلوئوریک اسید یا دی‌فلورایدگزنون در این رده قرار می‌گیرد.

1 - Reactive ion etching
2 - Focused ion beam
3 - Ashing systems