

آشنایی با روش‌های ساخت و مشخصه‌یابی

نانو مواد

نویسندگان:

دکتر جواد ملکوتی خواه

دکتر سید صابر میرحسینی

دکتر مرضیه آزادفلاح

مهندس پریسا قسمتی



انتشارات دانشگاهی فره‌مند

.....

نام کتاب : آشنایی با روش های ساخت و مشخصه یابی نانو مواد
نویسندگان : دکتر جواد ملکوتی خواه / دکتر سید صابر میرحسینی / دکتر مرضیه آزاد فلاح /
مهندس پریسا قسمتی
تاریخ و نوبت چاپ : اول ۱۴۰۴
شمارگان : ۱۰۰ نسخه
بها : ۳۵۰۰۰۰۰ ریال
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۵۱-۹

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فره‌مند محفوظ می باشد

نشانی: تهران، خیابان انقلاب، روبروی در اصلی دانشگاه، پاساژ فروزنده، طبقه اول،
واحد ۴۱۹

تلفن : ۶۶۴۱۰۶۸۸ - ۶۶۹۶۸۶۱۴

www.farbook.ir

telegram: @farhamandpress

Instagram: @nashr.farahmand

عنوان و نام پدیدآور	: آشنایی با روش‌های ساخت و مشخصه‌یابی نانو مواد/ نویسندگان جواد ملکوتی‌خواه... [و دیگران].
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فره‌مند، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۲ ص.
شابک	: 978-622-4980-51-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: نویسندگان جواد ملکوتی‌خواه، سیدصابر میرحسینی، مرضیه آزادفلاح، پریسا قسمتی.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: مواد نانوساختار Nanostructured materials مواد نانوساختار -- تجزیه و آزمایش Nanostructured materials -- Analysis مواد نانوساختار -- صنعت و تجارت Nanostructured materials industry
شناسه افزوده	: ملکوتی‌خواه، جواد، ۱۳۵۴ -
رده بندی کنگره	: TA۴۱۸/۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۳۷۷۰۴۱
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
پیشگفتار.....	۱۷
فصل اول: معرفی فناوری نانو.....	۱۹
مقدمه.....	۱۹
تعریف فناوری نانو.....	۲۰
تقسیم‌بندی نانوساختارها براساس ابعاد.....	۲۲
نانومواد صفر بعدی (D^0).....	۲۲
نانومواد تک بعدی ($1D$).....	۲۳
نانومواد دو بعدی ($2D$).....	۲۵
نانومواد سه بعدی ($3D$).....	۲۶
فصل دوم: روش‌های تولید نانو ذرات.....	۲۸
مقدمه.....	۲۸
روش پایین به بالا.....	۲۹
روش بالا به پایین.....	۳۰
روشهای سنتز نانوذرات (نانومواد صفر بعدی).....	۳۲
روشهای بالا به پایین.....	۳۲
سنتز نانومواد با استفاده از روش آسیاب مکانیکی.....	۳۲
آسیاب گلوله‌ای - ارتعاشی.....	۳۲
آسیاب افقی غلتان.....	۳۴
آسیاب سیاره‌ای.....	۳۵
روش‌های تولید پایین به بالا.....	۳۶
سنتز نانوذرات به روش سل - ژل:.....	۳۶
مراحل فرایند سل - ژل.....	۳۷
تهیه محلول همگن.....	۳۸
تشکیل سل.....	۳۸
تشکیل ژل.....	۴۰

ویژگی های محصولات روش سل - ژل	۴۱
سنتز نانومواد با استفاده از روشهای سونوشیمیایی (فراصوت)	۴۱
کاربرد درصنایع پلیمرسازی	۴۳
روش عملکرد فرآیند سونوشیمی	۴۵
عوامل موثر بر فرآیند سونوشیمی	۴۵
مزایای روش سونوشیمی	۴۵
معایب روش سونوشیمی	۴۶
سنتز نانومواد با استفاده از مایکروویو	۴۶
سنتز نانومواد با استفاده از الکتروشیمی و واکنش های اکسایش-کاهش	۴۷
انواع لایه های اکسیدی	۵۰
سنتز نانومواد به روش پلاسمای RF	۵۲
روش هیدروترمال	۵۳
روش های مبتنی بر استفاده از افزودنی های آلی	۵۶
روش های مبتنی بر استفاده از قالب	۵۷
روش رسوبدهی شیمیایی از فاز بخار	۵۸
رسوبدهی شیمیایی بخار چیست؟	۵۸
روش لیزر پالسی	۶۰
روش احتراق محلول	۶۱
روش سنتز سبز	۶۲
روشهای سنتز نانومواد تک بعدی	۶۴
روشهای سنتز نانولوله ها	۶۴
سنتز بر پایه قالب	۶۴
روشهای ساخت بر پایه قالب:	۶۶
رسوبدهی الکتروشیمیایی	۶۶
رسوبدهی بدون الکتروود	۶۷
رسوبدهی الکتروفوریتیک	۶۷
نانولوله های کربنی	۶۹
روشهای سنتز نانولوله های کربنی	۶۹
روش تخلیه قوس الکتریکی	۷۰

۷۱	روش سایش لیزری.....
۷۲	رسوب‌دهی شیمیایی از فاز بخار به کمک حرارت (CVD).....
۷۳	روشهای سنتز نانو الیاف.....
۷۴	تولید از قالب.....
۷۴	الکتروریسی.....
۷۵	روش های سنتز نانومواد دوبعدی.....
۷۷	روش های بالا به پایین.....
۷۷	سنتز نانومواد با استفاده از لیتوگرافی.....
۷۷	لیتوگرافی نوری.....
۸۰	تغییر شکل پلاستیک شدید.....
۸۲	روش های تغییر شکل پلاستیک شدید.....
۸۲	تغییر شکل پلاستیک شدید مواد بالک.....
۸۲	فرآیند پرس در کانال زاویه دار.....
۸۴	فرآیند فورج چند جهته.....
۸۵	فرآیند اکستروژن- فشردن تناوبی.....
۸۶	فرآیندهای تغییر شکل پلاستیک شدید برای ورق‌ها.....
۸۶	فرآیند پیوند نوردی انباشتی.....
۸۷	روش کنگره‌دار کردن و صاف کردن متوالی.....
۸۸	روشهای پایین به بالا.....
۸۸	سنتز نانومواد دوبعدی با استفاده از روش اسپاترینگ (کند و پاش).....
۹۱	کاربردهای اسپاترینگ.....
۹۳	روش پوسته پوسته کردن میکرومکانیکی.....
۹۳	روش رشد همبافته.....
۹۳	روش رسوب نشانی بخار شیمیایی.....
۹۴	روش تهیه گرافن از اکسید گرافیت.....
۹۵	سنتز نانوامولسیون.....
۹۶	مزایای نانو امولسیون.....
۹۶	اجزای نانو امولسیون.....
۹۷	روش تهیه نانوامولسیون.....

۹۷	الف) امولسیون سازی با انرژی بالا.....
۹۷	امولسیون سازی اولتراسونیک
۹۸	همگن سازی با فشار بالا
۹۹	میکروسیال سازی
۱۰۰	ب) امولسیون سازی با انرژی پایین
۱۰۰	امولسیون سازی خود به خود
۱۰۱	فصل سوم: روش های شناسایی نانو مواد
۱۰۱	مقدمه
۱۰۲	روش آنالیز کمی پراش پرتو اشعه ایکس XRD
۱۰۵	محاسبه اندازه دانه های پودر توسط XRD
۱۰۶	کاربردهای آنالیز XRD
۱۰۷	روش طیف سنجی فلئوئورسانس پرتو ایکس XRF
۱۱۰	کاربردهای آنالیز XRF
۱۱۲	روش طیف سنجی الکترونی برای آنالیز شیمیایی ESCA
۱۱۵	کاربردهای آنالیز XPS
۱۱۵	آنالیز طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز FT-IR
۱۱۸	کاربردهای آنالیز FT-IR
۱۲۰	آنالیز طیف سنجی رامان
۱۲۲	کاربردهای آنالیز رامان
۱۲۳	آنالیز میکروسکوپ نیروی اتمی AFM
۱۲۷	مدهای مختلف AFM
۱۲۸	مدهای تماسی
۱۲۸	الف) مد نیرو ثابت
۱۲۹	ب) مد ارتفاع ثابت
۱۲۹	مد شبه تماسی
۱۳۰	الف) مد دامنه ثابت
۱۳۱	مد غیر تماسی
۱۳۲	هندسه تیرک
۱۳۲	سوزن ها

کاربردهای آنالیز AFM	۱۳۳
میکروسکوپ روبشی تونلی (STM)	۱۳۳
مد جریان ثابت	۱۳۵
مد ارتفاع ثابت	۱۳۶
میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)	۱۳۷
اجزای دستگاه SEM	۱۳۹
تفنگ الکترونی	۱۴۱
انواع نشانه‌های الکتریکی	۱۴۲
الکترون‌های ثانویه	۱۴۲
الکترون‌های برگشتی	۱۴۴
الکترون‌های اوژه	۱۴۵
پرتوهای X مشخصه	۱۴۵
عدسی‌های جمع‌کننده	۱۴۶
عدسی‌های همگرا کننده	۱۴۶
عدسی شیئی	۱۴۶
سیستم خلأ	۱۴۷
دلایل نیاز به خلأ بالا در SEM	۱۴۷
محفظه نمونه	۱۴۷
مراحل آماده‌سازی سطح نمونه	۱۴۹
وسایل آماده‌سازی سطح نمونه	۱۴۹
پوشش دادن سطح نمونه	۱۴۹
آشکارسازهای الکترونی	۱۵۱
آشکار ساز E-T	۱۵۱
آشکارسازهای انحصاری الکترون‌های برگشتی	۱۵۲
آشکارساز کاتدولومینسانس	۱۵۳
محدودیت‌های SEM	۱۵۴
کاربردهای SEM	۱۵۴
میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)	۱۵۴
اجزای دستگاه TEM	۱۵۶

۱۵۷	تفنگ الکترونی
۱۵۷	فیلامنت تنگستن
۱۶۰	سیستم عدسی های الکترومغناطیس
۱۶۱	عدسی های چگالنده
۱۶۲	عدسی شیئی
۱۶۳	عدسی های میانی
۱۶۴	عدسی تصویری (نمایشی)
۱۶۴	محفظه نگه داری نمونه
۱۶۵	پمپ های خلا
۱۶۵	دوربین و صفحه نمایش
۱۶۵	سیستم تامین انرژی میکروسکوپ
۱۶۶	سیستم کاهش آلودگی
۱۶۶	تشکیل تصویر در TEM
۱۶۷	تصاویر زمینه روشن
۱۶۸	تصاویر زمینه تاریک
۱۶۹	تصاویر میکروسکوپ الکترونی رزولوشن بالا
۱۶۹	آماده سازی نمونه برای میکروسکوپ TEM
۱۷۰	الکتروپولیش و پولیش شیمیایی
۱۷۱	پولیش مکانیکی
۱۷۲	سایش یونی و اتمی
۱۷۳	اولترامیکروتومی
۱۷۳	استفاده از رپلیکا
۱۷۴	کاربردهای آنالیز TEM
۱۷۴	میکروسکوپ الکترونی عبوری روبشی
۱۷۵	میکروسکوپ الکترونی با قدرت تفکیک بالا
۱۷۵	روش آنالیز حرارتی
۱۷۶	آنالیز توزین حرارتی (TGA)
۱۷۸	ویژگی های نمونه TGA
۱۷۹	کاربردهای آنالیز TGA

۱۷۹	 دیلاتومتری
۱۸۰	 آنالیز ترمومکانیکی (TMA)
۱۸۰	 کاربردهای TMA
۱۸۱	 آنالیز مکانیکی دینامیکی (DMA)
۱۸۱	 کاربردهای DMA
۱۸۱	 آنالیز حرارتی افتراقی (DTA)
۱۸۳	 عوامل موثر بر نتایج آنالیز حرارتی افتراقی
۱۸۳	 پویش گرماسنجی افتراقی DSC
۱۸۴	 کاربردهای آنالیز حرارتی افتراقی و پویش گرماسنجی افتراقی
۱۸۵	 روش آنالیز DLS
۱۸۷	 کاربردهای DLS
۱۸۹	 روش آنالیز UV-Vis
۱۹۰	 کاربردهای آنالیز UV-Vis
۱۹۱	 آنالیز BET
۱۹۳	 کاربردهای آنالیز BET
۱۹۳	 منابع

فهرست شکل ها، نمودارها و جدول ها

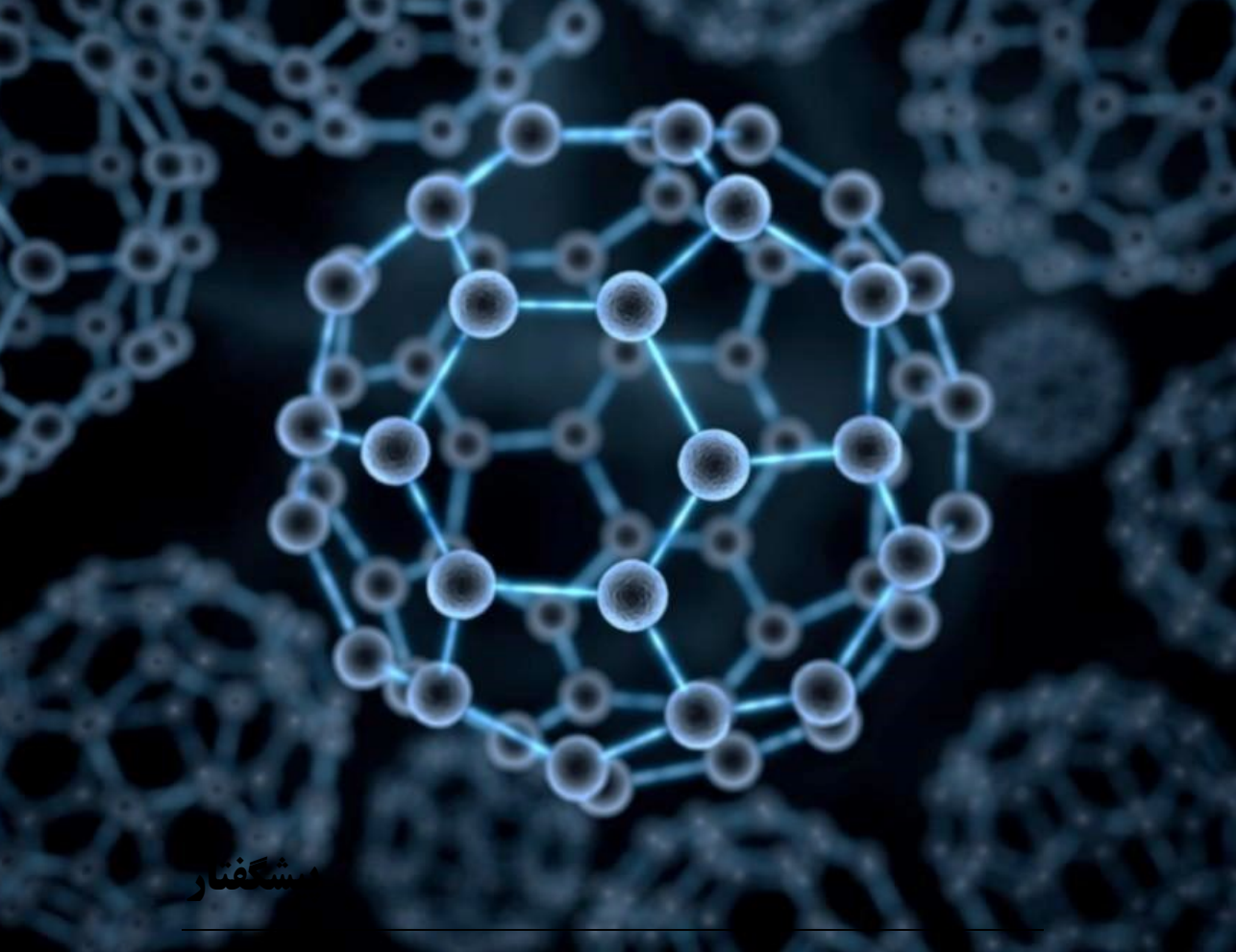
عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوساختار صفربعدی.....	۲۴
شکل ۲-۱: مورفولوژی های مختلف نانوساختارهای تک بعدی TiO_2 سنتز شده.....	۲۵
شکل ۳-۱: نانو پوشش ZnO.....	۲۶
شکل ۴-۱: مقایسه انواع نانوساختارها.....	۲۷
شکل ۱-۲: شماتیک روش پایین به بالا.....	۲۹
شکل ۲-۲: مقایسه روش بالا به پایین و پایین به بالا.....	۳۲
شکل ۳-۲: آسیاب نوع SPEX۸۰۰۰ و محفظه کاربید تنگستن.....	۳۴
شکل ۴-۲: تصاویر آسیاب افقی غلتان.....	۳۵
شکل ۵-۲: تصاویر آسیاب سیاره ای.....	۳۶
شکل ۶-۲: مراحل سنتز نانوذرات به روش سل-ژل.....	۳۸
شکل ۷-۲: تصاویر شماتیک فرآیند سل-ژل.....	۳۸
شکل ۸-۲: فرآیند هیدرولیز در روش سل-ژل.....	۳۹
شکل ۹-۲: واکنش تراکم در فرآیند سل-ژل.....	۴۰
شکل ۱۰-۲: محدوده امواج صوتی.....	۴۲
شکل ۱۱-۲: نمودار مراحل تشکیل حباب.....	۴۴
شکل ۱۲-۲: شماتیک فرآیند سونوشیمیایی.....	۴۵
شکل ۱۳-۲: تصویری از آبکاری نقره.....	۴۹
شکل ۱۴-۲: تصویر شماتیک فرآیند اکسایش - کاهش.....	۵۰
شکل ۱۵-۲: لایه اکسیدی از نوع سدی.....	۵۱
شکل ۱۶-۲: لایه اکسیدی از نوع متخلخل.....	۵۲
شکل ۱۷-۲: تصویر شماتیک دستگاه پلاسمای RF.....	۵۳
شکل ۱۸-۲: تصویری از یک دستگاه اتوکلاو.....	۵۵
شکل ۱۹-۲: تاثیر فرآیند هیدروترمال بر انجام واکنش.....	۵۵

- شکل ۲-۲۰: تشکیل مایسل توسط سورفکتانت..... ۵۶
- شکل ۲-۲۱: تصویر شماتیک استفاده از قالب ب: تصاویر SEM استفاده از قالب..... ۵۸
- شکل ۲-۲۲: تصویر شماتیک فرآیند CVD..... ۵۹
- شکل ۲-۲۳: مراحل انجام فرآیند CVD..... ۵۹
- شکل ۲-۲۴: تصویر شماتیک لیزر پالسی الف: نمونه جامد، ب: نمونه مایع..... ۶۱
- شکل ۲-۲۵: مراحل احتراق محلول و تشکیل نانوذرات..... ۶۲
- شکل ۲-۲۶: نمونه ای از سنتز نانوذرات نقره به روش سنتز سبز..... ۶۴
- شکل ۲-۲۷: تصاویر SEM الف: نانومیله ب: نانوالیاف ج: نانولوله..... ۶۴
- شکل ۲-۲۸: مقایسه ساختار مواد کریستال، پلی کریستال و آمورف..... ۶۵
- شکل ۲-۲۹: دستگاه شماتیک رسوبدهی الکتروشیمیایی..... ۶۷
- شکل ۲-۳۰: تصویر شماتیک رسوبدهی الکتروفوریتیک..... ۶۷
- شکل ۲-۳۱: تصویر شماتیک دستگاه تخلیه قوس الکتریکی..... ۷۰
- شکل ۲-۳۲: تصویر شماتیک دستگاه سایش لیزری..... ۷۲
- شکل ۲-۳۳: قالب آلومینیوم اکسید آندی در سنتز نانوالیاف..... ۷۴
- شکل ۲-۳۴: فرآیند الکترورسی و تصویر SEM نانوالیاف..... ۷۵
- شکل ۲-۳۵: دسته‌بندی نانومواد دوبعدی..... ۷۶
- شکل ۲-۳۶: مکانیزم روش لیتوگرافی..... ۷۹
- شکل ۲-۳۷: نمودار تنش - کرنش..... ۸۱
- شکل ۲-۳۸: روش های تغییر شکل پلاستیک شدید..... ۸۲
- شکل ۲-۳۹: تصویر شماتیک فرآیند پرس در کانال زاویه دار..... ۸۴
- شکل ۲-۴۰: تصویر شماتیک فورج چند جهته..... ۸۵
- شکل ۲-۴۱: تصویر شماتیک فشردن تناوبی..... ۸۶
- شکل ۲-۴۲: تصویر شماتیک و مراحل فرآیند ARB..... ۸۷
- شکل ۲-۴۳: تصویر شماتیک کنگره‌دار کردن و صاف کردن متوالی..... ۸۸
- شکل ۲-۴۴: طرح‌واره سیستم لایه نشانی کندوپاش..... ۹۰
- شکل ۲-۴۵: تصویر دستگاه اسپراترینگ..... ۹۱

- شکل ۲-۴۶: تشکیل گرافن با استفاده از AFM..... ۹۳
- شکل ۲-۴۷: تشکیل گرافن الف: از گرافیت ب: از متان..... ۹۵
- شکل ۲-۴۸: تصویر شماتیک امولسیون پایه آبی و پایه روغنی..... ۹۶
- شکل ۲-۴۹: شماتیک امولسیونسازی با دستگاه التراسونیک..... ۹۸
- شکل ۲-۵۰: تصاویر شماتیک دستگاه همگنساز با فشار بالا..... ۹۹
- شکل ۲-۵۱: تصویر شماتیک دستگاه میکروسیالاساز..... ۱۰۰
- شکل ۳-۱: پراش پرتو x توسط یک بلور..... ۱۰۴
- شکل ۳-۲: شمای کلی عملیات انجام گرفته در XRD..... ۱۰۴
- شکل ۳-۳: نمونه اطلاعات ثبت شده از یک پراش..... ۱۰۵
- شکل ۳-۴: شماتیک کلی فیزیک XRF و اساس کار دستگاه فلورسانس..... ۱۰۸
- شکل ۳-۵: نمایی از طیف سنجی پرتو ایکس سرب..... ۱۰۹
- شکل ۳-۶: اصول XPS و مکانیزم تولید فوتوالکترتون در اثر تابش اشعه X..... ۱۱۳
- شکل ۳-۷: طیف XPS فویل آلومینیومی اکسید شده..... ۱۱۴
- شکل ۳-۸: نمونه اطلاعات ثبت شده از یک طیف FTIR..... ۱۱۷
- شکل ۳-۹: نمونه اطلاعات ثبت شده از یک طیف رامان مربوط به گرافن..... ۱۲۲
- شکل ۳-۱۰: اجزاء کلی میکروسکوپ نیروی اتمی و عملکرد آنها..... ۱۲۴
- شکل ۳-۱۱: منحنی تابعیت نیروی وارد بر سوزن از فاصله سوزن از سطح..... ۱۲۵
- شکل ۳-۱۲: ساختار هندسه سه بعدی سطح قسمتی از یک مدار مجتمع..... ۱۲۶
- شکل ۳-۱۳: ساختار هندسه سه بعدی حافظه CD تهیه شده توسط AFM..... ۱۲۶
- شکل ۳-۱۴: نیروهای وارد بر تیرک در فاصله های مختلف از سطح نمونه..... ۱۲۷
- شکل ۳-۱۵: مقایسه نمادین بین حالت تماسی و حالت غیر تماسی..... ۱۲۸
- شکل ۳-۱۶: نمونه ای از تیرک های بازو مثلثی و نمونه ای از تیرک های تخته گونه..... ۱۳۲
- شکل ۳-۱۷: شکل های سوزن شامل نوک تیز، نوک T، نوک کروی و نوک تخت..... ۱۳۲
- شکل ۳-۱۸: مقایسه بین سوزن های نوک تیز و T شکل..... ۱۳۳
- شکل ۳-۱۹: نمایش نمادین اجزای اصلی و اصول عملکرد دستگاه STM..... ۱۳۴
- شکل ۳-۲۰: مسیر سوزن در مد جریان ثابت..... ۱۳۵

- شکل ۳-۲۱: ساختار اتمی سیلیکون و ساختار اتمی یک نانو تیوپ تک جداره ۱۳۶
- شکل ۳-۲۲: مسیر سوزن در مد ارتفاع ثابت ۱۳۷
- شکل ۳-۲۳: تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی ۱۳۸
- شکل ۳-۲۴: تصاویر گرفته شده توسط SEM ۱۳۸
- شکل ۳-۲۵: اجزای دستگاه SEM ۱۴۰
- شکل ۳-۲۶: شماتیک لنزهای دستگاه SEM ۱۴۱
- شکل ۳-۲۷: سیگنال‌های دریافتی از نمونه در اثر برخورد باریکه الکترونی ۱۴۲
- شکل ۳-۲۸: الکترون ثانویه ۱۴۳
- شکل ۳-۲۹: اثر لبه‌ها در سهولت خروج الکترون‌های ثانویه از سطح ۱۴۳
- شکل ۳-۳۰: الکترون برگشتی ۱۴۴
- شکل ۳-۳۱: نمایی از الکترون‌های ثانویه نوع ۱، ۲، ۳ و الکترون‌های برگشتی ۱۴۴
- شکل ۳-۳۲: نمایش خروج الکترون اوژه از سطوح انرژی یک اتم ۱۴۵
- شکل ۳-۳۳: تصویر جا نمونه‌ای و حالات مختلف حرکت آن ۱۴۸
- شکل ۳-۳۴: آماده سازی سطح نمونه ۱۴۹
- شکل ۳-۳۵: پوشش‌دهی به روش تخلیه پلاسمایی گاز ۱۵۰
- شکل ۳-۳۶: آشکارساز Everhart-Thornley ۱۵۲
- شکل ۳-۳۷: آشکارساز کاتدولومینسانس ۱۵۳
- شکل ۳-۳۸: میکروسکوپ الکترونی عبوری ۱۵۵
- شکل ۳-۳۹: تصاویر گرفته شده توسط TEM ۱۵۶
- شکل ۳-۴۰: شماتیک فیلامنت تنگستن ۱۵۸
- شکل ۳-۴۱: تفنگ الکترونی گسیل میدانی ۱۵۹
- شکل ۳-۴۲: تصویر عدسی‌های مغناطیسی ۱۶۱
- شکل ۳-۴۳: اپتیک عدسی شیئی و اولین عدسی میانی ۱۶۴
- شکل ۳-۴۴: تصاویر زمینه روشن ۱۶۷
- شکل ۳-۴۵: تصاویر زمینه تاریک و زمینه روشن ۱۶۹
- شکل ۳-۴۶: صفحه ضخیم و ناصاف، نازک‌تر و صاف‌تر شده و نهایتاً سوراخ شده ۱۷۱

- شکل ۳-۴۷: شبکه توری ساده، شبکه یابنده و شبکه شکاف دار برای نمونه های بزرگ..... ۱۷۱
- شکل ۳-۴۸: شماتیک سایش یونی و اتمی..... ۱۷۳
- شکل ۳-۴۹: شماتیک فرایند آنالیز حرارتی..... ۱۷۶
- شکل ۳-۵۰: نمودار آنالیز حرارتی TGA..... ۱۷۷
- شکل ۳-۵۱: نمودار مشتق توزین حرارتی DTG..... ۱۷۹
- شکل ۳-۵۲: منحنی دیلاتومتری یک ترکیب پلیمری..... ۱۸۰
- شکل ۳-۵۳: تجزیه حرارتی کائولن..... ۱۸۲
- شکل ۳-۵۴: آنالیز DLS مربوط به نمونه بیوپلیمر کیتوسان..... ۱۸۷
- شکل ۳-۵۵: طیف آنالیز UV-Vis مربوط به نمونه متیلن بلو..... ۱۹۰
- شکل ۳-۵۶: ایزوترم جذب و واجذب نمونه چهارچوب فلز- آلی..... ۱۹۲
- جدول ۳-۱: آمار توصیفی مربوط به نمونه بیوپلیمر کیتوسان..... ۱۸۷
- نمودار ۲-۱: انواع روش های سنتز نانو مواد..... ۲۹



میشگفتار

فناوری نانو به عنوان یکی از نوآورانه‌ترین و پرکاربردترین فناوری‌های عصر حاضر شناخته می‌شود که تأثیرات شگرفی در حوزه‌های مختلف علمی، صنعتی و زندگی روزمره به جا گذاشته است. با توانایی تغییر خواص مواد در ابعاد نانومتری، این فناوری امکان دستیابی به خواصی مانند افزایش استحکام، بهبود خواص الکتریکی و مغناطیسی، و بهبود واکنش‌های شیمیایی را فراهم کرده است. از همین رو، شناخت دقیق روش‌های ساخت و شناسایی نانومواد از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که این مواد، اساس بسیاری از دستاوردهای علمی و فناوری نوین را تشکیل می‌دهند.

کتاب حاضر با عنوان "روش‌های ساخت و شناسایی نانومواد" به هدف ارائه مرجعی جامع و کاربردی برای دانشجویان، پژوهشگران و فعالان حوزه فناوری نانو نگاشته شده است. در این کتاب، ابتدا به معرفی مفاهیم بنیادین نانوفناوری و تاریخچه آن پرداخته می‌شود تا خواننده درک

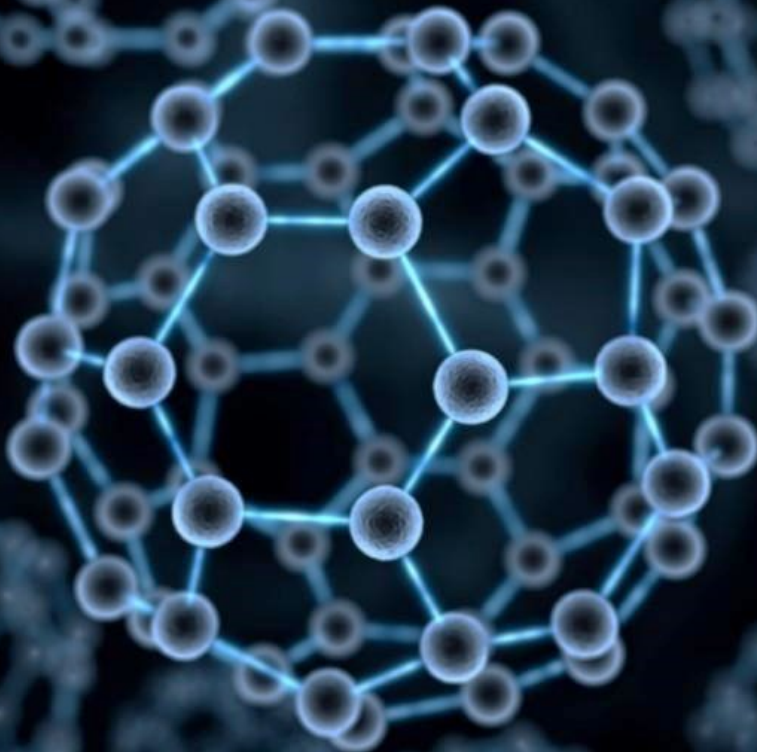
بهتری از مسیر تکامل این فناوری داشته باشد. سپس، روش های مختلف تولید نانوذرات که یکی از بخش های مهم و اساسی این علم است، مورد بررسی قرار می گیرد. این روش ها به دو دسته اصلی روش های بالا به پایین و روش های پایین به بالا تقسیم می شوند که هر یک از این روش ها بر مبنای اصول علمی و فنی خاصی استوارند و در کاربردهای مختلف، مورد استفاده قرار می گیرند.

در ادامه، به روش های شناسایی نانوذرات پرداخته شده است. با توجه به ابعاد بسیار کوچک نانوذرات، شناسایی و تحلیل دقیق ویژگی های آنها نیازمند ابزارهای پیشرفته و روش های میکروسکوپی مدرنی است که در این بخش به تفصیل معرفی و تشریح شده اند. ابزارهایی مانند میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از جمله ابزارهای کلیدی برای بررسی ساختار، اندازه و ویژگی های نانوذرات محسوب می شوند.

این کتاب با ارائه اطلاعاتی جامع و عملی درباره ی روش های تولید و شناسایی نانومواد، می تواند به عنوان یک منبع ارزشمند در مسیر تحقیقات و توسعه فناوری های نوین در این حوزه مفید باشد. امید است که این اثر، گامی مؤثر در راستای توسعه دانش نانوفناوری و کاربردهای آن بردارد و برای خوانندگان خود سودمند و الهام بخش باشد.

جواد ملکوتی خواه و همکاران

پاییز ۱۴۰۴



۱. اصل اول

معرفی به نانو

مقدمه

نانو علمی است که به بررسی ویژگی‌های نانومواد، فرآیند تولید آن‌ها و کاربردها در بهبود خواص مواد می‌پردازد. دلیل این موضوع آن است که بسیاری از ویژگی‌های مواد در ابعاد نانومتری با خواص آن‌ها در مقیاس ماکروسکوپی^۱ متفاوت است. فناوری نانو امکان کنترل دقیق ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و نوری مواد را در سطح اتمی فراهم می‌کند.

هرچند که علم نانو به شکل امروزی نسبتاً جدید به نظر می‌رسد، اما ریشه‌های آن به صدها سال پیش بازمی‌گردد. برای مثال، شیمیدانان در گذشته از روش‌هایی بهره می‌گرفتند که

^۱ ماکروسکوپی عموماً برای توصیف اشیاء فیزیکی قابل مشاهده و اندازه‌گیری توسط چشم غیر مسلح بکار می‌رود. مقیاس ماکروسکوپی معمولاً در برابر مقیاس میکروسکوپی (ریزمقیاس) مطرح می‌شود که به اشیاء دارای ابعاد هندسی ریز می‌پردازد.

شباهتهایی با فناوری های نانو امروزی دارند. نمونه هایی مانند شیشه های رنگارنگ کلیساهای قرون وسطی یا شمشیرهایی که در کاوش های باستان شناسی در سرزمین های اسلامی کشف شده اند، نشان می دهند که انسان از دیرباز با استفاده از برخی تکنیک های مشابه فناوری نانو، به بهبود فرایندها و ساخت ابزارهای باکیفیت تر پرداخته است. با این حال، به دلیل محدودیت فناوری در گذشته و عدم دسترسی به ابزارهایی مانند میکروسکوپ های نیروی اتمی و تونلی پیمایشی، این دانش به طور مشخص تعریف نشده بود.

تعریف فناوری نانو

فناوری نانو یک حوزه میان رشته ای است که در علوم کاربردی گوناگونی مانند فیزیک، مهندسی مواد، الکترونیک و سایر حوزه ها نفوذ کرده است. این فناوری به تنهایی یک علم مستقل محسوب نمی شود، بلکه به عنوان ابزاری برای کاربردی کردن علوم مختلف عمل می کند. فناوری نانو را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

- فناوری نانو شامل تحقیق و مطالعه ویژگی ها و خواص مواد در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است.
- با استفاده از این فناوری، می توان ساختارهای نانویی ایجاد کرد که ویژگی های آن ها با ساختارهای ماکروسکوپی همان مواد تفاوت دارند.
- همچنین، از طریق کنترل ویژگی ها در مقیاس نانومتری، می توان تغییرات قابل توجهی در رفتار اتم ها ایجاد کرد.

در ابعاد نانومتری، مواد ممکن است خواص منحصر به فرد و غیر عادی از خود نشان دهند. برای مثال، تغییر اندازه یک ذره می تواند رنگ آن را تغییر دهد. دلیل این تغییر، نحوه بازتاب نور توسط آرایش اتم ها در مقیاس نانومتری است. به عنوان نمونه، نانوذرات طلا می توانند به رنگ قرمز تیره یا بنفش دیده شوند (که این پدیده به دلیل نوسانات پلاسمون های سطحی محلی در اثر تابش نور است)، در حالی که نقره می تواند زرد یا کهربایی به نظر برسد. در نمونه ای دیگر، فناوری نانو می تواند سطح یک ماده را افزایش دهد. این افزایش سطح، منجر به تعامل

بیشتر اتم‌ها با مواد دیگر می‌شود که به خواصی مانند افزایش مقاومت، رسانایی بیشتر و دوام بالاتر مواد نانومتری نسبت به همتایان ماکروسکوپی آن‌ها منجر می‌گردد. به منظور درک دقیق‌تر مقیاس نانو، می‌توان به مثال‌های ملموسی اشاره کرد که ابعاد و ویژگی‌های این فناوری را به‌وضوح نشان می‌دهند.

- طول پیوند کربن-کربن معمولی، یا فاصله بین این اتم‌ها در یک مولکول، در محدوده ۰/۱۲ - ۰/۱۵ نانومتر است.

- قطر دو مارپیچ DNA حدود ۲ نانومتر است.

- کوچک‌ترین اشکال حیات سلولی، باکتری‌های جنس مایکوپلاسما، حدود ۲۰۰ نانومتر طول دارند.

به منظور درک بهتر مفاهیم نانو و مطالب ذکر شده در این کتاب، تعاریف زیر برای اصطلاحات کلی پیشنهاد شده است:

- مقیاس نانو: دارای یک یا چند بعد در حد ۱۰۰ نانومتر یا کمتر.
- علم نانو: مطالعه پدیده‌ها و دستکاری مواد در مقیاس اتمی، مولکولی و ماکرومولکولی، که در آن خواص به‌طور قابل توجهی با مقیاس بزرگتر متفاوت است.
- نانو تکنولوژی: طراحی، شناسایی، تولید و کاربرد ساختارها، دستگاه‌ها و سیستم‌ها با کنترل شکل و اندازه در مقیاس نانو.
- نانومواد: موادی با یک یا چند بعد خارجی یا ساختار داخلی که می‌تواند ویژگی‌های جدیدی را در مقایسه با مواد مشابه بدون ویژگی‌های نانومقیاس نشان دهد.
- نانوذرات: ذرات با یک یا چند بعد در مقیاس نانو (توجه: در گزارش حاضر نانوذرات دارای دو یا چند بعد در مقیاس نانو در نظر گرفته شده‌اند).
- نانوکامپوزیت: کامپوزیتی که در آن حداقل یکی از فازها دارای حداقل یک بعد در مقیاس نانو باشد.

- نانوساختار: داشتن ساختار در مقیاس نانو.

فناوری نانو با قابلیت های متنوع خود پتانسیل ایجاد تأثیرات چشمگیری بر جامعه دارد. صنایع مختلفی از جمله اطلاعات و ارتباطات (به ویژه در حوزه های الکترونیک و الکترونیک نوری)، فناوری غذا، انرژی، و محصولات پزشکی تحت تأثیر این فناوری قرار گرفته اند. در بخش پزشکی، نانوپزشکی و بیونانوتکنولوژی به طور خاص مورد توجه قرار گرفته اند و کاربردهای متنوعی در داروسازی، سیستم های تحویل دارو، فناوری های تشخیصی، و پزشکی پیشرفته دارند. علاوه بر این، محصولات مبتنی بر فناوری نانو می توانند راه حل های نوآورانه ای برای کاهش آلودگی محیط زیست ارائه دهند.

بررسی روش های سنتز مواد نانومتری و شناسایی ویژگی های منحصر به فرد آن ها، گامی کلیدی در جهت بهره برداری از این مواد در صنایع مختلف است. در این راستا، این کتاب به منظور دستیابی آسان تر و سریع تر به روش های سنتز ترکیبات نانومتری، روش های موجود را بر اساس ابعاد نانوساختارها دسته بندی کرده است. برای شروع، ابتدا تقسیم بندی نانوساختارها بر اساس ابعاد آن ها ارائه شده است تا مخاطبان با اصول پایه آشنا شوند.

تقسیم بندی نانوساختارها بر اساس ابعاد

تمام اجسام در جهان از سه بعد اصلی تشکیل شده اند. زمانی که حداقل یکی از این ابعاد در محدوده نانومتری (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) قرار گیرد، آن ماده به عنوان یک ماده نانوساختار شناخته می شود. در این میان، ابعادی که در مقیاس نانو نیستند، به عنوان "بعد آزاد" شناخته می شوند، زیرا محدودیتی در اندازه ندارند. نانومواد بر اساس تعداد ابعاد آزادی که دارند، طبقه بندی می شوند.

نانومواد صفر بعدی (D۰)

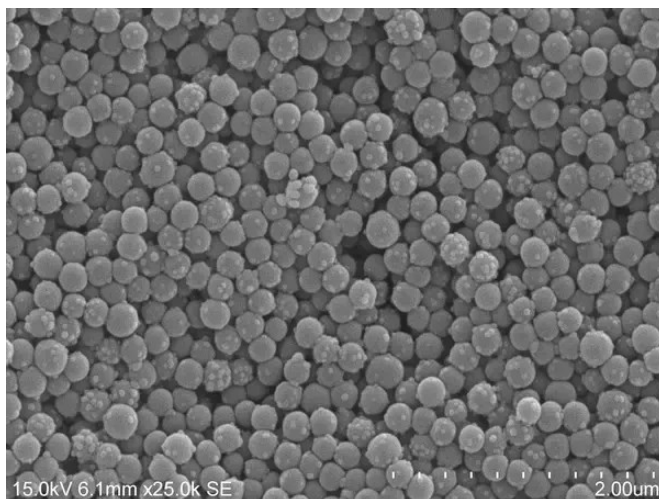
موادی که در هر سه بعد اندازه‌ای در مقیاس نانومتری دارند و هیچ بعد آزادی ندارند، نانومواد صفر بعدی نامیده می‌شوند. این دسته از مواد، که گاهی به آن‌ها نانوذرات نیز گفته می‌شود، ویژگی‌هایشان تحت تأثیر اندازه و جنس ذرات است.

در شکل (۱-۱)، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوساختارهای صفر بعدی نشان داده شده است. نانوذرات بسته به نوع کاربردشان، می‌توانند اشکال مختلفی مانند کروی، بیضوی، مکعبی، منشوری یا ستونی داشته باشند. این ذرات ممکن است از یک ماده یا ترکیبی از چند ماده تشکیل شده باشند و به صورت خالص یا مخلوط وجود داشته باشند. کاربردهای نانوذرات:

- صنایع خودروسازی: ساخت بدنه‌های ضد خش، شیشه‌های ضد بخار و لاستیک‌های مقاوم.
- پزشکی: تولید داروهای نوین و ابزارهای تشخیصی پیشرفته.
- محیط‌زیست: تصفیه آب و فاضلاب.
- الکترونیک و صنایع نظامی: تولید تجهیزات پیشرفته و مقاوم.

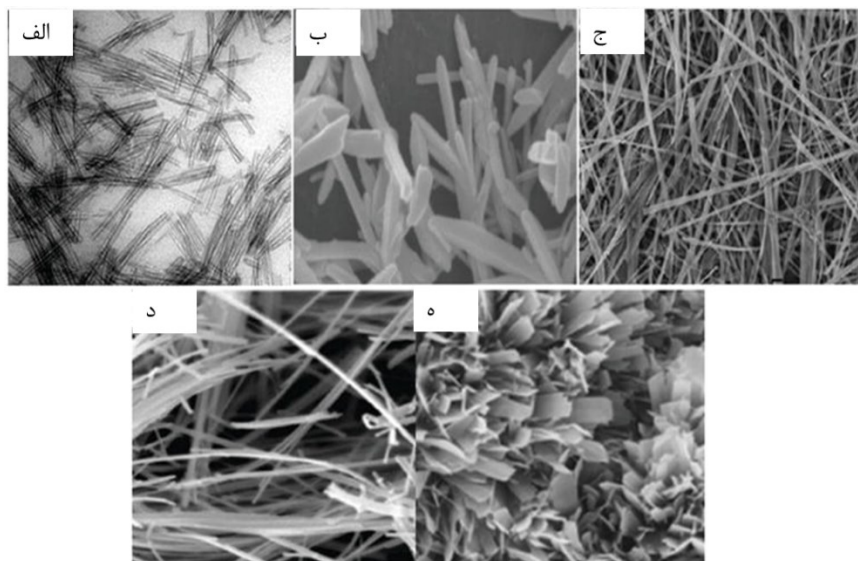
نانومواد تک بعدی (۱D)

نانومواد تک بعدی دارای دو بعد در مقیاس نانو و یک بعد آزاد هستند. نمونه‌هایی از این دسته شامل نانوسیم‌ها، نانومیل‌ها، نانولوله‌ها و نانوالیاف می‌شود. این مواد به دلیل خواص ویژه مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی‌شان کاربردهای گسترده‌ای دارند. در شکل (۱-۲)، نمونه‌هایی از نانوساختارهای تک بعدی ارائه شده است که نمایانگر تنوع و قابلیت‌های این مواد در حوزه‌های مختلف صنعتی هستند.



شکل ۱-۱: تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از نانوساختار صفر بعدی

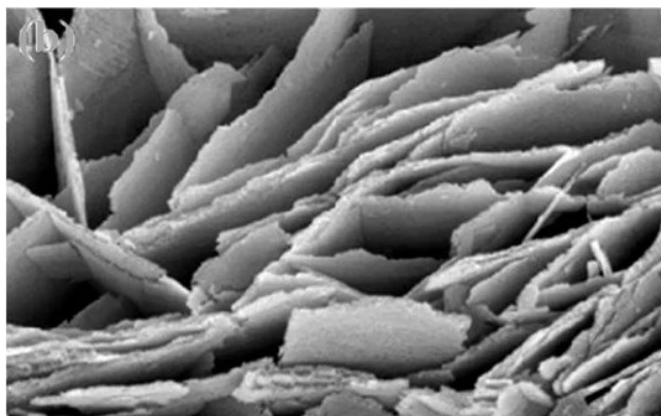
عوامل تاثیرگذار بر خواص نانوساختارهای تک بعدی عبارتند از جنس و نسبت طول به قطر. مهم ترین ویژگی نانوساختارهای تک بعدی فلزی هدایت الکتریکی آنها در راستای محور سیم است. نانوسیم ها کاربردهای زیادی در بخش های مختلف مانند ساخت رایانه های بسیار کوچک با سرعت بسیار بالا، ساخت لیزرهای بسیار کوچک، تشخیص بیماری ها، حافظه های مغناطیسی و... دارند. همانند نانو مواد تک بعدی، نانوسیم ها نیز می توانند به صورت خالص و یا ترکیبی از چند نوع ماده مختلف باشند.



شکل ۲-۱: مورفولوژی های مختلف نانوساختارهای تک بعدی TiO₂ سنتز شده به روش هیدروترمال: (الف) نانولوله، (ب) نانومیل، (ج) نانو کمربند، (د) نانوسیم، و (ه) نانوصفحات.

نانومواد دو بعدی (۲D)

نانومواد دو بعدی دارای دو بعد آزاد و یک بعد در مقیاس نانومتری هستند. این دسته از مواد معمولاً به شکل لایه های نازک یا پوشش های سطحی تولید می شوند. در شکل (۳-۱)، نمونه ای از نانوساختار دو بعدی با عنوان نانوپوشش ZnO نشان داده شده است. به همین دلیل، این مواد گاهی با نام "نانوپوشش" نیز شناخته می شوند.



شکل ۱-۳: نانو پوشش ZnO

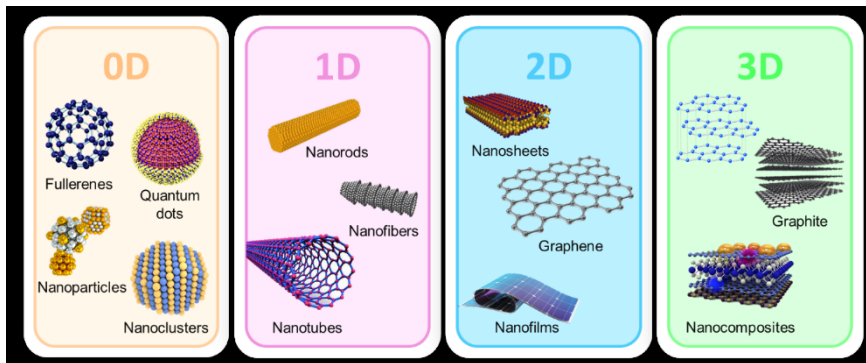
عوامل مؤثر بر ویژگی های نانوپوشش ها (نانومواد دو بعدی) شامل جنس و ضخامت آنها هستند. به عنوان نمونه، سلفون هایی که برای نگهداری مواد غذایی استفاده می شوند، نوعی پوشش محسوب می گردند. اگر ضخامت این سلفون ها به ابعاد نانومتری برسد، به آنها نانوپوشش گفته می شود. نانوپوشش ها لایه هایی هستند که ضخامت آنها بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است و به صورت پوشش بر روی مواد دیگر اعمال می شوند. این لایه ها قادرند خواص و ویژگی های ماده زیرین را تغییر دهند. همانند نانومواد صفر و تک بعدی، نانوپوشش ها نیز می توانند از یک ماده خالص یا ترکیبی از چند ماده مختلف ساخته شوند.

نانومواد سه بعدی (۳D)

بنابر تعریفی که ارائه شده است، موادی که هر سه بعد آنها در مقیاس آزاد قرار دارند، نانومواد سه بعدی نامیده می شوند. در این نوع مواد، هرچند ابعاد کلی در مقیاس ماکرو هستند، اما اجزای سازنده آنها (مانند دانه های بلوری یا ذرات تقویت کننده) در مقیاس نانو قرار دارند. بنابراین، این مواد از نظر ساختاری، نانوساختار محسوب می شوند. با این حال، این تعریف با تعریف نانومواد نانوساختار تناقض دارد، زیرا هیچ یک از سه بعد این مواد در مقیاس نانو نیست. این گروه شامل نانوکامپوزیت ها (مواد مرکبی که از چندین جزء تشکیل شده اند) و مواد حجیم نانوساختار (یا مواد توده ای نانوساختار) هستند.

مواد حجیم نانوساختار به موادی گفته می شود که اندازه واحدهای سازنده مجزای آنها حداقل در یک بعد، کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد. یکی از روش های بهبود خواص مواد، افزودن ترکیبات دیگر به آنها است. در این روش، ماده نهایی تولید شده را کامپوزیت یا ماده مرکب می نامند. به عنوان مثال، پلاستیک به طور طبیعی خاصیت رسانایی الکتریکی ندارد، اما با افزودن ذرات فلزی رسانا، می توان ماده ای با خاصیت رسانایی تولید کرد. در این حالت، ماده مرکب ممکن است از بیش از دو جزء تشکیل شده باشد که هر یک از اجزای اضافه شده، توانایی تقویت یکی از خواص ماده را دارد.

چنانچه حداقل یکی از اجزای این کامپوزیت، نانوساختار باشد، به ماده تولید شده نانوکامپوزیت گفته می‌شود. در شکل (۱-۴)، مقایسه‌ای از چهار نوع نانوماده نانوساختار ارائه شده است که تفاوت‌ها و ویژگی‌های آن‌ها را به تصویر می‌کشد.



شکل ۱-۴: مقایسه انواع نانوساختارها