

فهرست

۱..... مواد نانوبلوری توده‌ای

۲..... نانوذرات

۳..... نانوذرات نیمه‌رسانا (نقاط کوانتمی)

۴..... نانوذرات سرامیکی

۵..... نانو کامپوزیتهای نانوذره‌ای سرامیکی

۵..... نانوذرات فلزی

۵..... نانو کامپوزیتهای نانوذره‌ای فلزی

۶..... آئروژل‌ها

۶..... نانوروشها و نانولایه‌ها

۷..... نانو پوسته‌ها

۷..... مواد نانوحفره‌ای

۷..... مواد نانوحفره‌ای حاصل از حکاکی

۸..... نانوغشاهای الگو گرفته

۸..... نانولوله و نانومیل‌های الگو گرفته

۸..... زئولیت‌های مرسوم

۸..... زئولیت‌های نسل جدید M-41S، (MCM)

۸..... مواد زئولیتی کامپوزیت و آلی

۸..... شوارزیت‌ها

۹..... تک‌لایه‌های خودآرای الگو گرفته از مواد نانوحفره‌ای (SAMMS)

۹..... نانوساختارهای آلی منظم

۱۰..... درخت سان‌ها

۱۰..... درخت سان‌های آلی

۱۰..... درخت سان‌های آلی-معدنی

۱۰..... تک لایه های خودآرا (SAMS)

۱۱..... فیلم های لانگمیر- بلاجت (LB Film)

۱۲..... ترکیبات آلی فلزی

۱۲..... نانوقفس های آلی فلزی

۱۲..... الماسواره‌ها

۱۲..... مارپیچ‌ها

۱۲..... نانوالیاف

۱۲..... نانوالیاف پلیمری

۱۲..... نانو کامپوزیت‌های نانوالیافی پلیمری

۱۳..... لیفچه‌ها و نانوالیاف کربنی

۱۳..... نانو کامپوزیت‌های نانوالیاف کربنی

۱۳..... نانوالیاف سرامیکی

۱۳..... نانو کپسول‌ها

۱۴..... نانو کپسول‌های پلیمری

۱۴..... نانو امولسیون‌ها

۱۵..... نانو لوله‌ها

۱۵.....نانولوله‌های کربنی (CNTs)

۱۸.....نانو کامپوزیت‌های نانولوله‌ای کربنی

۱۸.....نانولوله‌های نیتريد بور

۱۸.....نانو کامپوزیت‌های نانولوله‌ای نیتريد بور

۱۸.....نانولوله‌های آلی

۱۸.....نانوساختارهای الگو گرفته از نانولوله

۱۹..... نانوسیم‌ها (سیم‌های کوانتومی)

۲۰.....نانوسیم‌های فلزی

۲۰.....نانو سیم‌های آلی

۲۰.....نانوسیم‌های پلیمری

۲۰.....نانوسیم‌های نیمه‌هادی

۲۱..... فولرین‌ها

۲۱.....فولرین‌های کربنی

۲۱.....فولرین‌های درون و جهی

۲۱.....مشتقات شیمیایی فولرین‌ها

۲۱.....فولرین‌های چندلایه

۲۱.....فولرین‌های غیر کربنی

۲۲..... ساختارهای معدنی متنوع

۲۲.....قفسه‌های چندوجهی

۲۲.....نانوشانه‌ها

۲۲ نانو حلقه‌ها

۲۲ نانو ملخ‌ها

۲۲ نانو میله‌ها

۲۳ نانوفنرها

۲۳ نانو تسمه‌ها

۲۳ نانو حلزون‌ها

۲۳ نانوقطعات الکترونیکی و نوری

۲۳ نانوقطعات الکترومکانیکی (MEMS/NEMS)

۲۴ نانو قطعات سیالاتی

چکیده

در منابع مختلف، عناصر پایه بر اساس نوع ساختار یا ابعاد آنها تقسیم‌بندی می‌شوند. در متن ارائه‌شده اساس تقسیم‌بندی نوع عنصر پایه مدنظر است، با توجه به ترکیب شیمیایی و شکل ظاهری، عناصر پایه به نانو ساختارهای دیگر مجزا می‌شوند. عناصر پایه نسل دوم نیز زیرمجموعه عنصر پایه‌ای قرار می‌گیرند که از آنها به وجود آمده‌اند.

در متن ارائه شده، سعی شده است برای همه عناصر پایه موارد تعریف، خواص و کاربرد آورده شود.

مواد نانوبلوری توده‌ای

مواد نانوبلوری توده‌ای از بلورهایی ساخته شده‌اند که شامل چندصد تا چندهزار اتم بوده و در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. ساختار نانوبلورها بدلیل فشردگی اتم‌ها در کنار یکدیگر کمترین انرژی آزاد سطحی را دارد. وقتی اندازه بلور در ماده به سمت نانومقیاس می‌رود، نسبت اتم‌های موجود بر روی مرز دانه‌ها به تعداد اتم‌های کل افزایش می‌یابد. رفتار اتم‌های مرزی کاملاً متفاوت از اتم‌های داخل ذره می‌باشد و رفتار کل ماده تحت تأثیر قرار می‌دهد. غالباً این پدیده در فلزات باعث افزایش استحکام، سختی، مقاومت الکتریکی، ظرفیت حرارتی ویژه، بهبود انبساط حرارتی، خواص مغناطیسی و کاهش رسانایی حرارتی و در سرامیک‌ها باعث افزایش چکش‌خواری، بهبود خواص مکانیکی و حرارتی می‌گردد.

برای ایجاد مواد نانوبلوری توده‌ای چندین روش وجود دارد که عبارتند از:

- فشردسازی پودر

- روش‌های متبلورسازی مواد آمورف اولیه

- فرآوری تغییر شکل پلاستیکی شدید^۱.

در روش فشردسازی پودر ابتدا ذرات نانومقیاسی تولید می‌شوند که متعاقباً توسط روش‌های استاتیکی یا دینامیکی به هم فشرده می‌شوند.

متبلورسازی مواد آمورف می‌تواند ریزترین مقیاس از نانوساختارها را تولید کند، اما محدود به موادی می‌شود که می‌توانند ابتدا به حالت آمورف برسند.

روش‌های فرآوری تغییر شکل پلاستیکی شدید تنها برای فلزات کاربرد دارند. کاهش اندازه بلور تقریباً در هر فلز باعث افزایش چشمگیر استحکام و در بسیاری مواد باعث افزایش چکش‌خواری می‌گردد. به خاطر اینکه چنین روش‌هایی می‌توانند در مقیاس بزرگ اجرا شوند، بسیار بیشتر از روش‌های دیگر برای تجاری‌سازی مورد توجه هستند. سرامیک‌های نانوبلوری خاصیت چکش‌خواری بیشتری را بروز می‌دهند، بدین معنی که این ترکیبات نسبت به مواد مشابه غیر بلوری شکنندگی کمتری دارند. این مسأله اجازه تبدیل شدن آنها به مفتول را می‌دهد و بر اساس خواص ابررسانایی برخی سرامیک‌ها، کاربردهایی را در پی خواهد داشت.

کاربردی‌ترین مواد نانوبلوری توده‌ای، فلزات نانوبلوری هستند که در صنایع خودروسازی، هوافضا و صنایع ساختمانی کاربرد دارند. فلزات نانوبلوری می‌توانند به جای فلزات و آلیاژهای ساختاری موجود مصرف شوند.

یکی از زمینه‌هایی که فلزات نانوبلوری مورد استفاده قرار می‌گیرند، تولید قطعات مستحکم مورد استفاده در صنایع خودروسازی است. در چنین مواردی پاسخ فوق‌العاده آنها در دماهای بالا، یعنی انبساط کمتر در اثر افزایش دما، از محاسن آنها به شمار می‌رود. اگر چه سرامیک‌ها می‌توانند در این زمینه رقابت کنند، اما معمولاً بسیار شکننده هستند. با

¹ Severe Plastic Deformation Processing

این وجود سرامیک‌های نانوبلوری انعطاف‌پذیرتر هستند و ممکن است در قطعاتی که نیازمند استحکام، مقاومت سایشی بالا و مقاومت در برابر دماهای بالا هستند، کاربرد داشته باشند.

نانوذرات

یک نانوذره، ذره‌ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. نانوذرات علاوه بر نوع فلزی، عایقها و نیمه هادی‌ها، نانوذرات ترکیبی، نظیر ساختارهای هسته‌لایه^۲ را نیز شامل می‌شود. نانوذرات در اندازه‌های پایین نانوخوشه^۳ به حساب می‌آیند. همچنین نانوکره‌ها، نانومیله‌ها، و نانوفنجان‌ها تنها اشکالی از نانوذرات در نظر گرفته می‌شوند.

نانوبلورها و نقاط کوانتومی نیمه‌هادی زیرمجموعه نانوذرات هستند. چنین نانوذراتی در زمینه‌های مختلف الکترونیکی و الکتریکی و بیودارویی به عنوان حامل دارو و عوامل تصویربرداری کاربرد دارند. تعیین مشخصات نانوذرات برای کنترل سنتز، خواص و کاربرد آنها ضروری است. مشخصات این ترکیبات با استفاده از روش‌های گوناگونی نظیر آنالیز میکروسکوپ الکترونی، AFM، طیف‌سنجی فوتوالکترونی، X-ray و FT-IR سنجیده می‌شود.

نانوذرات زمینه‌های کاربردی زیادی دارند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| ۱- مواد کامپوزیت | ۸- باتری‌ها و پیل‌های سوختی |
| ۲- کامپوزیت‌های ساختاری | ۹- روان‌کننده‌ها |
| ۳- کاتالیزور | ۱۰- پزشکی و داروسازی |
| ۴- بسته‌بندی | ۱۱- دارو رسانی |
| ۵- روکش‌ها | ۱۲- محافظت‌کننده‌ها |
| ۶- افزودنی‌های سوخت و مواد منفجره | ۱۳- آنالیز زیستی و تشخیص پزشکی |
| ۷- ساینده‌ها | ۱۴- لوازم آرایشی |

برای تولید نانوذرات روش‌های بسیار متنوعی وجود دارد. این روش‌ها اساساً به سه دسته تقسیم می‌شوند: چگالش از یک بخار، سنتز شیمیایی و فرآیندهای حالت جامد نظیر آسیاب کردن.

روش چگالش از بخار که شامل تبخیر فلز جامد سپس چگالش سریع آن برای تشکیل خوشه‌های نانومتری است که به صورت پودر ته‌نشین می‌شوند. روش تبخیر در خلاء بر روی مایعات روان (VERL)^۴ و روش سیم انفجاری

² Core-shell

³ Nanocluster

⁴ Vacuum Evaporation on Running Liquids

جزء روش‌های چگالش از بخار محسوب می‌شوند.

روش سنتز شیمیایی شامل رشد نانوذرات در محیط مایع حاوی انواع واکنشگرها است. روش سل ژل نمونه‌چنین روشی است، در روش‌های شیمیایی اندازه‌نهایی ذره را می‌توان با توقف فرآیند هنگامی که اندازه مطلوب به دست آمد یا با انتخاب مواد شیمیایی تشکیل دهنده ذرات پایدار و توقف رشد در یک اندازه خاص کنترل نمود. از روش فرایندهای جامد (آسیاب یا پودر کردن) می‌توان برای ایجاد نانوذرات استفاده نمود. از این روش می‌توان برای تولید نانوذرات از موادی استفاده نمود که در دو روش قبلی به آسانی تولید نمی‌شوند نانوذرات در حال حاضر از طیف وسیعی از مواد ساخته می‌شوند که رایج‌ترین آنها نانوذرات سرامیکی، فلزی، پلیمری و نانوذرات نیمه‌رسانا هستند.

نانوذرات نیمه‌رسانا (نقاط کوانتومی)^۵

نقطه کوانتومی یک ناحیه از بلور نیمه‌رسانا است که الکترونها، حفرها یا هر دو آنها (که اگزیتون نامیده می‌شوند) را در سه بعد در برمی‌گیرد. این ناحیه از چند نانومتر تا چند صد نانومتر را شامل می‌شود. در نقاط کوانتومی الکترونها درست مثل وضعیت یک اتم ترازهای مختلف انرژی را اشغال می‌کنند، به همین علت به آنها لفظ اتمهای مصنوعی نیز اطلاق می‌شود. در مقایسه با سیم کوانتومی که در دو بعد و لایه‌های کوانتومی که در یک بعد نانو هستند نقاط کوانتومی نانو ساختارهای سه بعدی هستند. این ترکیبات به دلیل بازده کوانتومی بالا در زمینه‌های اپتیکی کاربرد زیادی دارند. سه روش عمده برای ساخت نقاط کوانتومی وجود دارد، یکی از روش‌ها شامل رشد نقاط کوانتومی در ظرف واکنش است. در دو روش دیگر، نقاط کوانتومی را در روی سطح یک بلور نیمه‌هادی یا در نزدیک آن پدید می‌آورند. در روش دوم از فرآیند لیتوگرافی برای خلق یک نانو ساختار دوبعدی (ساختاری که در دو بعد نانو باشد) استفاده می‌شود، سپس برای جداسازی نقاط کوانتومی روی نانو ساختارهای مذکور حکاکی صورت می‌گیرد. در روش سوم، با رسوب‌دهی یک ماده نیمه‌رسانای دارای ثابت شبکه بزرگتر (ثابت شبکه معرف فواصل اتمها در یک ساختار بلورین منظم است) روی یک نیمه‌هادی با ثابت شبکه کوچکتر (روش موسوم به رشد همبافته تحت کرنش^۶) نقاط «خودآراشده» رشد داده می‌شوند. نقاط کوانتومی نیمه‌هادی با تحریک الکتریکی یا تابش طول موج‌های مختلف فلورسانس می‌کنند. این ذرات همچنین می‌توانند بر حسب ولتاژ اعمال شده، به انعکاس، انکسار یا جذب نور پردازند. این ویژگی باعث شده است که این ترکیبات در مواد فتوکرومیک و الکتروکرومیک (موادی که به ترتیب بر اثر اعمال نور یا الکتریسته تغییر رنگ می‌دهند) و پیل‌های خورشیدی کاربرد داشته باشند.

⁵ Quantum Dots

⁶ Strained Epitaxial Growth

علاوه بر این، از اسپین یک الکترون در یک نقطه کوانتومی می‌توان برای نمایش یک بیت کوانتومی - یا کیوبیت در یک رایانه کوانتومی استفاده کرد.

کاربردهای بالقوه برای نقاط کوانتومی عبارتند از:

- لیزرهای دارای طول موج‌های بسیار دقیق

- کامپیوترهای کوانتومی

- نشانگرهای زیستی

نانوذرات سرامیکی

رایج‌ترین نانوذرات، نانوذرات سرامیکی هستند که به سرامیک‌های اکسید فلزی، نظیر اکسیدهای تیتانیوم، روی، آلومینیوم و آهن و نانوذرات سیلیکاتی (سیلیکات‌ها یا اکسیدهای سیلیکون نیز سرامیک هستند) که عموماً به شکل ذرات نانومقیاسی خاک رس هستند، تقسیم می‌شوند. نانوذرات اکسید فلزی دارای اندازه یکسانی در هر سه بعد، از دو یا سه نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر هستند و به وسیله نیروهای الکترواستاتیک به یکدیگر چسبیده و به شکل پودر بسیار ریزی رسوب می‌کنند. نانوذرات سرامیکی از روشهای سنتز شیمیایی و فرآیندهای حالت جامد بدست می‌آیند. نانوذرات سیلیکاتی ذراتی با ضخامت تقریباً یک نانومتر و پهنای ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر هستند. معمول‌ترین نوع نانوذرات سیلیکاتی مونت‌موریلونیت یا آلومینو سیلیکات لایه‌ای می‌باشند. این نوع نانوذرات با پلیمریزاسیون یا به وسیله آمیزش ذوبی (اختلاط با یک پلاستیک مذاب) با پلیمرها ترکیب شوند و خواص جالب توجهی را حاصل می‌آورند.

وقتی اندازه نانوذرات کاهش می‌یابد، نسبت سطح مؤثر به حجم ذرات افزایش یافته، اثرات سطحی برتری یافته و خاصیت کاتالستی افزایش می‌یابد. به همین دلیل نانوذرات به عنوان کاتالیزور در زمینه‌هایی نظیر باتری‌ها، پیل‌های سوختی و انواع فرآیندهای صنعتی کاربرد دارند. بیشتر بودن سهم اتم‌ها در سطح نانوذرات نیز خواص فیزیکی آنها را تغییر می‌دهد، مثلاً سرامیک‌هایی که به طور عادی شکننده‌اند، نرم‌تر می‌شوند. سرانجام این که افزایش سطح مؤثر حلالیت را افزایش می‌دهد.

اصلاح شیمیایی سطح نانوذرات تاثیر زیادی در کارایی و کاربرد آنها دارد. ایجاد خواص آبدوستی و آبگریزی جزء روش‌های اصلاح شیمیایی نانوذرات محسوب می‌شوند. نانوذرات سیلیکاتی برای بدست آوردن خاصیت آب‌گریزی بیشتر، باید به صورت شیمیایی اصلاح شوند، مثلاً می‌توان با استفاده از یون‌های آمونیوم یا مولکول‌های بزرگتری نظیر سیلسز کیوکسان‌های الیگومریک چند وجهی (POSS)⁷، که هم برای روکش‌دهی نانوذرات سیلیکاتی و هم به عنوان پرکننده مناسب هستند، این اصلاح شیمیایی را انجام داد.

⁷ Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes

نانو کامپوزیت‌های نانوذره‌ای سرامیکی

در نانو کامپوزیت نانوذره‌ای سرامیکی نانوذرات سرامیکی داخل یک شبکه پلیمری توزیع شده‌اند. استفاده از نانوذرات در مواد کامپوزیتی می‌تواند استحکام مقاومت شیمیایی و حرارتی آنها را افزایش و وزن آنها را کاهش دهد، و خصوصیات جدیدی نظیر هدایت الکتریکی را به آنها بیافزاید و فعل و انفعال آنها با نور یا دیگر تشعشعات را تغییر دهد. یکی از خواص نانو کامپوزیت‌های نانوذره‌ای سرامیکی در صنعت بسته‌بندی، کاهش نفوذپذیری گازها است. این خاصیت ناشی از شکل دانه‌ای نانوذرات است که مولکول‌ها را وادار به جابجایی در طول و پیچ و خم‌های ماده می‌نمایند. پرکننده‌های سیلیکاتی نیز می‌توانند خاصیت یک پلیمر را از سخت شدن یک‌بعدی به دو بعد تغییر دهند. هنگامی که نانوذرات سیلیکاتی (خاک رس) به عنوان پرکننده در پلاستیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، با پراکنده‌سازی تنش‌ها استحکام فوق‌العاده‌ای را به وجود می‌آورند. همچنین آب‌رفتگی^۸، تاب برداشتی^۹ (در کامپوزیت‌هایی که ضریب انبساط حرارتی کمتری دارند) و نفوذپذیری گازها کاهش می‌یابد، مقاومت در برابر آتش و مواد شیمیایی افزایش یافته، بازیافت این مواد نیز آسانتر می‌شود. پرکننده‌های خاک رس با مقدار پرکننده کمتری نسبت به پرکننده‌های معمولی، استحکام را افزایش می‌دهد. مثلاً با افزایش ۵ درصد از پرکننده‌های نانورس به کامپوزیت‌ها همان نتیجه‌ای حاصل می‌شود که با افزایش ۲۰ درصد از پرکننده‌هایی همچون الیاف شیشه‌ای بدست می‌آید. همچنین میزان پرکننده را می‌توان بدون تغییر در خاصیت چکش‌خواری محصول به ۱۰ درصد افزایش داد، که این امر با پرکننده‌های متعارف ممکن نیست.

نانوذرات فلزی

نانوذرات فلزی با استفاده از روش‌های چگالش بخار و سیم انفجاری تولید می‌شوند. این نانوذرات می‌توانند بدون اینکه ذوب شوند (تحت نام پخت^{۱۰}) در دماهای پائین‌تر از دمای ذوب فلز، در یک جامد آمیخته شوند، این کار منجر به سهل‌تر شدن فرآیند تولید روکش‌ها و بهبود کیفیت آنها، خصوصاً در کاربردهای الکترونیکی نظیر خازن‌ها می‌گردد. همچنین نانوذرات فلزی، در دمای کمتر از دمای ذرات فلزی بزرگتر غیر نانومقیاسی خود به سطوح و مواد توده‌ای تبدیل می‌شوند و هزینه ساخت را کاهش می‌دهند.

نانو کامپوزیت‌های نانوذره‌ای فلزی

نانو کامپوزیت‌های نانوذره‌ای فلزی از آمیخته شدن نانوذرات فلزی با پلیمرها بدست می‌آیند. این نانو کامپوزیت‌ها، به دلیل ممانعت خوبی که در مقابل تداخل الکترومغناطیسی به وجود می‌آورند، می‌توانند در رایانه و تجهیزات الکترونیکی به کار روند. نانو کامپوزیت‌های نانوذره‌ای فلزی قابلیت‌های ویژه‌ای در هدایت گرمایی و الکتریکی دارند که

⁸ Shrinkage

⁹ Warpage

¹⁰ Sintering

کارایی آن‌ها را افزایش می‌دهد.

آئروژل‌ها

آئروژل‌ها دسته‌ای از مواد با سطوح ویژه خیلی بالا و دانسیته بسیار کم (گاهی فقط چهار برابر سنگین‌تر از هوا) هستند.

این ترکیبات از طریق فرآیندهای سل ژل ساخته می‌شوند. هنگامی که سل (محلول) در یک قالب ریخته شود، ژلی مرطوب شکل می‌گیرد. با خشک کردن و فرآورش حرارتی، ژل حاصله به ذرات شیشه‌ای یا سرامیکی متراکم تبدیل می‌شود. اگر در شرایط فوق بحرانی مایع موجود در ژل مرطوب خارج شود، آئروژل بدست می‌آید. استفاده از آئروژل‌ها به عنوان غشا در فرآیندهای جداسازی و فیلتراسیون تحت بررسی است. همچنین آئروژل‌ها در فضاپیماها برای به جمع‌آوری غبار بین ستاره‌ای بکار می‌روند. این ترکیبات برای استفاده در شیشه‌های دوجداره به عنوان لایه پرکن به جای هوا مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

نانوروش‌ها و نانولایه‌ها

نانوروش‌ها، سطوحی تک‌لایه یا چندلایه با ضخامت ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. روکش‌های مبتنی بر نانوذرات خواص مختلفی را از خود بروز می‌دهند. استحکام و مقاومت سایشی جزء خواصی هستند که بیشترین مزیت را در نانوروش‌ها داشته و شفافیت نیز در مورد آنها حائز اهمیت است. خصوصاً در حالتی که افزایش سختی بدون کدر شدن سطح نیاز باشد. استفاده از روکش‌ها روی سطوح سرامیکی، باعث ضدخس شدن و تمیز شدن راحت‌تر سطوح مذکور می‌گردد. همچنین می‌توان از نانوروش‌های سخت و ضدخس برای روکش‌دهی شیشه‌های عینک استفاده کرد. نوعی از پیل‌های خورشیدی عرضه شده‌اند که به منظور افزایش استحکام‌شان از نانوذرات ساخته شده‌اند. روکش‌های پاشش حرارتی^{۱۱} مبتنی بر نانوذرات اکسید فلزی در تعمیر بخش‌های فلزی فرسوده یا خورده شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه نانوذرات فلزی در صنعت الکترونیک برای پوشاندن سطوح خازن‌ها نیز استفاده می‌شوند. نانوروش اکسید تیتانیوم نانوبلوری، امکان تولید پنجره‌های فتوکرومیک (تغییر رنگ در اثر نور) یا الکتروکرومیک (تغییر رنگ در اثر اعمال پتانسیل الکتریکی) ارزان قیمت را بوجود می‌آورد. همچنین می‌توان سطوحی را روی پنجره‌ها به وجود آورد که با کمترین بارش اتفاقی باران خود به خود پاکیزه شوند. روکش‌ها می‌توانند ضد الکتریسیته ساکن، ضد مه و ضد بازتاب^{۱۲} باشند و در عین حال که اجازه عبور نور مرئی را می‌دهند، مانع عبور طول موج‌های کوچک نور نظیر اشعه ماوراء بنفش شوند. تعدادی از روکش‌های سرامیکی حاوی نانوذرات یک نوع کامپوزیت را به وجود آورده‌اند که به خاطر خواصی چون مقاومت سایشی و شیمیایی و عایق حرارتی کاربردهای زیادی دارند. به طور مشابه روکش‌های

¹¹ Thermal Spray Coating

¹² Anti-glare

مبتنی بر سولفید مولیبدن که حاوی نانوخوشه‌ها هستند مقاومت بیشتری را در برابر اصطکاک، سایش و خوردگی شیمیایی حاصل از اصطکاک تحت شرایط مرطوب نشان داده‌اند. روش‌های سل ژل و خودآرایی، نیز برای تولید روکش‌ها کاربرد دارند که برای آینده بسیار نویدبخش هستند.

روکش‌ها به طور اجتناب‌ناپذیری کاربردهایی همچون حفاظت وسایل الکترونیکی سفینه‌های فضایی در برابر تشعشع و حفاظت حرارتی برای ورود مجدد به جو را خواهند داشت.

روکش‌های سرامیکی نانوذره‌ای، موجب پایداری حرارتی و مقاومت فرسایشی در قطعات موتور می‌شوند. روکش‌های حاوی نانوذرات فلزی که کاربردهای مشخصی در کامپیوترها و تجهیزات الکترونیکی دارند، در مقابل تداخل الکترومغناطیسی ممانعت خوبی نشان می‌دهند.

نانوپوسته‌ها

با روکش‌دهی نانوذرات ساختارهایی بوجود می‌آیند که نانوپوسته نامیده می‌شوند. با حل کردن یا تجزیه نانوذره کره‌های توخالی بوجود می‌آیند که در رسانش دارو و معالجه بیماریها، کاربرد دارند. ساختار شیمیایی نانوپوسته‌ها می‌تواند آلی یا معدنی باشد.

مواد نانوحفره‌ای

مواد نانوحفره‌ای ساختارهای متخلخلی هستند که اندازه حفرات آنها کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. این ترکیبات در منابع طبیعی و سیستم‌های بیولوژیکی به فراوانی یافت می‌شوند.

اندازه و نظم حفرات کنترل‌کننده خواص مواد نانوحفره‌ای است. در سال‌های اخیر سعی شده است تا با کنترل دقت بالا مواد نانوحفره‌ای با اندازه حفرات مشخص تولید شود. مواد نانوحفره‌ای به دودسته عمده مواد نانوحفره‌ای توده‌ای و غشاهای نانوحفره‌ای تقسیم می‌شوند:

۱- مواد نانوحفره‌ای توده‌ای: با افزایش سطح این مواد خواص کاتالیستی، جذب و جذب سطحی بهبود می‌یابد. زئولیت‌ها یک نوع ماده نانوحفره‌ای توده‌ای به حساب می‌آیند. سطح این مواد در حدود صدها متر مربع بر گرم است.

۲- غشاهای نانوحفره‌ای: یکی از کاربردهای این مواد استفاده از آنها به عنوان غربال‌های مولکولی است. کنترل حفرات این ترکیبات یکی از چالش‌هایی است که کارایی این مواد را تعیین می‌کند.

راه‌های زیادی برای ساخت مواد نانوحفره‌ای وجود دارد؛ در یکی از روش‌ها به طور انتخابی موادی را از یک جامد استخراج کرده، که در اثر آن حفراتی در ابعاد نانو ایجاد می‌گردد، در روش دیگر مخلوطی از پلیمرها را با حرارت دادن جامد نانوحفره‌ای تبدیل می‌کنند، در این فرایند یکی از پلیمرها تجزیه شده و خارج می‌شود.

مواد نانوحفره‌ای حاصل از حکاکی

مواد نانوحفره‌ای حاصل از حکاکی، فیلم‌های نازک با حفرات هم اندازه، هم فاصله و هم راستا هستند که طول

حفرات با ضخامت غشا برابر است. نانوغشاهای آلومینای آندی و غشاهای track-etchd جزء این دسته‌اند.

نانوغشاهای الگو گرفته

نانوغشاهای الگو گرفته از غشای آلومینای آندی بدست می‌آیند. پایداری حرارتی آلومینای آندی باعث می‌شود بتوان از انواع روشهای رسوبدهی فاز گاز و الگو برداری برای ساخت نانوغشاهای الگو گرفته استفاده نمود. نوع ساختار ایجاد شده به شرایط عملیاتی بستگی دارد. می‌توان بدون جدا کردن مواد رسوبی از آلومینای آندی، کل مجموعه را به صورت یک نانوغشای الگو گرفته در نظر گرفت. بی شک هر ماده‌ای می‌تواند خواص خاصی را به داخل حفرات ببخشد و بر خصوصیات جریانی آن اثر بگذارد.

نانولوله و نانومیله‌های الگو گرفته

نانولوله و نانومیله‌های الگو گرفته از غشای آلومینای آندی بدست می‌آیند. در صورت جزئی بودن فرآیند لایه‌نشانی یا رسوبدهی، یک لایه نازک به صورت نانولوله درون حفرات شکل می‌گیرد و در صورت پیشرفت کامل فرآیند، داخل حفرات پر شده و نانومیله یا نانوسیم به وجود می‌آید.

ژئولیت‌های مرسوم

ژئولیت‌ها گستره‌ای از کانی‌های طبیعی و مصنوعی با حفرات نانومقیاس و بزرگترند، که سال‌ها به عنوان کاتالیست در صنایع شیمیایی به کار رفته‌اند. سطح ویژه این ترکیبات معمولاً در حد چند صد متر مربع بر گرم می‌باشد که باعث شده است خواص جذبی آنها به صورت فوق‌العاده‌ای افزایش یابد.

ژئولیت‌های نسل جدید M-41S، (MCM)

ژئولیت‌های M-41S (MCM) از خانواده سیلیکای مزوپر بوده و شامل آرایه‌های هگزاگونال و مکعبی با شبکه‌های دوبعدی و سه بعدی می‌باشند و دارای حفراتی به ابعاد ۲/۵ تا ۳۵ نانومتر هستند. تناوب و نظم نانو ساختارهای M41S، این ترکیبات را به میزبان مناسبی برای طراحی مواد تبدیل کرده است. واکنش‌های خودآرایی برای تهیه نانوذرات در داخل مجاری M41S انجام شده است و در حال گسترش می‌باشد.

مواد ژئولیتی کامپوزیت و آلی

مواد ژئولیتی کامپوزیت و آلی، ترکیباتی بر پایه مواد نانوحفره‌ای هستند که در حفرات آنها ترکیبات آلی-فلزی به صورت منظم قرار گرفته‌اند. این ترکیبات برای جذب و جداسازی ترکیبات آلی کاربرد دارند.

شوارزیت‌ها

شوارزیت‌ها مشابه فولرین‌ها و نانولوله‌های کربنی ساختار کربنی دارند. وقتی اتمهای کربن حلقه‌های بزرگتر از

شش عضو تشکیل دهند، شوارزیت‌ها با ساختاری منظم، پایدار و منحنیهایی با شیب منفی مشابه زئولیت‌ها ایجاد می‌شوند. محاسبات نشان می‌دهند که شوارزیت‌ها پایدارتر از فولرین C₆₀ هستند. پایداری این ترکیبات از آنجا ناشی می‌شود که حلقه‌های هفت‌تایی و هشت‌تایی فشارکشی خیلی کمی دارند. شوارزیت‌ها در سیستم‌های نیمه‌هادی و غربال‌های مولکولی کاربرد دارند. این ترکیبات به عنوان کاتالیزورهای جدید نیز مصرف می‌شوند.

تک‌لایه‌های خودآرای الگو گرفته از مواد نانوحفره‌ای (SAMMS)¹³

در این ترکیبات تک‌لایه‌های آلی منظم، سطوح داخلی مواد نانوحفره‌ای را می‌پوشانند. SAMMS برای جداسازی فلزات سنگین و آنیون‌ها از جریان‌های گازی به کار می‌روند. ساختار شیمیایی بخش آزاد تک‌لایه خودآرا (بخشی که به سمت حفره قرار دارد) در کارایی SAMMS تاثیر زیادی دارد.

نانوساختارهای آلی منظم

نانوساختارهای آلی منظم آرایش‌های مولکولی منظمی را در بر می‌گیرند که در ساختارهای نانو تکرار پذیر هستند.

از جمله این ترکیبات می‌توان به عناصر زیر اشاره نمود:

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| ۱- درخت‌سان‌ها | ۵- نانوقفس‌های آلی فلزی |
| ۲- تک‌لایه‌های خودآرا | ۶- الماسواره‌ها |
| ۳- فیلم‌های لانگیمر-بلاجت | ۷- مارپیچ‌ها |
| ۴- ترکیبات آلی فلزی | |

¹³ Self-Assembled Monolayers on Mesoporous Supports

درخت سان‌ها

درخت سان‌ها مولکول‌هایی بزرگ و پیچیده‌اند، که ساختار شیمیایی کاملاً تعریف شده‌ای دارند. از نقطه نظر شیمی، درخت سان‌ها ماکرومولکول‌هایی نسبتاً کامل و یکنواخت (هم‌اندازه و هم‌شکل) هستند، که دارای معماری سه‌بعدی منظم و به‌شدت شاخه‌شاخه می‌باشند. آنها از سه بخش اصلی هسته، شاخه‌ها و گروه‌های انتهایی تشکیل شده‌اند.

در سنتز درخت سان‌ها، مونومرها به پلیمرهایی با وزن مولکولی تقریباً یکسان تبدیل می‌شوند.

درخت سان‌ها از دو روش تهیه می‌شوند که عبارتند از:

الف- روش‌های واگرا: در این روش مولکول‌ها از هسته به سمت محیط (شاخه‌های بیرونی) شکل می‌گیرند.

ب- روش‌های همگرا: در این روش مولکول‌ها از محیط به سمت هسته شکل می‌گیرند.

درخت سان‌ها به صورت اشکال پیچیده سه بعدی مشخصی آرایش می‌یابند. خلق درخت سان‌ها (که فرآیندی تکرارپذیر است) از طریق ساخت لایه‌های چندگانه آن با واکنش‌های شیمیایی طراحی شده، پیچیده‌ترین کاربرد خودآرایی تسلسلی کنترل شده می‌باشد.

ویژگی‌های منحصر به فرد درخت سان‌ها باعث شده است که این ترکیبات در سیستم‌های رسانش دارو استفاده شوند.

درخت سان‌های آلی

در درخت سان‌های آلی ساختار شیمیایی بیرونی و داخلی از نوع ترکیبات آلی هستند.

درخت سان‌های آلی-معدنی

در درخت سان‌های آلی-معدنی هر یک از ساختارهای بیرونی و داخلی و گروه‌های انتهایی می‌توانند از نوع ترکیبات آلی و یا ترکیبات معدنی باشند.

تک لایه‌های خودآرا (SAMS)¹⁴

تک‌لایه خودآرا (SAM) یک لایه از مولکول را شامل می‌شود و هنگامی تولید می‌شود که ماده‌ای به طور خود به خود لایه‌ای به ضخامت یک مولکول روی یک سطح تشکیل دهد. با افزایش لایه‌ها می‌توان به فیلم چندلایه‌ای که هر لایه به ضخامت یک مولکول است، دست یافت. هنگامی که بستر (مثل یک سطح فلزی یا

¹⁴ Self Assembled Monolayers

سطح متخلخل) در تماس با محلولی از مولکولهای آلی قرار گیرد، ترکیب آلی به طور خود به خود روی زیرلایه به ردیف درمی آیند و SAMها تولید می شوند. بستر روکش شده خود می تواند زیرلایه ای برای لایه دیگری از یک ترکیب متفاوت باشد.

فناوری SAMها را می توان در زیست حسگرهایی چون تراشه های DNA که از آرایه های تک مارپیچ تثبیت شده DNA تشکیل می شوند، به کاربرد. SAMها در چاپ میکروتماسی (نوعی از لیتوگرافی نرم) نیز کاربرد گسترده ای دارند. این ترکیبات در هر جایی که به یک فیلم آلی احتیاج داشته باشیم، توانایی خود را نشان می دهند.

تک لایه ها در تراشه های سیلیکونی و نمایشگرهای صفحه تخت - البته با بهره گیری از روشهایی همچون رسوبدهی شیمیایی بخار - نیز کاربرد دارند.

همچنین از SAMها می توان به عنوان حائل در لیتوگرافی مرسوم و لیتوگرافی نرم سود جست. در مورد دوم این ترکیبات قابلیت خود را به عنوان جوهر نشان داده اند. چون به محض تماس، حتی با وجود نقایص سطح مرزی خود آرایه لایه ای یکنواخت می آفریند. SAMها قابلیت اصلاح کارکردی سطوح و اجزای سیستم های میکروالکترونیکی، میکرو و نانوالکترومکانیکی را فراهم می کنند.

قابلیت های کاربردی دیگر SAMها عبارتند از: بسترهای واکنش، تولید انبوه بلور مایع، سیم های مولکولی، روانکاری، معادل های سنتزی غشاهای زیستی و لایه های محافظ. یک ایده برای مورد آخر محافظت از سطوح الکترودها در باتری ها در برابر خوردگی و در نتیجه افزایش طول عمر آنهاست. بخش بزرگی از ارزش SAM، در ارتقای درک از شیمی و فیزیک پدیده هایی چون چسبندگی، روانکاری، ترشوندگی سطحی و انتقال بار نهفته است. همچنین یک مزیت بزرگ SAMها توانایی آنها جهت استفاده از حجم عظیم دانش موجود در شیمی آلی برای ساخت سطوحی با خواص متفاوت است. برای تهیه SAMها از روش های CVD، PVD و MBE نیز استفاده می شود.

فیلم های لانگمیر - بلاجت (LB Film)

فیلم های لانگمیر - بلاجت تک لایه یا لایه های آلی (هر لایه به ضخامت یک مولکول) هستند که روی سطح جامد رسوب کرده اند. ضخامت این فیلم در حدود چند طول موج مرئی است.

لغت لانگمیر - بلاجت از اسامی یک دانشمند (لانگمیر) و دستیارش (بلاجت) که خواص منحصر به فردی از فیلم های نازک را در اولین دهه ۱۹۰۰ به دست آوردند گرفته شده است.

در فراین انتقال ماده آلی از یک مایع به بستر جامد، ساختار فیلم در سطح مولکولی قابل کنترل است. این فیلم ها خواص الکتروشیمیایی و فوتوشیمیایی از خود نشان می دهند و همین امر باعث شده است محققان فیلم های LB را ماده اولیه برای ساخت مدارهای مجتمع در نظر بگیرند. شبکه های مبدل با ساختار کاملاً پیچیده ممکن است در تراشه های چند لایه LB ساخته شود. نهایتاً امکان ساخت تراشه های حافظه LB که هر بیت شامل یک

مولکول است وجود دارد

ترکیبات آلی فلزی

نانوساختارهای آلی فلزی از لیگاندهای آلی و اتم‌های فلزی تشکیل شده‌اند، اتم‌های فلزی مراکز کمپلکس را تشکیل می‌دهند و لیگاندها در قشر کوئوردینانسی فلز جای می‌گیرند.

نانوقفس‌های آلی فلزی

نانوقفس‌های آلی فلزی از برهمکنش ترکیبات آلی و فلزات بوجود می‌آیند، نتیجه آن نانوساختارهایی به شکل قفس است که فضای معینی را محصور ساخته و باعث بدام انداختن اتم‌ها و مولکول‌های کوچک می‌گردند. فضاهای مذکور در ترکیبات آلی فلزی وجود ندارند.

الماسواره‌ها

الماسواره‌ها قفس‌های کربنی به حساب می‌آیند که ساختار این ترکیبات فوق‌العاده محکم بوده و سختی زیادی دارند. معروفترین این ترکیبات آدامانتان با فرمول $C_{10}H_{16}$ است. از انواع دیگر می‌توان دی‌آدامانتان و تری‌آدامانتان را نام برد.

مارپیچ‌ها

ساختار این ترکیبات تاحدودی مشابه ترکیبات آلی-فلزی بوده ولی پیچیدگی آنها بیشتر از ترکیبات فوق است.

نانوالیاف

نانوالیاف، لیاف نسبتاً کوتاهی هستند که دو بعد آنها در مقیاس نانومتر بوده و نسبت وجهی آنها بزرگتر از ۳ است. انواع نانوالیاف را می‌توان از روش‌های الکتروریسندگی و قوس الکتریکی بدست آورد.

نانوالیاف پلیمری

نانوالیاف پلیمری از روش ریسندگی الکتریکی با قطر نانومتری تولید می‌شوند. در این روش مایعات باردار شده به صورت جریانهای کوچک به درون یک میدان الکتریکی کشیده می‌شوند، سپس به صورت لیاف پلیمریزه می‌شوند.

نانوکامپوزیت‌های نانوالیافی پلیمری

در نانوکامپوزیت‌ها نانوالیافی پلیمری می‌توان از استحکام نانوالیاف پلیمری سود برد. همچنین می‌توان نانوالیاف پلیمری را با افزودنی‌هایی نظیر نانوذرات یا نانولوله‌ها ساخت تا بسیاری از خصوصیات بالقوه

نانو کامپوزیت‌های نانوالیافی را ارایه دهند.

لیفچه‌ها و نانوالیاف کربنی

"لیفچه" های¹⁵ کربنی جامد و توخالی با چند میکرون طول و ۲ تا بیش از ۱۰۰ نانومتر قطر خلق شده‌اند که مصارفی در مواد کامپوزیت و روکش‌ها کاربرد دارند و موجب افزایش استحکام و رسانایی بالقوه مواد می‌شوند.

برای بدست آوردن خواص مشابه، "لیفچه" های کوچکتر به الیاف کربنی مرسوم (معمولاً بیش از mm ۰/۱ قطر دارند) مقادیر خیلی کمتری "لیفچه" های کربنی مصرف می‌شوند. لیفچه‌ها نسبت به الیاف کربنی مرسوم باعث ایجاد یک سطح هموارتر در روکش‌ها می‌شوند. این نانوالیاف هم اکنون در مقیاس بزرگ تولید می‌شوند.

نانو کامپوزیت‌های نانوالیاف کربنی

به دلیل خواص منحصر به فرد نانوالیاف کربنی، این نانو ساختارها در مواد کامپوزیت، روکش‌های سطحی و پلاستیک‌های رسانا در رنگ آمیزی الکترواستاتیک قطعات خودرو و همچنین پراکنده سازی بارهای ساکن¹⁶ در تجهیزات الکترونیکی به کار می‌روند

نانوالیاف سرامیکی

نانوالیاف سرامیکی کاربردهای متنوعی دارند که یکی از کاربردهای آنها (نانوالیاف آلومینا) در فیلتراسیون ویروس‌ها و باکتری‌ها از منابع آبی و هوایی یا سیالات زیستی است. می‌توان با افزایش افزودنی‌هایی نظیر نانو ذرات خواص این نانوالیاف را بهبود داد.

نانوالیاف آلومینا بر اثر نیروهای الکترواستاتیک، ویروس‌ها و دیگر ذرات را به خود می‌چسبانند و لذا بدین صورت می‌توانند در زیست فیلتراسیون مثلاً برای آلودگی زدایی به کار روند. این الیاف با فرآیند سل ژل و سپس حرارت دهی تهیه می‌شوند. یک مزیت فیلترهای ساخته شده با این روش، این است که چون فیلتراسیون آنها فقط مبتنی بر غربالگری نیست، ذرات در بین فیلتر و نه روی سطح آن جمع شده و بنابراین کمتر با انسداد مواجه می‌شوند - این قسم فیلترها، فیلتر عمقی خوانده می‌شوند. همچنین به نظر می‌رسد نانوالیاف آلومینا به تشکیل استخوان کمک می‌کنند.

نانو کپسول‌ها

نانو کپسول به هر نانو ذره‌ای گفته می‌شود که دارای یک پوسته و یک فضای خالی جهت قرار دادن مواد

¹⁵ Fibrils

¹⁶ Static Dissipation

مورد نظر در داخل آن باشد.

فرآیندهای اصلی ساخت کپسول‌ها شکل عمومی یکسانی دارند: از یک امولسیون روغن در آب یا آب در روغن برای خلق به ترتیب نانوکپسول‌های روغنی و آبی استفاده می‌شود. زمینه کاربرد کپسول‌ها به نوع امولسیون مورد استفاده بستگی دارد؛ مثلاً تزریق وریدی مستلزم استفاده از نانوکپسول‌های آبی است، بنابراین برای ساخت کپسول‌های مذکور بایستی از امولسیون آب در روغن استفاده شود. با این حال، طبیعت مواد کپسوله شده- یعنی آب‌دوست یا آب‌گریز بودن آنها- نیز نوع نانوکپسول مورد نیاز را دیکته می‌کند. که ممکن است با کاربرد مورد نظر تطابق نداشته باشد. روکش‌دهی کپسول‌ها با لایه‌های دیگر ممکن است این مغایرت را رفع نماید. برای روکش‌دهی می‌توان از پروتئین‌ها، پلیمرها و دیگر مواد طبیعی و مصنوعی سود جست و آنها را بر حسب خواص گوناگونی به غیر از آب‌دوستی یا آب‌گریزی، نظیر چسبندگی، مقاومت در برابر محیط‌های مختلف و غیره انتخاب کرد. علاوه بر این، می‌توان از کپسول‌های موقتی (یا الگوها) به عنوان شالوده لایه‌های دیگر استفاده کرده و سپس آنها را از بین ببرد. شرایط ساخت نانوکپسول‌ها بحرانی و حاد نیست و به همین علت از منظر زیست‌شناسی، دارای جذابیت خاصی برای رسانش مواد زیستی حساس می‌باشند.

نانوکپسول‌های پلیمری

اخیراً از پلیمرها برای ساخت نانوکپسول‌ها استفاده شده است. فرآیند اصلی ساخت این نانوکپسول‌ها پلیمریزاسیون امولسیونی می‌باشد. هم‌اکنون می‌توان نانوکپسول‌های پلیمری را در اندازه‌ها و اشکال گوناگون و در مقادیر مناسب تولید کرد. سپس با الصاق یا جایدهی یک مولکول خاص در دیواره این نانوکپسول‌ها، آنها را "کارکردی"^{۱۷} نمود.

این نانوکپسول‌ها می‌توانند به صورت ماشه یک سیستم دارورسانی هدفمند عمل کرده و در پاسخ به یک زیست‌مولکول خاص، محتوای نانوکپسول را آزاد نمایند. کپسول‌های پلیمری بر خلاف نانوامولسیون‌ها با پیوندهای کووالانسی قدرتمندی به یکدیگر می‌چسبند و بنابراین از استحکام خاصی برخوردارند. بسیاری از نانوکپسول‌ها در هر دو شکل مایع و خشک پایدارند.

برای داروسازی به جای مکانیسم ماشه‌کشی، می‌توان محموله را- در صورت ریز بودن مولکول محموله- با مکانیسم ساده نفوذ رها کرد، یا به صورت تخریب طبیعی و یا به کمک امواج ماوراء صوت آن را باز کرد. ساخت نانوکپسول‌ها نوعی از خودآرایی محسوب می‌شود.

نانوامولسیون‌ها

نانوامولسیون‌ها از مولکولهای سورفکتانت، نظیر فسفولیپیدها که از یک طرف آب‌گریز (هیدروفوبیک) و

¹⁷ Functionalize

از یک سمت آب دوست (هیدروفیلیک) هستند تشکیل می‌شوند. هنگامی که این مولکول‌ها در یک محیط آبی قرار گیرند، خود به خود کپسولهایی را شکل می‌دهند که قسمت‌های آب‌گریز مولکول در درون آنها واقع می‌شود و لذا از تماس با آب محافظت می‌شوند. لیپوزوم‌ها ساختارهایی از جنس چربی هستند که در این دسته قرار می‌گیرند. این ترکیبات در صنایع آرایشی کاربرد زیادی دارند.

نانو لوله‌ها

نانو لوله‌ها به نانو ساختارهایی اطلاق می‌شود که قطر آن‌ها تا حدود ۱۰۰ نانومتر باشد. صرف نظر از استحکام کششی بالا، نانو لوله‌ها خواص الکتریکی مختلفی از خود نشان می‌دهند که به ساختار آنها وابسته است. لفظ نانولوله در حالت عادی در مورد نانولوله کربنی به کار می‌رود، که در چند سال اخیر از سوی محققین مورد توجه فراوانی قرار گرفته‌اند و در کنار خویشاوندان نزدیکش همچون "نانوشاخ"، نویدبخش کاربردهای جالبی شده‌اند. البته اشکال دیگری از نانولوله‌ها همچون نانولوله‌های نیتريد بور و نانولوله‌های خودآرای آلی نیز ساخته شده‌اند.

نانولوله‌ها در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند که عبارتند از:

- مواد ساختمانی
- صنایع الکترونیک
- قطعات نشر میدانی
- پیل‌های سوختی و باتری‌ها

نانولوله‌های کربنی (CNTs)

نانولوله‌های کربنی که در سال ۱۹۹۱ توسط سومیو ایجیما در شرکت NEC کشف شدند، در واقع لوله‌هایی از گرافیت می‌باشند (گرافیت شکلی از کربن است که از لایه‌های حاوی آرایش‌های شش ضلعی اتم‌های کربن تشکیل می‌شود). این نانو ساختارها اندازه‌های مختلفی داشته و می‌توانند تک دیواره (SWNT) یا چند دیواره (MWNT) باشند که در مورد اخیر دسته‌ای از خواص جالب توجه را به همراه خود دارند.

یک خصوصیت مشهور نانولوله‌های کربنی، استحکام کششی برجسته آنهاست، که نزدیک ۱۰۰ گیگاپاسکال یعنی بیش از ۱۰۰ برابر استحکام فولاد است. با این حال این مقیاس غلط‌انداز است؛ چرا که فولاد از تجمع بلورها و مواد افزودنی حاصل می‌شود و لذا مقایسه معنادارتر، مقایسه کردن مواد بزرگ مقیاس ساخته شده از نانولوله‌ها با فولاد خواهد بود. این مسأله خطر برون‌یابی خواص سطح مولکولی به جامدات توده را خاطر نشان می‌سازد (نانولوله مثل هم خانواده خود (ورقه‌های گرافیت) به یکدیگر نچسبیده و تنها بر اثر نیروهای ضعیف واندروالس جذب یکدیگر می‌شوند؛ به همین دلیل است که گرافیت به عنوان یک روان‌کننده خوب شناخته می‌شود). نانولوله‌ها به دیگر مواد نیز به راحتی نمی‌چسبند. این مسأله بکارگیری خواص آنها در مواد توده‌ای را با مشکل مواجه می‌سازد. می‌توان با اصلاح شیمیایی نانولوله‌ها باعث چسبیدن آنها به یکدیگر شد، اما خلوص ساختاری آنها که باعث چنان استحکام عظیمی می‌شود، اولین چیزی است که باید بر روی آن مصالحه کرد.

نانولوله‌های کربنی دارای خواص الکتریکی جالبی نیز می‌باشند. آنها بسته به کایرالیته^{۱۸} (یعنی نحوه پیچش ساختار گرافیتی به دور نانولوله) می‌توانند رسانا (نانولوله‌های "فلزی") یا نیمه رسانا باشند. نانولوله‌های کربنی تک دیواره در مصارف الکترونیکی با بیشترین توجه روبرو شده‌اند، اما هنوز نمی‌توان در روشهای تولید کنترل چندانی بر خصوصیات الکترونیکی نانولوله‌ها اعمال نمود.

هدایت گرمایی نانولوله‌های کربنی در جهت لوله‌ها و نه عمود بر آنها باعث شده است که این ترکیبات قابلیت بالقوه‌ای در گودال‌های حرارتی^{۱۹} در زمینه نانوالکترونیک از خود نشان دهند.

یکی از خواص نانولوله‌های کربنی که بیشترین توجه را به خود جلب کرده است، نشر میدانی است. قطعات نشر میدانی (FED^{۲۰}ها) ساختارهایی هستند که تحت تأثیر میدان الکتریکی از خود الکترون منتشر می‌کنند. نانولوله‌های کربنی قادرند تحت تأثیر میدان‌های الکتریکی اندک جریان‌های بالایی را انتشار دهند.

مصارف FED مثل صفحات نمایشگر مسطح ممکن است نیازمند جایدهی دقیق نانولوله‌ها باشند. برای دستیابی به این دقت، استفاده از روش‌های رشد دهی مبتنی بر کاتالیست‌ها و رسوب‌دهی شیمیایی بخار شروع شده است. FEDهای نانولوله‌ای در سامانه‌های روشنایی نیز آزموده شده‌اند. به کمک رسوب‌دهی شیمیایی بخار فیلمی از نانولوله‌ها بر روی یک لوله نشانده می‌شود و الکترون‌های منتشر شده از یک سیم مسی واقع در درون آن، لوله را برای تابش تحریک می‌کنند.

نانولوله‌های کربنی و خویشاوندشان "نانوشاخ‌ها"^{۲۱} برای نگهداری هیدروژن و هیدروکربن‌ها جهت استفاده پیل‌های سوختی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند

نانولوله‌ها کربنی قابلیت خود را برای دوبرابر کردن ظرفیت باتری‌های قابل شارژ لیتیوم به جای گرافیت نشان داده‌اند. همچنین نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره می‌توانند کارایی پیل‌های خورشیدی فتوولتائیک را با ارتقای قابل ملاحظه تحریک پذیری الکترون‌ها در یک لایه کامپوزیت پلیمری بهبود دهند.

فرآیندهای تولید نانولوله‌های کربنی عبارت است از:

۱- تخلیه قوس الکتریکی:

در این روش جرقه‌ای که بین دو الکترود گرافیتی ایجاد می‌شود، کربن یک الکترود را کنده و به صورت دوده روی دیگری متراکم می‌سازد. فشار محفظه تبخیر و جریان مهمترین عوامل مؤثر در راندمان می‌باشند. این روش برای تولید انبوه نانولوله‌ها جهت استفاده در مواد کامپوزیتی مناسب است.

۲- تبخیر/سایش لیزری^{۲۲}:

از لیزر برای تبخیر هدف گرافیتی در کوره‌ای به دمای 1200°C و حاوی هلیوم یا نیتروژن با فشار بالا

¹⁸ Chirality

¹⁹ Heat Sink

²⁰ Field Emission Devices

²¹ Nanohorn

²² Laser Vaporization/Ablation

استفاده می‌شود. این روش برای تولید انبوه نانولوله‌ها جهت استفاده در مواد کامپوزیتی کاربرد دارد.

۳- رسوب دهی شیمیایی بخار به کمک حرارت:

کنترل موقعیت و رشد نانولوله‌ها با استفاده از نانوکاتالیست‌های نانوذره‌ای، قابلیت خلق نانولوله‌هایی با ساختار و وضعیت مورد نظر را فراهم می‌کند. سادگی روش باعث تولید انبوه آن خواهد شد.

۴- رسوب دهی شیمیایی بخار به کمک پلازما (PCVD):

از پلاسمای منوکسید کربن و هیدروکربن‌های مختلف برای ساخت نانولوله‌ها بر روی کاتالیست‌های قرار داده شده بر روی سطح (مانند روش حرارتی) استفاده می‌شود.

۵- رشد فاز بخار:

در این روش بدون استفاده از هیچ زیرلایه‌ای، تنها با مخلوط کردن هیدروکربن‌ها و فلز کاتالیست در محفظه واکنش نانولوله‌ها ساخته می‌شوند.

۶- الکترولیز:

در اثر الکترولیز کلرید لیتیوم مذاب در یک محفظه گرافیتی - که آند یک بوته گرافیتی است - می‌توان MWNTها را سنتز کرد.

۷- سنتز شعله:

احتراق متان باعث ایجاد شعله می‌شود و وارد نمودن هیدروکربن‌های دیگر و کاتالیست‌ها در آن باعث تولید MWNT و SWNT می‌شود.

نانولوله‌های کربنی به خاطر خواص منحصر به فرد خود کارایی زیادی دارند. برخی معتقدند نانولوله‌ها کارایی سنسورهای کوچک، دستگاه‌های نوری و الکترونیکی، کاتالیست‌ها و باتری‌ها و پیل‌های سوختی، پیل‌های خورشیدی و انتقال دهنده‌های دارویی را به طور فوق‌العاده‌ای بهبود می‌دهند. تقریباً ظرفیت باتری‌های لیتیم با نانولوله‌های کربنی دو برابر می‌شود، ترانزیستورهای کربنی در دهه آینده جایگزین ترانزیستورهای سیلیکونی می‌شوند، همچنین نانولوله‌ها در راکت‌های تنیس کاربرد دارند و آنها را سبکتر و محکم‌تر می‌سازند. تقویت جلیقه‌های ضد گلوله با مقدار کمی نانولوله کربنی توانایی آنها را در جذب انرژی گلوله دو برابر می‌کند، همچنین از نانولوله‌های کربنی برای تهیه پلاستیک‌های ضد شعله استفاده می‌شود، نانولوله‌های کربنی قادر به ذخیره‌سازی هیدروژن تا ۶۵٪ وزن خود هستند (ظرفیتی که پیل‌های سوختی هیدروژنی را به دلیل موثر بودن و ارزان بودن جایگزین سوخت‌های فسیلی خواهد کرد). همچنین سیم‌های با جنس CNT درست شده است که هدایت الکتریکی آن از سیم‌های مسی بیشتر است و قادر به انتقال جریان‌ات با فشار قوی می‌باشند.

نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌ای کربنی

نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌ای کربنی دارای نسبت استحکام به وزن بیشتری نسبت به کامپوزیت‌های موجود و کامپوزیت‌های مبتنی بر نانوذرات هستند. از نظر تئوری کاربرد نانولوله‌ها در کامپوزیت‌ها بدلیل استحکام کششی بالا مانع مصرف الیاف کربنی در کامپوزیت‌ها خواهد شد. خواص رسانایی یا حفاظت در برابر اشعه نانولوله‌ها نیز می‌تواند برای کامپوزیت‌ها ارزشمند باشد. استحکام نانولوله‌ها در نساجی نیز پتانسیل‌هایی را به همراه دارد. نانولوله‌ها همچنین می‌توانند الیاف را رسانا سازند، این قابلیت می‌تواند کاربرد نظامی داشته باشد.

نانولوله‌های نیتريد بور

نانولوله نیتريد بور ساختاری مشابه نانولوله‌های کربنی دارد و می‌تواند لایه‌های شش ضلعی مشابه گرافیت را شکل دهد. در مارس ۲۰۰۱ لورنس مارکس و همکارانش در دانشگاه نورث وسترن نیتريد بور را به شکل نانولوله در آوردند. نیتريد بور از نظر شیمیائی مخصوصاً در دماهای بالا بی اثرتر از کربن است. انتظار می‌رود نانولوله‌های نیتريد بور نیمه‌رسانا یا عایق باشند، اما خواص الکترونی آنها کمتر از نانولوله‌های کربنی قابل تنظیم است. همچنین این ترکیبات نشرکننده‌های میدانی بهتری نسبت به نانولوله‌های کربنی هستند. نانولوله‌هایی از جنس تنگستن و گوگرد یا تنگستن و سلنیوم ساخته شده‌اند که مانند نانولوله‌های نیتريد بور انعطاف و ارتجاع کمتری نسبت به نانولوله‌های کربنی دارند.

نانوکامپوزیت‌های نانولوله‌ای نیتريد بور

نانولوله‌های نیتريد بور می‌توانند در مواد کامپوزیتی کاربرد دارند؛ چون دارای بخشی از استحکام نانولوله‌های کربنی بوده و مقاومت خیلی بالاتری نسبت به مواد شیمیایی و دماهای بالا دارند. مقاومت در دماهای بالا برای مصارف خاص هوافضا (مثل مقاومت در برابر حرارت بازگشت مجدد به جو) مطلوب می‌باشد.

نانولوله‌های آلی

نانولوله‌های آلی از خودآرایی ترکیبات آلی بوجود می‌آیند. این نانوساختارها در زمینه‌های رسانش دارو، نانوراکتورهای شیمیایی و کانال‌های بیولوژیکی کاربرد دارند.

نانوساختارهای الگو گرفته از نانولوله

با استفاده از نانولوله‌ها به عنوان قالب می‌توان نانوساختارهایی با اشکال متفاوت ایجاد نمود. شکل کریستالی این نانوساختارها وابسته به قطر نانولوله است.

نانوسیم‌ها (سیم‌های کوانتومی)

نانوسیم، یک نانو ساختار دو بعدی است. و بدلیل اینکه در این ابعاد اثرات کوانتومی مهم هستند، این سیم‌ها، سیم‌های کوانتومی نیز نامیده می‌شوند نانسیم‌ها برای ساخت مدارات الکتریکی در اندازه‌های کوچک استفاده می‌شوند.

روش‌های عمده که برای ساخت نانسیم‌ها وجود دارد عبارت است از:

- ۱- با لیتوگرافی یا چاپ روی یک سطح (لیتوگرافی نرم).
 - ۲- فرآیند رشد شیمیایی در یک محیط گازی یا مایع: استفاده از نانوذرات به عنوان کاتالیز است این فرآیند رشد شیمیایی را فوق‌العاده بهبود می‌دهد.
 - ۳- با خودآرایی برای رشد مستقیم یک نانسیم روی یک سطح (موازی با سطح): این راهکار آرایه‌هایی از نانسیم‌ها را مستقیماً بر روی سطح شکل می‌دهد، که فقط چند نانومتر قطر داشته و ده نانومتر یا کمتر با هم فاصله دارند.
 - ۴- نانسیم‌ها با حکاکی شیمیایی سیم‌های بزرگتر و یا با بمباران یک سیم بزرگتر توسط ذرات پرنرژی دیگر (اتم یا مولکول) نیز تولید می‌شوند
 - ۵- روش دیگر تولید نانسیم‌ها برجسته کردن سطح یک فلز نزدیک به نقطه ذوب با استفاده از نوک پروب STM و منقبض کردن آنها است.
 - ۶- برای سنتز نانسیم روش سنتز بخار مایع جامد (VLS) نیز کاربرد دارد، در این روش از ذرات تجزیه شده توسط لیزر و یا از محصولات گازی استفاده می‌کنیم.
- نانوسیم‌ها از فلزات، نیمه‌هادی‌ها و انواع پلیمرها ساخته شده‌اند.
- کار روی نانسیم‌ها هنوز تا حد زیادی در مرحله تحقیق قرار دارد. مشکل اتصالات²³ هنوز بر سر راه کسانی است که قصد ساخت قطعات پیچیده تجاری از نانسیم‌ها را دارند، اما این ساختارها نسبت به نانولوله‌ها از نظر قابلیت تولید انبوه حاصل از راهکار خودآرایی رجحان دارند. اگر بتوان ساختارهای مفیدی را به صورت خودآرایی ایجاد نمود، با موانع تولید تجاری ساختارهای کارا، که افراد امیدوار به تجاری‌سازی الکترونیک نانولوله‌ای با آن مواجهند، روبرو نخواهیم شد. به نظر می‌رسد نانسیم‌ها می‌توانند در کامپیوترها و سایر دستگاه‌های محاسبه گر کاربرد داشته باشند. در راستای دستیابی به قطعات الکترونیکی نانومقیاس پیچیده، برای اتصال‌دهی آنها به سیم‌های نانومقیاس نیاز داریم. علاوه بر این خود نانسیم‌ها نیز می‌توانند مبنای اجزای الکترونیکی همچون حافظه باشند.
- برخی نانسیم‌ها یک رفتار رسانایی کاملاً غیر کلاسیک را نشان می‌دهند. این نانسیم‌ها شامل نانولوله‌های

²³ Connectivity

کربنی فلزی (رسانا) و برخی از نانوسیم‌های نیمه‌رسانا می‌شوند که توسط گروه چارلز لیبر در هاروارد توسعه یافته‌اند. آنها رساناهای پرتابه‌ای²⁴ نامیده می‌شوند (چون الکترونهاى گذرنده از سیم بسیار شبیه گلوله پرتاب شده در لوله تفنگ‌اند). اولین مشخصه یک رسانای پرتابه‌ای ثابت بودن مقاومت آن نسبت به طول است، که با رسانایی عادی در الکترونیک روزمره ما - که مقاومت متناسب با طول افزایش می‌یابد - متفاوت است.

رسانایی نانوسیم‌ها در حالتی که بین دو الکتروود قرار می‌گیرد بررسی می‌شود، رسانایی این ترکیبات به ابعادشان وابسته است.

نانوسیم‌ها شکل‌های ویژه‌ای دارند. بعضی اوقات اشکال غیر کریستالی و در موارد دیگر حالت مارپیچی به خود می‌گیرند. عدم کریستالی بودن آنها به دلیل یک بعدی بودنشان است. همچنین نانوسیم‌ها به دلیل طبیعت خواص الکتریکی خود که در حضور مواد خاص دچار تغییر می‌شوند، قابلیت استفاده به عنوان سنسور را دارند.

نانوسیم‌ها را می‌توان در ساخت غشاهای جداسازی گازها و سیستم‌های میکروآنالیز، تولید سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) و تجهیزات آشکارسازی امواج رادیویی بکار برد. دیودهای نورافشان نانومقیاس به سادگی از تقاطع دو نوع نانوسیم ایجاد شده‌اند. یک لیزر ابتدایی از نانوسیم‌های اکسید روی ساخته شده است (که البته آنها را نانوالیاف نیز می‌توان نامید). همچنین قابلیت نانوسیم‌های فلزی در قطعات قابل تنظیم مایکروویو نشان داده شده است.

نانوسیم‌های فلزی

نانوسیم‌های فلزی در نانو قطعات الکترونیکی و الکتریکی به عنوان اتصال دهنده کاربرد دارند. این نانو ساختارها همچنین می‌توانند به عنوان حافظه نیز عمل کنند.

نانو سیم‌های آلی

علاوه بر مواد فلزی و نیمه رسانا، ساخت نانوسیم از مواد آلی نیز تحت بررسی می‌باشد. اخیراً ماده‌ای موسوم به الیگوفیلین وینیلین موجب امیدواری در ساخت نانوسیم‌ها آلی شده است.

نانوسیم‌های پلیمری

ویژگی این سیم‌ها نظیر رسانایی، مقاومت و هدایت گرمایی به ساختار مونومر و طرز آرایش آن بستگی دارد.

نانوسیم‌های نیمه‌هادی

نانوسیم‌های نیمه‌هادی مرسوم ترکیبات سیلیکون و گالیوم هستند. خواص این ترکیبات تحت تاثیر محیط

²⁴ Ballistic Conductors

تغییر می‌کند، این پدیده باعث می‌شود نانوسیم‌های نیمه‌هادی در زمینه‌هایی نظیر حسگرها کاربرد داشته باشند.

فولرین‌ها

فولرین‌ها، اغلب به ساختارهای کروی که از جنس کربن هستند اطلاق می‌شود. ولی امروزه از عناصر دیگر نظیر نیتروژن نیز در ساختار آنها استفاده شده است، آزا فولرین ($C_{48}N_{12}$) و فولرین‌های معدنی نمونه‌ای از آنها هستند. کاربرد فولرین‌ها در صنایع پزشکی مورد تحقیق و بررسی است.

فولرین‌های کربنی

فولرین‌های کربنی، آلوتروپی از کربن (نظیر الماس و گرافیت) هستند این ترکیبات از کربن ساخته شده اند و فرمهای کروی، بیضوی به خود می‌گیرند به شکل کروی باکی‌بال می‌گویند. در آوریل ۲۰۰۳ این نوع فولرین‌ها در زمینه دارویی مورد مطالعه قرار گرفتند (در خصوص آنتی بیوتیکهایی که برای مقابله با باکتریهای مقاوم و حتی سلولهای سرطانی مصرف می‌شود). فولرین‌ها فعالیت شیمیایی زیادی نداشته و در چندین حلال نظیر تولوئن و کربن دی‌سولفید حل می‌شوند.

فولرین‌های درون‌وجهی

فولرین‌های درون‌وجهی اتم‌های مختلف را داخل خود محصور می‌کنند، نانو ساختارهای حاصله برای ردیابی عناصر و فرایندهای بیولوژیکی بکار می‌روند.

مشتقات شیمیایی فولرین‌ها

جایگزین شدن عناصر دیگر نظیر نیتروژن و گوگرد بجای کربن مشتقات شیمیایی گوناگونی را به وجود می‌آورد، آزا فولرین یکی از این ترکیبات است. مشتقات شیمیایی دیگر با اضافه شدن ترکیبات شیمیایی توسط یک گروه عاملی به فولرین به وجود می‌آیند. بدیهی است ایجاد چنین ساختاری نوعی اصلاح شیمیایی به حساب می‌آید.

فولرین‌های چندلایه

فولرین‌های چندلایه شامل چندین فولرین هستند که در داخل یکدیگر قرار دارند. به همین دلیل به این ساختار نانوپایز نیز گفته می‌شود.

فولرین‌های غیر کربنی

در فولرین‌های غیر کربنی، عناصر دیگر ساختاری مشابه فولرین‌ها را بوجود می‌آورند، ساختار شیمیایی

این فولرین‌ها اغلب اکسید فلزی می‌باشد، اکسید وانادیوم یک نمونه از آنهاست.

ساختارهای معدنی متنوع

نانوساختارهای معدنی، از اکسیدهای فلزی مختلف، نظیر اکسید روی و با استفاده از روش تصعید حرارتی فاز جامد-بخار تحت شرایط ویژه به وجود می‌آیند، هر یک از این ساختارها خواص منحصر به فردی از خود بروز می‌دهند و همین پدیده باعث شده است که تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت می‌گیرد.

قفسه‌های چندوجهی

قفسه‌های چندوجهی دارای ساختار متخلخل می‌باشند که از خودآرایی نانوبلورهای اکسیدفلزی حاصل می‌شوند. این روش شامل انجماد قطرات فلز، اکسیداسیون سطحی و تصعید می‌باشد. قفسه‌های چندوجهی می‌توانند جهت دارورسانی بکار روند.

نانوشانه‌ها

نانوشانه‌ها، نانوساختارهای اکسید فلزی هستند که نانو کریستالهای کوچکتر بطور منظم روی محور اصلی قرار می‌گیرند. این نانوساختارها در صنایع پزشکی، الکترونیک و ترانسفورماتورها کاربرد دارند.

نانوحلقه‌ها

نانوحلقه یک کریستال حلقوی شکل در ابعاد نانو است. اولین نانو حلقه با ترکیب شیمیایی اکسید روی در انستیتوی تکنولوژی جرجیا کشف شد. این ترکیبات به صورت خود به خودی از فرایند خودپيچش نانوتسمه‌ها بدست می‌آیند.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به طور کاملاً واضح شکل حلقه‌ها را با سطوح یکسان نشان می‌دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نیز نشان می‌دهد که نانوحلقه‌ها به صورت تک‌بلوری و دایره‌ای هستند. ساختار تک‌بلوری به معنی تشکیل نانوحلقه‌های کامل از تسمه تک‌بلوری است. بطور کلی نانوحلقه‌ها نتیجه حلقه‌ای شدن هم‌بافت و هم‌محور نانوتسمه‌ها می‌باشند.

نانوملخ‌ها

وقتی یک نانومیله توسط نانومیله‌های عرضی (جانبی) احاطه گردد، نانوملخ‌ها ایجاد می‌شوند. نانوسیم‌های عرضی دارای ابعاد چند ده نانومتر هستند.

نانومیله‌ها

نانومیله‌ها دسته‌ای دیگر از نانو ساختارهای اکسیدی هستند و مشابه نانولوله‌ها در دو بعد نانومقیاسند.

نانوفنرها

نانوفنرها از نانو تسمه‌ها بوجود می‌آیند. ساختار القایی خودبخودی این ترکیبات باعث می‌گردد که هر حلقه چرخش ۹۰ درجه در قطیبت داشته و شکل فتری پایدار حاصل آورد.

نانوتسمه‌ها

نانوتسمه‌ها از اکسیدهای نیمه‌رسانای روی، قلع، کادمیم و گالیم و با استفاده از تبخیر پودرهای تجاری اکسید این فلزات در دمای بالا حاصل می‌شوند. این نانوتسمه‌ها خالص، یک شکل و دارای بلورهای منفرد می‌باشند. ساختار هندسی ویژه نانوتسمه‌ها باعث ایجاد بلورهای اکسیدی نیمه‌رسانا با کاتیون‌هایی با ظرفیت متفاوت و خواص جالب توجه می‌گردد. ترانزیستورهای اثر میدانی، حسگرهای نانومقیاس بسیار حساس گازها و نانوحامل‌های ساخته شده از نانوتسمه‌های منفرد، نمونه‌ای از کاربرد نانوتسمه‌ها می‌باشد. به علت خاصیت پیزوالکتریکی نانوتسمه‌های سنتزی اخیر می‌توان از آنها در کاهنده‌ها، افزایشنده‌ها و حسگرهای نانومقیاس نیز استفاده نمود.

نانو حلزون‌ها

نانوساختارهای حلزونی از تغییر شکل نانوتسمه‌ها به وجود می‌آیند، در این فرایند نانوتسمه حول یک مرکز حلقه زده و دواپر هم‌مرکز را تشکیل می‌دهد.

نانوقطعات الکترونیکی و نوری

نانوقطعات الکترونیکی و نوری قطعاتی در ابعاد نانو هستند که در الکترونیک و ادوات نوری کاربرد دارند.

نانوقطعات الکترومکانیکی (MEMS/NEMS)

سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) شامل ترکیبات مکانیکی در اندازه میکرو بوده و اشکال لیتوگرافی شده سه بعدی با هندسه متفاوت را در بر می‌گیرند. به دلیل نسبت بالای سطح به حجم در MEMS اثرات سطح نظیر الکترواستاتیک و خیس شدن، اثرات حجم نظیر اینرسی را می‌پوشاند. سیستم‌های میکروالکترومکانیکی با استفاده از سیلیکون اصلاح شده ساخته می‌شوند.

روش‌های ساخت MEMS عبارتند از: قالب‌گیری، آبکاری (روکش‌دهی)، حکاکی‌تر (محلول KOH) و خشک (DRIE و RIE) ماشین کاری تخلیه الکتریکی (EDM).

سیستم‌های نانو الکترومکانیک (NEMS) شبیه به MEMS‌ها ولی در ابعاد کوچکتر هستند این سیستم‌ها توانایی تغییر اساسی در اندازه‌گیری نیروها و جابه‌جایی‌های کوچک در سطح مولکولی را دارند.

دو روش برای خلق سیستم‌های NEMS وجود دارد. روش اول بالا به پایین است که در آن یک مجموعه ابزار طراحی شده است تا ابزارهای کوچکتری را بسازد. روش دیگر پایین به بالا است که در آن از سیستم‌های خودآرا و سیستم‌های مولکولی بیولوژیکی بدلی استفاده می‌شود.

نانو قطعات سیالاتی

در نانساختارهای نانوسیالاتی رفتار سیالات در اندازه‌های نانو و مزو بررسی می‌شود. در این زمینه سیستم‌ها طوری طراحی می‌شوند که از حجم کم سیالات استفاده شود. رفتار مایعات در اندازه ماکرو نسبت به اندازه‌های میکرو متفاوت است. در این فرایند از کانال‌هایی که قطر آنها در حد نانو و میکرو است برای بررسی این خواص استفاده می‌کنند و خواصی نظیر کشش سطحی، مقاومت سیال و توزیع انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به دلیل نسبت سطح به حجم بالا در نانوسیالات سرعت واکنش‌های شیمیایی افزایش می‌یابد. عدد رینولدز (که نشان‌دهنده آشفتگی جریان سیال است) خیلی پایین بوده و سیال به صورت لایه‌ای باقی می‌ماند. نانوسیالات در توسعه فناوری آزمایشگاه در یک تراشه (Lab on a chip)، آرایش DNA، نفوذ مواد و خواص گرمایی کاربرد دارند.