دانشکده علوم

گروه فیزیک

اثرناخالصی روی حالتهای الکترونی نانوتیوبهای کربنی تک دیواره

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک

مولف

علی صادقی سلیمی

استاد راهنما

دکترعلیرضا صفارزاده

شهریور ۱۳۸۹

از استاد عزیز و ارجمندم دکتر علیرضا صفارزاده به خاطر مهربانی و دلسوزی ایشان ونیز تلاش خستگی ناپذیرشان در راه علم و دانش که سرمشق زندگی ام خواهد بود صمیمانه سپاسگزارم و سلامتی و پیشرفت روز افزون ایشان را از خداوند متعال آرزومندم.

فهرست

فصل اول:نانوتکنولوژی ۱
(۱-۱)مقدمه..... ۱
(۱-۲)برخی روشهای تولیدنانومواد..... ۳
(۱-۳)کاربردهای نانومواد..... ۷
فصل دوم:نانوتیوبهای کربنی ۱۲
(۲-۱)محاسبات T.B مولکولها و جامدات..... ۱۲
(۲-۲) ساختارنانوتیوب کربنی تک دیواره..... ۲٤
(۲-۳) ساختار الکترونی نانوتیوبهای تک دیواره ۳٤
فصل سوم:تقریب CPA ٤۷
(۳-۱)مقدمه ای برتوابع گرین ٤۷
(۳-۲)تغییرات استاندارد وتقریبهای خودسازگاربرای توابع گرین ۵۵
(۳-۳)تقریب پتانسیل همدوس CPA ۷۵
فصل چهارم:اثرناخالصی روی چگالی حالتهای الکترونی نانوتیوبهای کربنی ۹۱
(۴-۱)محاسبات ۹۱
(۴-۲)نتایج..... ۹۷
منابع..... ۱۲۵

فهرست اختصارات

تقریب پتانسیل همدوس	CPA
تقریب کریستال مجازی	VCA
تقریب متوسط ماتریس پراکندگی	ATA
اثر کوتاه برد	SRO
آرمچیر	Arm
زیگزاگ	Zig
نانوگرافی قلم غوطه ور شده	DPN
لیتوگرافی با کره های نانومتزی	NSL
روش برهمکنش قوی	T.B
نانوتیوب کربنی تک دیواره	SWCNT

چکیده

دراین تحقیق بر برخی از جنبه های عمومی نانوتکنولوژی از قبیل منبع پیدایش و رویکرد نانو تکنولوژی ، نانو مواد و نیز برخی کاربردهای نانومواد که با سرعت بسیار زیادی در حال گسترش و افزایش است پرداخته شده است. پس از آن به بررسی دقیق نانوتیوبهای کربنی که بیشتر مورد توجه دنیای فیزیک است پرداخته ایم که از بررسی زنجیره های کربنی که در واقع ساختار یک بعدی دارند شروع کرده ایم و پس از آن به بررسی جزیی تر گرافیت که ساختار دوبعدی دارند رسیده ایم و در این بررسی ها از روش T.B استفاده کرده ایم. بررسی گرافیت از آن رو دارای اهمیت است که با پیچاندن یک صفحه گرافیت نانو تیوب کربن تولید می شود. که با صرفه نظر کردن از آثار انحنا با تقریب خوبی خواص آن را نشان می دهد.

با معرفی نانوتیوب کربنی با توجه به اینکه انواع مختلف آن براساس شکل چیدمان اتمهای کربن روی سطح مقطع آن دارای خواص متفاوتی هستند.به دسته بندی آنها و بررسی ویژگیهایشان پرداخته ایم. اما آنچه که از اهمیت خاصی برخوردار است و هدف اصلی تحقیق می باشد بررسی خواص الکترونیکی نانو تیوبهای کربنی است که با استفاده از رابطه پراکندگی انرژی که برای هرکدام از انواع نانو تیوب های کربنی به دست آوردیم و نیز چگالی حالتهای الکترونی برحسب انرژی و اندازه گیری گاف انرژی در نمودار چگالی حالتها به رفتار الکترونی نانو تیوبهای کربنی مانند رسانش و نیمه رسانش پی بردیم و در واقع معلوم شد حدود $\frac{1}{3}$ نانو تیوبها که همان نانو تیوبهای آرمچیر هستند رسانا و $\frac{2}{3}$ دیگر از جمله نانو تیوبهای زیگزاگ نیمه رسانا هستند. برای بررسی تغییر رفتار الکترونی نانو تیوبها نانو تیوبهای زیگزاگ وآرمچیررا که رفتار نیمه رسانش و رسانش دارند را مورد توجه قرار دادیم وبه بررسی رفتار الکترونی آنها در اثر تزریق ناخالصیهای غیر مغناطیسی پرداختیم که چون محاسبات آن به روش مستقیم امکان پذیر نیست از روش تقریب پتانسیل همدوس CPA استفاده کردیم در این روش برپایه T.B و استفاده از تابع گرین در فرم کوانتش دوم تابع گرین محیط واقعی که دارای یک سری مراکز پراکندگی در اثر وجود ناخالصی است را به دست می آوریم سپس محیط واقعی را با یک محیط مجازی که در آن فقط یک اتم ناخالصی وجود دارد و سایر سایتها دارای یک سلف انرژی یکسانی هستند جایگزین می کنیم. این شرایط مجازی با تقریب خوبی متناسب با محیط واقعی قبلی است و کمک می کند که محاسبات با

استفاده از یک روش خود سازگار با دشواری بسیار کمتری و با دقت قابل قبولی انجام شوند. بااعمال این روش روی نانو تیوبهای زیگزاگ مختلف که در آنها ناخالصیهایی نظیر نیتروژن تزریق شده است به این نتیجه رسیدیم که در اثر اعمال چنین ناخالصیهایی خواص الکترونی آنها از فاز نیمه رسانش به فاز رسانش تغییر می یابد و با بدست آوردن منحنی چگالی حالتها که از روش CPA بدست می آید قابل مشاهده است که کاهش گاف انرژی نشان دهنده این تغییر رفتار است.

مقدمه

انقلاب اطلاعات جهان پیرامون مارا به شیوه گسترده ای تحت تاثیرقرارداده است وسرعت پیشرفت آن ازاثرات انقلاب صنعتی نیزپیشی گرفته است. کلید توسعه وپیشرفت درفناوری اطلاعات دستیابی به رایانه های با توان بیشترحجم کوچکتروقیمت ارزان تراست با استفاده ازاین فناوری می توان ظرفیت ذخیره سازی اطلاعات را در حد هزار برابریا بیشترافزایش داد.نانو کامپیوتر و نانو اسمبلر دومفهوم جدیدی هستند که در علم نانو مطرح می شوند. ساخت نانواسمبلر درواقع یک هدف نهایی و مهم در نانوتکنولوژی است. نانواسمبلردر واقع امکان تهیه ماشین یا مکانیک ساختاری شبیه خودش را بوجود آورد. زمانی که یک نانواسمبلرکامل دردسترس باشد تقریبا همه چیزممکن می شود و این مهمترین و بزرگترین خواسته دانشمندان نانوتکنولوژی است. ازدهه ۱۹۲۰ دانشمندان دریافتند که ویژگیهای مواد مانند استحکام وقابلیت هدایت الکتریکی با ساختاراتمی ومولکولی آنها تعیین می شود. بعدها دانش فوق منجربه ساخت مواد نیمه هادی شد که پایه صنعت الکترونیک کنونی است. درصنعت قابلیت نانوماشین ها برای کوچک کردن ترانزیستورها وتراشه های سیلیکونی می تواند انقلابی در این زمینه بوجود آورد. به این ترتیب نیاز است که فناوری نو وتازه ای بکارگرفته شود تا کوچک سازی مدارها را انجام دهد. نانوالکترونیک شاخه ای ازفناوری نانواست که ازتاثیر نانوفناوری بر دانش وصنعت الکترونیک ایجادشده است. نانوالکترونیک از نظرساخت وسایل الکتریکی کوچکتر،سریعتر وکم مصرف ترنقش بسیار مهمی درتکنوکوژی جهانی دارد. نانوتیوبهای کربنی دارای کاربردهای بسیار درزمینه نانوالکترونیک و همچنین نانوکامپیوترها دارد ازکاربرد بی شمارنانو لوله ها می توان بکارگیری به عنوان عایق ،رسانا، نیمه رسانا استفاده کرد. دراین تحقیق با توجه به این خواص ویژه نانوتیوبها تاثیر تزریق ناخالصی های غیرمغناطیسی را دربه کنترل درآوردن رسانش ونیمه رسانش نانوتیوبها مورد بررسی قرارگرفته است. با توجه به اینکه محاسبات پیچیده وطولانی که به روش حل معادلات خودسازگارانجام می شود لازم می شود ضروری است ، برای انجام این محاسبات ازنرم افزار فرترن ۹۰ که دارای دقت محاسباتی بالایی است استفاده شده است. این محاسبات با استفاده ازتقریب پتانسیل همدوس CPA انجام شده است که این تقریب با دقت بالایی به شرایط واقعی نزدیک است. بررسی های انجام شده درقالب چهارفصل ارائه شده است که فصل اول به معرفی نانوتکنولوژی وروشهای تولید نانومواد و برخی ازکاربردهای آنها اشاره دارد. درفصل دوم به طورمفصل درباره خواص نانوتیوبهای کربنی ، ساختارآنها، دسته بندی وساختارالکترونی آنها بحث شده است. فصل سوم

اختصاص به توضیح وتفسیر تقریب پتانسیل همدوس برپایه T.B ومقایسه آن با سایر روشها از قبیل ATA وVCA دارد. درفصل چهارم با کاربرد تقریب پتانسیل همدوس برای نانوتیوبهای کربنی که در آنها ناخالصی تزریق شده است به ارائه نتایج پرداخته ایم.

فصل اول

نانوتکنولوژی

(۱-۱): مقدمه

ریچاردفایمن برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹٦۵ و یکی از مشهورترین فیزیکدانان دهه ٦۰ میلادی که ملقب به پدر علم نانو تکنولوژی است در سال ۱۹٦۰ در همایش جامعه فیزیک امریکا طی یک سخنرانی ، پیش بینی انقلابی و جذابی را بیان نمود. وی بیان کرد فضای زیادی در پایین وجود دارد. همین جمله پایه علم نانو تکنولوژی شد.وی در آن سخنرانی این نکته را مطرح ساخت که اصول علم فیزیک چیزی جز امکان ساختن اتم به اتم اشیاء بیان نمی کنند. فاینمن همچنین خطوط حکاکی شده ای روی یک سطح را فرض نمود که عرضی به اندازه چند اتم داشتند و تصور کرد که می توان این خطوط را بوسیله تابش پرتوهای الکترونی به یک ماده زیر لایه تولید نمود. این بحث پایه و اساس تولید تراشه های سیلیکونی امروزی است. وی پیشنهاد کرد که می توان اتم های مجزا را دستکاری کرد و مواد و ساختارهای کوچکی را تولید نمود که خواص متفاوتی دارند گرچه پیش بینی های فاینمن در بین دانشمندان هم دوره اش از پذیرش خوبی برخوردار نشد ولی این پیش بینی ها امروزه به حقیقت پیوسته است. در دهه ۵۰و٦۰ میلادی فعالیتهای زیادی روی ذرات فلزی کوچک در حال انجام بود. در آن زمان این فعالیتها را نانوتکنولوژی نمی نامیدند. تولید سیلیکون متخلخل در سال ۱۹٦۵ و یا کار روی تولید ذرات نانومتری فلزات قلیایی به وسیله تبخیر فلز سدیم و پتاسیم و چگاش سریع آنها از جمله این فعالیتها بود سیالهای مغناطیسی نیز در دهه ٦۰ توسعه یافتند. این مواد شامل نانوذرات مغناطیسی هستند که در یک مایع توزیع شده اند.

پیشوند نانو در اصل یک کلمه یونانی است. معادل لاتین این کلمه Dwarf است که به معنی کوتوله و قد کوتاه است. این پیشوند در علم مقیاس ها به معنی یک میلیاردم است. بنابراین یک نانو متر یک میلیاردم متر است. این مقیاس را با ذکر مثال هایی عینی بهتر می توان حس کرد. یک تارموی انسان بطور متوسط قطری حدود ۵۰۰۰۰ نانو متر دارد. یک باکتری قطری معادل چند صد نانو متر دارد. کوچکترین اشیای قابل دید توسط چشم غیر مسلح اندازه ای حدود ۱۰۰۰۰ نانومتر دارند. فقط حدود ۱۰ اتم هیدروژن در یک خط یک نانو متر را می سازند.

به بیان ساده علم نانو مطالعه اصول اولیه مولکولها و ساختارهای با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانو متر است. این ساختارها را نانوساختار می نامیم. نانو تکنولوژی کاربرد این ساختارها در دستگاههای با اندازه نانومتری است. تعریف دیگری که می توان از نانو تکنولوژی ارائه نمود این است که نانوتکنولوژی شکل جدیدی از ساخت مواد بوسیله کنترل و دستکاری واحدهای ساختمانی آنها در مقیاس نانو می باشد. می توان گفت نانو تکنولوژی تولید کارآمد مواد و دستگاهها و سیستمها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر و بهره برداری از خواص و پدیده های نو ظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یا فته اند.

یکی از ویژگیهای مهم نانوتکنولوژی جنبه چند رشته ای آن است. مفهوم چند رشته ای در نانو تکنولوژی بدان معناست که نیروی کاری نانو تکنولوژی باید دارای بینش وسیعی از مفاهیم زیست شناسی، فیزیک، شیمی، اصول مهندسی طراحی، کنترل فرآیندو محصولات باشد. برای درک مفاهیم پایه ای و تدوین قوانین در مقیاس نانو تقریباً به تمامی علوم نیاز است. به عنوان مثال علم زیست شناسی به دو دلیل مورد نیاز است : اول آنکه محصولات نانو تکنولوژی به شدت از سیستم های زیستی تبعیت می کنندو دوم اینکه محصولات نانو کاربردهای چشمگیری در زیست پزشکی دارند. علم فیزیک مورد نیاز است ، زیرا دنیای نانو دنیای توابع موج ، تونل زنی کوانتومی و کشف نیروهای اتمی ناشناخته است. علم شیمی مورد نیاز است ، زیرا روشهای پیوند مولکولها با همدیگر و چگونگی ترکیب مواد را به ما می آموزد به اصول مهندسی نیز نیاز است تا بتوان قابلیت تولید وحیات اقتصادی را تنظیم نمود. اصل چند رشته ای بودن نانو تکنولوژی بیانگر این حقیقت است که این علم رشته جدیدی نیست بلکه رویکردی جدید در تمام رشته هاست و تمام عرصه های مختلف علم و فناوری را دربر می گیرد.

شاید این سوال در ذهن پدید آید که چه چیزی در مقیاس نانومتری وجود دارد که یک تکنولوژی بر پایه آن بنا نهاده شده است. آنچه باعث ظهورنانوتکنولوژی شده نسبت سطح به حجم بالای نانو مواد است. این موضوع یکی از مهمترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانو است. در مقیاس نانو اشیاء شروع به تغییر رفتار می کنند و رفتار سطوح بر رفتار توده ای ماده غلبه می کند. در این مقیاس برخی روابط فیزیکی که برای مواد معمولی کاربرد دارند نقض می شوند. برای مثال ، یک سیم یا اجزای یک مدار در مقیاس نانو لزوماً از قانون اهم پیروی نمی کنند. قانون اهم به جریان ، ولتاژ و مقاومت بستگی دارد. اما در مقیاس نانو وقتی عرض سیم فقط به اندازه یک یا چند اتم باشد الکترونها لزوماًباید در صف و به ترتیب و یک به یک از سیم رد شوند.بنابراین ممکن است قانون اهم در این مقیاس تا حدودی نقض شود. در حقیقت در این مقیاس قوانین فیزیک کوانتم وارد صحنه می شوند و امکان کنترل خواص ذاتی ماده از جمله دمای ذوب،خواص

مغناطیس ، ظرفیت بار و حتی رنگ مواد ، بدون تغییر در ترکیب شیمیایی ماده وجود خواهند داشت.

یک مکعب از جنس طلا با ابعاد ۳ سانتیمتر را در نظر بگیرید. حال این مکعب را از طول ،عرض و ارتفاع نصف می کنیم تا ۸ مکعب کوچکتر بدست آوریم. خواص ماده در هر ۸ مکعب کوچکتر دقیقاًمشابه خواص مکعب اولیه است هر مکعب کوچکتر هنوز طلاست زرد است ، درخشنده و سنگین است. همه این مکعب ها نرم اند ، یک فلز هادی الکتریسیته هستند با همان نقطه ذوبی که قبل از تقسیم شدن به این مکعب های کوچکتر داشتند. حال اگر یکی از این مکعب های کوچک شده را به روش مشابهی به ۸ مکعب کوچکتر تقسیم کنیم مکعبهای بدست آمده از این مرحله هم همان خواص مکعب اولیه را دارا هستند. اگر به این فرآیند ادامه دهیم و مکعبهای طلا را مرتباًکوچک و کوچکتر نمائیم سرانجام قادر به دیدن تکه های ریز شده طلا با چشم غیر مسلح نخواهیم بود. اما همچنان خواص فیزیکی و شیمیایی تکه های طلا بدون تغییر باقی می ماند.

وقتی به مقیاس نانو برسیم تقریباً همه چیز تغییر می کند. حتی رنگ طلا،نقطه ذوب و خواص شیمیایی آن کاملاًمتحول می شود. مثلاًنانو ذرات طلا بسته به اندازه خود می توانند نارنجی ، ارغوانی ، قرمز یا آبی متمایل به سبز به نظر برسند. توسط میکروسکوپ می توان دید که یک نانو نقطه طلا ، قرمز به نظر می رسد اما وقتی این ذرات به هم متصل می شوند رنگشان به زرد تبدیل می شود. اگر تعداد کافی نانو نقاط طلا بهم نزدیک شوند بطوریکه با هم ترکیب نشوند ، می توان رنگ قرمز ذرات را با چشم غیر مسلح نیز دید. این همان عملکرد این ذرات در لعاب سرامیکهای قدیمی است. حال اگر اجازه ترکیب شدن این ذرات بهم داده شود مجددا ، به رنگ طلایی دوست داشتنی قدیمی خود دیده خواهند شد.

(۱-۲):برخی روشهای تولید نانو مواد

آخرین مراحل کوچک کردن مکعب های طلا برای رسیدن به مقیاس نانو یکی از انواع ساخت و تولید در مقیاس نانو است. به این روش ساخت مواد نانو ،روش ساخت بالا به پایین گفته می شود. زیرا فرآیند ساخت از ساختار بزرگ شروع شده و عملیاتی انجام میگردد که قطعات بزرگ به تکه های کوچک تقسیم شوند. برعکس شروع از اتمهای مجزا و ساختن و رسیدن به یک نانو ساختار را روش ساخت پایین به بالا می نامند. در این راستا نانو ساختارهای طلای بسیار ریزی که ساخته شدندرا نقاط کوانتمی یا نانو نقطه می نامندچرا که شکلی شبیه یک نقطه و قطری در ابعاد نانو دارند. با توجه به تعریف ارائه شده برای روشهای تولید پایین به بالا می توان گفت این روش تولید فقط مختص به مواد با ساختارهای نانومتری است. اما روشهای تولید بالا به پایین هم برای

تولید مواد نانو و هم مواد معمولی کاربرد دارند. در ادامه برخی از وسایل و روشهای موردنیاز برای ساخت پایین به بالا مورد بررسی قرار می گیرد.

پیمایشگر روبشی: پیمایشگرهای روبشی فقط برای دیدن ساختارها استفاده نمی شوند. بلکه برای دستکاری کردن آنها نیز کاربرد دارند. همانطور که می توان سطوح نرم را با استفاده از یک خراشنده روی سطح، خراش داد، سوراخ یا شماره گذاری کرد، می توان یک سطح را در مقیاس اتمی با استفاده از نوک پروب روبشی اصلاح کرده و تغییر داد.

پروبهای روبشی برای دستکاری در نحوه چیدن مولکولها نیز بکار می روند. این ابزارها همچنین برای تولید خطوطی در مقیاس نانو بوسیله ردیف کردن اتم ها یا مولکولها در سطوح با ساختار مشخص کاربرد دارند. به بیان دیگر با استفاده از این وسایل می توان اتمهای مشخصی را روی یک سطح مشخص حرکت داده و درجاهای دلخواه قرار دادو بدین ترتیب ساختار دلخواه را تولید نمود. این ساختارها برای نشان دادن و تست برخی مفاهیم علمی مثل ساختار شیمیایی، نیروهای الکتریکی و رفتار مغناطیسی استفاده می شوند. مونتاژ کردن مواد به روش اتم به اتم یا مولکول به مولکول، اساس رویایی است که شیمیدانها سال هاست در ذهن خود پرورانده اند. اصولاً اتم ها یا مولکولهای مجزا را می توان به وسیله فشاردادن به جلو یا کندن از سطوح و دوباره قرار دادن در مکانی دیگر از سطح روی سطح جابجا کرد. در هر دو مورد نوک پروب مثل یک دستگاه بولدوزر و یا جرثقیل در مقیاس نانو عمل می کند. در رابطه با این فرآیند باید خاطر نشان کرد که سرعت پایین و هزینه بالا از عمده محدودیتهای مونتاژ سطح با استفاده از پروبهای روبشی است.

لیتوگرافی در مقیاس نانو: کلمه لیتوگرافی در اصل به معنی ساخت اشیاء از سنگ است. لیتوگراف یک تصویر است که از حکاکی یک طرح روی سنگ بدست می آید. بدین منظور ابتدا طرح با مرکب روی سنگ کشیده شده و سپس با قرار دادن سنگ روی کاغذ و فشاردادن آن طرح روی کاغذ چاپ می شود.

در مقیاس کوچک نیز انواع مختلفی از لیتوگرافی بکاربرده شده است. به عنون مثال برای تولید تراشه های کامپیوتری از لیتوگرافی اپتیکی یا پرتوایکس استفاده می کنند. در این مورد با توجه به شکل تراشه مورد نظر، با استفاده از روشهای شیمیایی یک ماسک از طرح تراشه تولید شده و سپس پرتو لیزر از روی ماسک عبور کرده و ساختارهای دقیق تراشه را روی سطح مشخص می سازد. برای لیتو گرافی در مقیاس نانو نمی توان از نور مرئی استفاده کرد چون طول موج نور مرئی حداقل ٤٠٠ نانومتر است، بنابراین ساختارهای کوچکتر از ٤٠٠ نانومتر را با استفاده از این روش نمی توان ایجاد نمود.

با این وجود روشهای مختلفی برای لیتوگرافی در مقیاس کوچک وجود دارد یکی از روش های ساده و در عین حال ظریف لیتوگرافی مهر زنی در مقیاس میکرو است.در این روش مثل روش مهر زدن معمولی بوسیله استامپ عمل می شود. طرح مورد نظر روی سطح لاستیکی حکاکی شده(در این مورد از پلیمرهای سیلیکون اکسیژنی شبه لاستیکی استفاده می شود)سپس سطح این لاستیک با یک نوع جوهر مولکولی آغشته می شود. جوهر می تواند روی سطح دیگری برگردانده شود و طرح مورد نظر را ایجاد نماید. این سطح می تواند یک فلز، پلیمر، اکسید یا هر سطح دیگری باشد. مهر زدن در مقیاس کوچک علیرغم پیچیده بودن بسیار کم هزینه است و می تواند برای تولید کپی های زیادی بکار رود. اصولاً مهرها در مقیاس بیش از میکرون(۱۰۰۰نانومتر) کار می کنند اما پیشرفتهای اخیر کاربرد آنها را تا مقیاس نانو متر توسعه داده است.

نانو لیتوگرافی قلم غوطه ورشده(DPN): یک راه برای تولید ساختارهای دلخواه روی سطوح نوشتن آنهاست. درست مشابه خطی که با خودکار روی کاغذ کشیده می شود. برای تولید چنین خطوطی در مقیاس نانو به یک نانو خودکارنیاز است. خوشبختانه نوک پروب میکروسکوپ های نیروی اتمی نانو خودکارهای ایده آلی برای این کار هستند. در DPN مخزن جوهر(اتمها یا مولکولها)در بالای نوک پروب روبشی قرار داده شده است و روی سطح نشانده می شود.DPN توسط چدمیرکین و همکارانش در امریکا توسعه یافت این روش مزایای زیادی دارد. از مهمترین مزیتهای این روش آن است که اولاً اکثر مواد می توانند به عنوان نانو جوهر استفاده شوند و بسیاری از سطوح را می توان با این روش حکاکی نمود. همچنین از DPN برای ساخت تقریباً هر نوع ساختاری چه ساده چه پیچیده می توان استفاده کرد چرا که دستکاری کردن سطوح با نوک میکروسکوپ نیروی اتمی کار ساده ای است. این روش DPN را یکی از بهترین گزینه های تولید ساختارهای پیچیده در حجم های کوچک نموده است. مشکل عمده این روش سرعت پایین آن است.

لیتوگرافی با پرتوهای الکترونی: همانطور که قبلاً گفته شد محدودیتی که در مورد لیتوگرافی های برپایه نورهای معمولی وجود دارد آن است که نمی توان ساختارهای کوچکتر از طول موج نور را ایجاد نمودحتی اگر بتوان از نورهای با طول موج بسیار کوچک استفاده کردبازهم مشکلات دیگری وجود دارند. نورهای با طول موج کوچکتر انرژی بیشتری دارندو این امر می تواندباعث آسیب رسیدن به ساختارهای تولیدی با این روش شود. درست مثل این است که بخواهیم باغچه را با استفاده از ماشین آتش نشانی آبیاری کنیم. راه حل پیشنهاد شده برای رفع این مشکل استفاده از الکترونها بجای نور مرئی است.

لیتوگرافی با استفاده از کره های نانو متری: اگر تعدادی گلوله شیشه ای هم اندازه روی یک تخته در کنارهم قرار گیرند و تاجایی که امکان دارد بهم بچسبند یک گروه متحد را تشکیل می دهند که در آن هر گلوله شیشه ای با ٦ گلوله دیگر احاطه شده است. اگر این مجموعه از بالا توسط رنگ اسپری شود و سپس گلوله ها از تخته کنار بروند. طرحی مثل نقاط نقاشی شده روی تخته مشاهده می شود. هر نقطه دارای شکلی شبیه مثلث می باشد که اضلاع آن مقعر است. حال اگر گلوله های شیشه ای در مقیاس نانو باشند نقاط بوجود آمده هم در مقیاس نانو خواهند بود. این روش، لیتوگرافی با استفاده از کره های نانومتری یا NSL نامیده میشود. این روش خصوصیات بارزی دارداز جمله ، تخته ها(سطوح)و رنگهای (فلزات،مولکولها)زیادی می توانند استفاده شوند ولایه های مختلفی از رنگ(مولکولها)می توانند بطور متناوب روی نقاط مورد نظر قرار گیرد.

خودآرایی: در برخی روشهای مونتاژ کردن نانو ساختارها سعی می شود سیستم به گونه ای طراحی شود که فقط مواد شیمیایی باهم ترکیب شده و بعد اجازه منظم شدن خود بخودی به مولکولها داده شود. این روش مونتاژ خودبخود یا خودآرایی نامیده می شود و یکی از مهمترین روشهای تولید در مقیاس نانو است چرا که قابلیت تولید ساختارهایی با ابعاد بزرگ در این روش وجود دارد و همچنین هزینه تولید قطعات توسط این روش خیلی زیاد نیست. مولکولها همیشه به دنبال سطح انرژی پایین تری برای خودشان هستند. اگر پیوند با مولکول مجاور، این امر را میسر کند، آنها بهم پیوند می خورند. اگر تغییر موقعیت فیزیکی رمز این کار باشد، آنها موقعیت خود را تغییر می دهند. به بیان ساده خودآرایی نیروی محرکه ای است که منجر به سقوط سنگ از بالای تپه به پایین می شود. اینکه چگونه سنگ بلند شود، پرتاب گردد، غلتیده شود، بشکند و یا دستکاری شود فرقی نمی کند و بهرحال سنگ به پایین تپه سقوط می کند. می توان از این فرآیند جلوگیری کرد اما این امر نیازمنددخالت یک نیروی مخالف است. درهنگام سقوط سنگ تلاش می کند تا انرژی جاذبه خود را کاهش دهد. در مورد مولکولها آنها سعی می کنند انواع دیگر انرژی خود را کاهش دهند.

برای درک بهتر خود آرائی یک قطب نما را در نظر بگیرید. اگر یک قطب نما تکان داده شود سوزن آن نوسان می کند و هر لحظه در یک جهت متفاوت می ایستد اما وقتی تکان دادن قطع می شود نوسان سوزن متوقف شده و در جهت اولیه خود از جنوب به شمال قرار می گیرد.یک آهن ربای کوچک درون سوزن وجود دارد و این جهت گیری جنوب به شمال باعث به حداقل رسیدن انرژی آن می شود. در این راستا نیازی به انجام کار بر روی سوزن نیست. به بیان دیگر سوزن خودش این جهت گیری را انجام می دهدروش خود آرایی بر پایه ساخت اجزایی است که مثل یک سوزن قطب نما بطور طبیعی خود را در جهتی که مورد نظر است سازمان دهی کنند.

در روش خودآرایی فرد سازنده ساختار نانومتری اتمها یا مولکولهای مشخصی را روی یک سطح از پیش ساخته شده ای می برد. سپس مولکولها خودشان روی موقعیتهای مخصوصی آرایش یافته و منظم می شوند. این مولکولها برخی اوقات پیوندهای ضعیف و برخی اوقات پیوندهای قوی برقرار می کنند و انرژی کل را کاهش می دهند. یکی از مزایای چشم گیر روش خودآرائی این است که ساختارهای بزرگی را با این روش می توان بوجود آورد بنابراین نیازی به مونتاژ قطعات بهم نیست. خودآرائی یکی از بهترین روشها برای تولید نانو ساختارهای بزرگ مثل حافظه های کامپیوتر و مدارهای منطقی کامپیوتر است.

البته خودآرائی محدود به کاربردهای الکترونیکی نیست. نانو ساختارهای خودآرا برخی اوقات برای تولید سطوح مقاوم به خوردگی، سطوح لغزنده، خشک و یا مرطوب بکار می روند.

تمام روشهای بحث شده را می توان جز روش ساخت پائین به بالا و یا اتم به اتم دانست. ریچارد اسملی که برنده جایزه نوبل علم نانو در سال ۱۹۹٦ شد تخمین زد که یک نانو ماشین زمانی حدود نوزده میلیون سال نیاز دارد تا به وسیله روش اتم به اتم تبدیل به ماده ای به وزن چند گرم شود. چرا که تعداد اتم های چنین ماده ای چیزی حدود 6×10^{23} اتم خواهد بود. اگر یک اتم به اندازه یک قاشق چای خوری تصور شود این تعداد از اتم ها به اندازه اقیانوس آرام هستند.

ساختن یک اقیانوس با استفاده از یک قاشق چای خوری بسیار کند و زمان گیر است. بنابراین تولید ماده توده ای با روش اتم به اتم کاری وقت گیر است. مونتاژ کردن با سرعتی حدود یک میلیون اتم در ثانیه برای تولید چند گرم از یک ماده زمانی حدود ۲ سال نیاز دارد. به همین دلیل معمولاً نانو ساختارها به وسیله بلوکهای بزرگتر از اتم یا مولکولها ساخته می شوند. به عنوان مثال اخیراً از بلوکهای نانو لوله های کربنی یا نانوسیم ها برای تولید نانو ساختارها استفاده شده است.

برخی از کاربردهای نانو موادونانوتکنولوژی: می توان فهمید که نانوتکنولوژی منجر به انقلاب فناوری در هزاره جدید خواهد شد وکاربردهای آن پتانسیل عظیمی برای تاثیر در جهان دارد. از کالاهای مصرفی گرفته تا الکترونیک ، فناوری اطلاعات بیوتکنولوژی ، صنایع هوا فضا ، محیط زیست و مواد و حتی تمام بخشهای اقتصادی نیز بطور عمده با نانو تکنولوژی در ارتباط خواهندبود. به بیانی ساده نانو تکنولوژی تقریباً تمام جنبه های زندگی بشر را تحت تاثیر قرار خواهد داد. از داروهایی که مصرف می شود تا توان و سرعت رایانه ها ، منابع انرژی موردنیاز، غذایی که خورده می شود ، ماشینی که رانده می شود ، خانه هایی که در آنها زندگی می شود و لباسی که به تن می شود ، مهم تر آنکه در هر زمینه ای که تصور تغییری در آن وجود داشته باشد تاثیرات جدیدی بوجود خواهد آمد که کسی فکرش را هم نمی کند. مسلماً پرداختن به توضیح

تمام این کاربردها امری بسیار مشکل و شاید غیر ممکن باشد. در ادامه مروری اجمالی و مختصر بر برخی از کاربردهای ویژه نانو مواد در دنیای نانوتکنولوژی خواهیم داشت.

(۱-۳):کاربردهای نانو مواد

نانو الکترونیک: در دهه های اخیر شاهد پیشرفتهای زیادی در زمینه افزایش قابلیت ذخیره اطلاعات روی حافظه ها و همچنین کاهش اندازه آنها بوده ایم که نتیجه آن دو برابر شدن سرعت پردازش در عرض هر ۱۸ ماه بوده است و این انتظار تحولی عظیم در صنعت میکروالکترونیک را طی ۱۵ سال آینده از نظر بنیادی و اقتصادی نوید می دهد. فن آوری نانو نقطه همگرایی علوم مختلف در آینده است. در این میان یکی از پرکاربرد ترین شاخه ها نانو الکترونیک می باشد. امروزه افزایش ذخیره داده، افزایش سرعت انتقال آن و کوچک کردن هرچه بیشتر وسایل الکترونیکی و به خصوص ترانزیستورها دارای اهمیت بسیاری است زیرا کوچک تر شدن ابعاد وسایل الکترونیکی علاوه بر افزایش سرعت پردازش، توان مصرفی را نیز کاهش می دهد و نانوالکترونیک می تواند در رسیدن به ابعاد هرچه کوچکتر راهگشا باشد. با استفاده از این فناوری می توان ظرفیت ذخیره سازی اطلاعات را در حد ۱۰۰۰ برابر یا بیشتر افزایش داد که این نهایتاً به ساخت ابزارهای ابرمحاسباتی به کوچکی یک ساعت مچی منتهی می شود. ظرفیت نهایی ذخیره اطلاعات به حدود یک ترابیت در هر اینچ مربع رسیده و این امر موجب ذخیره سازی ۵۰ عدد DVD یا بیشتر در یک هارددیسک با ابعاد یک کارت اعتباری می شود. ساخت تراشه ها در اندازه های فوق العاده کوچک به عنوان مثال در اندازه های ۳۲ تا ۹۰ نانو متر، تولید دیسکهای نوری ۱۰۰ گیگابایتی در اندازه های کوچک نیز از دیگر محصولات آن می باشد. اما در مورد ترانزیستورها طبق قانون مور تعداد ترانزیستورها در واحد سطح تراشه های الکترونیکی در بازه ۱۰ تا۱۸ ماهه دو برابر می شود نام فن آوری رایج امروز در ساخت ترانزیستورها MOSFET می باشد که بر پایه استفاده از سیلیکون است. کوچکتر شدن ابعاد ترانزیستورها در MOSFETدارای مشکلاتی است که از جمله آن نشت های جریان متفاوتی است که ایجاد می شود. یکی از روشهای حل این مشکل ساخت ترانزیستورها با استفاده از نانوساختارها و به خصوص نانوتیوبها می باشد. یکی دیگر از نتایج همکاری رشته های مختلف علوم طراحی نانو حسگرها می باشد.

هیدروکربن های آروماتیک از ریشه بنزن به علت وجود اوربیتالهای P وابرالکترونی در بالاو پایین آنها و همچنین پدیده رزونانس می توانند محیط انتقال خوبی برای الکترون باشند و برعکس هیدروکربن های زنجیری مانند نارسانا عمل می کنند. از بهم پیوستن این هیدروکربن ها باهم می توان دیود، کیتهای منطقی و مدارهای الکترونیکی را طراحی کرد.

فن آوریهای روز حافظه(RAM، Flash و...)مشکلات متعددی را برای مصرف کنندگان آنها بوجود آورده است که به عنوان نمونه می توان به سرعت پایین خواندن و نوشتن روی Flash ویا محدودیت اقتصادی افزایش فضای RAM اشاره کرد. MRAM یک فن آوری حافظه پایدار است که علاوه بر سرعت بالا می تواند ظرفیت حافظه بالایی را نیز فراهم کند. اساس کار MRAM بر پایه تفاوت مقاومت الکتریکی لایه های نازک مواد بر اثر قطبیده شدن ذرات آنها در راستاهای متفاوت می باشد.که به مقاومت مغناطیسی موسوم است. چون سلولهای حافظه MRAM بر پایه ترانزیستور عمل نمی کنند پس در ابعاد کوچک مشکلاتی نظیر تونل زنی رخ نخواهد داد و می توان سلولهای حافظه MRAM را تا ابعاد نانو کوچک کرد.

نانوسرامیک ها: سرامیکهای نانو، سرامیکهایی هستند که اندازه دانه یا اجزای سازنده آنها در حد نانومتر است. سرامیکهای نانو ساختار مستحکم تر و انعطاف پذیر تر از سرامیکهای میکرو ساختار هستند.

اصولاً سرامیکهای پیشرفته به دلیل برخورداری از ویژگیهای منحصر به فرد در بسیاری از صنایع در لیست اجزای بسیار مهم و استراتژیک قرار گرفته اند. به عنوان مثال در صنایع شیمیایی، مقاومت خوب این مواد در برابر اسیدها و سایر موادخورنده بسیار مورد توجه است. در صنایع هوا – فضا مقاومت این مواد در برابر حرارت اهمیت ویژه ای دارد. در صنایع الکترونیک و ارتباطات به علت خواص نوری و الکتریکی خوبی که دارند از اجزای مهم محسوب می شوند. سرامیکهای پیشرفته و نانو سرامیکها درسالهای آینده احتمالاً کاربردهای بسیار حساس و دقیق تری در زمینه های مختلف خواهند داشت. ابر رسانا های نانو سرامیکی امروزه در برخی کابل ها و میدانهای الکتریکی بکار رفته اند. مغناطیس های فریتی نانو سرامیکی در ساخت تلفن های همراه کوچک تر و قدرتمندتر کاربرد وسیعی دارند. امروزه در بیوتکنولوژی در مورد کاشت های میکرونی در بدن تحقیق می شود که قرار است به عنوان راکتور در بدن انسان کار کنند. در این زمینه به حسگرهای سرامیکی در مقیاس نانو متری احتیاج خواهد بود. در تکنولوژی ساخت کامپیوتر ها نیز امکان وقوع تحولاتی در راستای استفاده از تراشه های نانو سرامیکی بجای تراشه های سیلیکونی امروزی وجود دارد.

سیستم های نانو الکترومکانیکی: سیستم های الکتریکی فقط با سیگنالهای الکتریکی سروکار دارند. اگر این سیستم ها کار مکانیکی هم انجام دهند سیستم الکترومکانیکی نامیده می شوند. حال اگر ابعاد این سیستم ها به محدوده نانومتر برسد سیستم های نانوالکترومکانیکی خوانده می شوند. این سیستم ها با هزینه کم و سرعتی بالا و اغلب با کمک فناوری ساخت مدارات مجتمع ساخته می شوند. در واقع این سیستم ها را می توان چشم و بازوی تراشه های کامپیوتری دانست. به بیان

دیگر این سیستم ها پدیده های مختلفی همچون گشتاور، سرعت، فشار، دما وغیره را حس کرده و پس از تصمیم گیری، موارد لازم را اعمال نموده و یا مخابره می نمایند.
ابعاد نانومتری این سیستم ها باعث می شود که در همه جا قابل استفاده بوده و به راحتی جایگزین شوند و به همین علت انرژی مصرفی فوق العاده کمی دارند. علاوه برموارد ذکر شده، این سیستم ها دقت بسیار زیادی نسبت به سیستم های الکترومغناطیسی معمولی دارند. از سیستم های نانوالکترومکانیکی در تولید حسگرهای مختلف در صنایعی نظیر خود روسازی یا هوا – فضا استفاده می شود. به عنوان مثال می توان از این حسگرها دراندازه گیری فشار روغن فشار خلا و شتاب استفاده کرد.
نانو پزشکی: افرادبسیاری سال ها پیش فیلم تخیلی «سفر دریایی خیالی» را دیده اند. در این فیلم یک کشتی مینیاتوری به تصویر کشیده شد. که جریان خون انسان را درمی نوردید و با گلبولهای قرمز و اجزای تشکیل دهنده خون برخورد می نمود. شاید کارگردان فیلم خود نیز این تصور را نمی کرد که فیلمش به تحقق بپیوندد. اما این تخیل هم اکنون بوسیله نانو تکنولوژی به حقیقت تبدیل شده است.
در روشهای فعلی درمان بیماری ها دارو را وارد تمام بدن می کنند و این دارو به تمام بافتهای بدن چه سالم و چه مریض حمله کرده و در کنار اثری که بر بافتهای مریض دارد اثرات بسیار مخربی نیز بر بافتهای سالم بدن می گذارد.
در نانو پزشکی از نانوروبوتهایی استفاده می شود که به راحتی آشامیدن یک لیوان نوشیدنی وارد بدن انسان شده و به ترمیم سلولها و بافتها می پردازند. نانوروبوتها به قدری ریز هستند که حتی می توان آنها را مثل یک پودر شکر درون آب حل کرده و نوشید و یا می توان آنها را بوسیله سرنگ به درون رگهای بدن تزریق نمود. این روبوتها می توانند به عنوان یک سرباز همواره در بدن انسان وجود داشته و چگونگی کارکرد اعضای بدن را باکنترل توسط نانو کامپیوتر تنظیم نمایند و یا مثل گلبولهای سفید به مبارزه با میکروبها بپردازند. اخیراً نانو روبوتهایی طراحی و برنامه ریزی شده اند که قادر به جستجو و برطرف کردن رسوبات کلسترول و در نتیجه باز کردن مجدد رگها هستند.
نانو روبوتهای ترمیم کننده سلول ها می توانند در مسیر جریان خون حرکت کنند و همانگونه که ویروسها داخل سلولها می شوند به سلولها وارد شوند. نانو ماشین ها با ارزیابی محتوا و فعالیت سلولها مشکلات موجود را مشخص می کنند و برحسب مشکل تعیین می کنند که آیا سلول باید ترمیم شود و یا اینکه از بین برود. این روش برای درمان سرطان نیز کاربرد دارد.
مشکل کهولت نیز توسط نانو ماشین ها برطرف می شود. ناتوان شدن استخوانها، چروک شدن پوست، کاهش فعالیت آنزیم ها، التیام کند و آهسته زخمها ، ضعیف شدن حافظه و تمامی

مشکلات ناشی از کهولت در اثر آسیب مولکولها، موجب عدم توازن شیمیایی و تغییر ساختارهای مولکولی بدن انسان می شوند. اگر ماشین های ترمیم کننده سلولها بتوانند سلولها و ساختارهای آسیب دیده را ترمیم کنند روند کهولت خیلی آرامتر طی خواهد شد در نتیجه پیشرفت نانوتکنولوژی و نانوپزشکی ممکن است میانگین عمر انسان به صدها تا هزاران سال برسد.

نانونساجی: صنعت دیگری که به واسطه فناوری نانو تکان خواهد خورد صنعت نساجی است. هم اکنون شرکتهای بسیاری در تلاشند تا پارچه های هوشمندی بسازند که ویژگیهای خود را با توجه به شرایط محیطی تغییر داده و حتی مراقب علایم حیاتی بدن باشند.

هم اینک شاهد تولید پارچه های برمبنای فناوری نانو در بازارجهانی هستیم که نسبت به آب، چروک و تنش بسیار مقاومند. به عنوان نمونه پارچه های شرکت صنعتی پارچه بافی سوئیس ضد آب و ضد لک بوده و چربی های روی آنها خود به خود از بین می رود. این پارچه ها از طبیعت الهام گرفته و تولید آنها با نانو تکنولوژی تحقق یافته است. برگهای برخی گیاهان مثل نیلوفرآبی، پوست سوسک و بال حشرات همیشه تمیز باقی می مانند زیرا ناهمواری های بینهایت کوچک روی سطوح آنها مانع از چسبیدن ذرات گردوغبار به این سطوح شده و کوچکترین بارشی سطوح آنها را پاکیزه می کند. با بکارگیری فناوری نانو در پارچه ها،ساختار سه بعدی خاصی بر روی سطوح ایجاد شده و سطح تماس برای ذرات گردوخاک محدود می گردد. ذرات باقی مانده برروی سطح در قطرات آب معلق شده و به آسانی توسط این قطرات خارج می گردند.

در حال حاضر برخی از متخصصان نانو تکنولوژی درحال کاربر روی مواد و پارچه های هوشمندی هستند که علاوه بر توانایی استتارخود بتوانند پارگی های خودشان را نیز ترمیم کنند. اصل این کار برمبنای موادی است که می توانند براساس نوری که به آنها می رسد واکنشهای مختلفی از خود نشان بدهند. هم اکنون این کار فقط از عهده مواد طبیعی بر می آید و سیستم های مصنوعی یا سنتزی از این قابلیت بی بهره اند. به همین دلیل نانو تکنولوژیست ها قصد دارند از بعضی از ارگانیسم های زنده نظیر برخی ماهی ها و دیگر موجودات دریایی مثل هشت پا تقلید کنند.

رویای انسان نامرئی هم با نانوتکنولوژی قابل تحقیق است. با استفاده از نانو تکنولوژی نانو حسگرهایی در سرتاسر یک پارچه کار گذاشته می شود. این نانوحسگرها تصاویر منظره پشت لباس را دریافت کرده و به حسگرهای جلوی لباس منتقل می نمایند. حسگرهای جلوی لباس تصویر منظره پشت خود را به ما نشان می دهند. بنابراین فردی که این لباس را پوشیده است، تقریباً نامرئی به نظر می رسد.