۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مواد

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

(شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد مهندسی)

سنتز و مشخصه‌یابی نانوذرات نیمه‌هادی جهت کاربردهای انرژی

مهران شاهزاده

استاد راهنما:

دکتر سید محمدحسین سیادتی

دکتر احمد روح‌الهی

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی، همواره یاوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و

مطمئن برایم بوده‌اند.

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه

هیئت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت درجلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده با عنوان ***سنتز و مشخصه‌یابی نانوذرات نیمه‌هادی جهت کاربردهای انرژی*** توسط آقای ***مهران شاهزاده*** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته ***مهندسی مواد*** گرایش ***شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد مهندسی*** با رتبه کارشناسی ارشد مورد تائید قرار می‌دهند.

استاد راهنما	**آقای دکتر سید محمدحسین سیادتی**	امضاء
استاد راهنما	**آقای دکتر احمد روح‌الهی**	امضاء
ممتحن داخلی	**آقای دکتر رضا اسلامی فارسانی**	امضاء
ممتحن داخلی	**آقای دکتر حمید خرسند**	امضاء
نماینده تحصیلات تکمیلی	**آقای دکتر حمید خرسند**	امضاء

اظهارنامه دانشجو

موضوع پایان‌نامه: **سنتز و مشخصه‌یابی نانوذرات نیمه‌هادی جهت کاربردهای انرژی**

اساتید راهنما: **دکتر سید محمدحسین سیادتی - دکتر احمد روح‌الهی**

نام دانشجو: **مهران شاهزاده**

شماره دانشجویی: **۸۹۰۳۰۱۴**

اینجانب **مهران شاهزاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **مهندسی مواد** گرایش **شناسایی، انتخاب و روش ساخت مواد مهندسی** دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

نام و نام خانوادگی :

امضا و تاریخ :

بسمه تعالی

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**حق طبع و نشر و مالکیت نتایج**	**شماره:** **تاریخ:**

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

با سپاس از:

اساتید راهنمای گرانقدر جناب آقای دکتر سید محمدحسین سیادتی و دکتر احمد روح‌الهی که در راه کسب دانش راهنمایم بودند و همواره از تجربه‌های ایشان در طول دوران تحصیل برخوردار بوده‌ام.

چکیده

در این پژوهش رشد نانوساختارهای اکسید روی به روش رسوبدهی الکتروشیمیایی از محلول آبی انجام شد. رسوبدهی الکتروشیمیایی روشی کم هزینه است و امکان تولید در مقیاس های بزرگ را فراهم می آورد. با تغییر پارامترهای رسوبدهی مثل: جریان، ولتاژ، غلظت مواد اولیه، زمان رسوبدهی، دما و pH می توان ساختارهای متنوعی تولید نمود. در تحقیق حاضر اثر دو عامل غلظت و زمان رسوبدهی الکتروشیمیایی بر مورفولوژی و خواص نوری لایه های تشکیل شده مورد بررسی قرار گرفت. لایه های اکسید روی سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز EDAX مورد ارزیابی قرار گرفت. از طیف سنجی UV-visible برای بررسی خواص نوری نانواکسید روی سنتز شده استفاده شد. با بررسی های انجام شده بهترین ساختار در غلظت ۰/۰۷۵ M و با انجام رسوبدهی به مدت ۱۸۰۰ ثانیه حاصل شد. این ساختار کاملا شفاف بوده و گزینه بسیار مناسبی رای کاربردهای تبدیل انرژی می باشد.

کلمات کلیدی: اکسید روی، رسوبدهی الکتروشیمیایی ، نانوساختار، انرژی

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل ۱ : مروری بر منابع مطالعاتی ۳

۱-۱. نانوساختارها ۴

۱-۱-۱. مقدمه ۴

۱-۱-۲. مواد نانومقیاس ۶

۱-۱-۳. مواد نانومقیاس به عنوان واسطه بین ماده اتمی و توده ۷

۱-۲. نانو ساختار تک بعدی اکسید روی ۸

۱-۲-۱. مقدمه ۸

۱-۲-۲. ساختار کریستالی و سطحی ZnO ۱۰

۱-۲-۳. ساختارهای رشد ZnO ۱۱

۱-۲-۴. سنتز نانوساختارهای ZnO ۱۲

۱-۲-۴-۱. سنتز از طریق انتقال بخار ۱۲

۱-۲-۴-۲. رشد الگودار و جهت گیری عمودی ردیف های نانوسایز **ZnO** ۱۷

۱-۲-۴-۳. رشد نانوساختارهای اکسید روی در محلول آبی ۲۱

۱-۲-۴-۴. رسوبدهی الکتروشیمیایی ۲۲

۱-۲-۴-۵. سایر روش های سنتز ۲۳

۱-۲-۵. خواص نانوساختارهای ZnO ۲۴

۱-۲-۵-۱. خواص فیزیکی ۲۵

۱-۲-۵-۲. خواص مکانیکی ۲۶

۱-۲-۵-۳. اثر پیزوالکتریک و سطوح پلار ۲۷

۱-۲-۵-۴. خواص نوری ۲۸

۱-۲-۵-۵. دوپ کردن مغناطیسی ۳۰

۱-۲-۶. کاربردها ۳۰
۱-۲-۶-۱. حسگرها ۳۰
۱-۲-۶-۲. ابزارهای الکترونیکی..... ۳۳
۱-۲-۶-۳. لیزر ۳۳
۱-۲-۶-۴. کانتی لیورها ۳۴
۱-۲-۶-۵. سلول های خورشیدی ۳۴
فصل ۲ : فعالیت‌های تجربی ۳۷
۲-۱. مواد اولیه ۳۸
۲-۲. روش انجام آزمایش ۳۸
۲-۲-۱. آماده سازی الکترود کار ۳۸
۲-۲-۲. محلول سازی ۳۹
۲-۲-۳. رسوبدهی الکتروشیمیایی ۴۰
۲-۳. آنالیزهای انجام شده ۴۰
۲-۳-۱. میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۰
۲-۳-۲. طیف سنجی جذبی Uv-Vis..... ۴۰
فصل ۳ : نتایج و بحث ۴۱
۳-۱. رسوبدهی الکتروشیمیایی اکسید روی ۴۲
۳-۲. سنتز نانوساختار اکسید روی..... ۴۴
۳-۲-۱. اثر تغییر غلظت..... ۴۴
۳-۲-۱-۱. آنالیز SEM ۴۴
۳-۲-۱-۲. طیف سنجی UV-vis ۵۰
۳-۲-۱-۳. آنالیز EDS..... ۵۱
۳-۲-۱-۴. کرونوآمپرومتری ۵۲
۳-۲-۲. اثر تغییر زمان ۵۲

۳-۲-۲-۱. آنالیز SEM ۵۳
فصل ۴ : نتیجه گیری و پیشنهادها ۵۷
۴-۱. نتیجه گیری ۵۸
۴-۲. پیشنهادها ۵۹
مراجع ۶۰

فهرست شکل‌ها

عنوان.....صفحه

شکل ۱-۱ الف) ساختار کریستالی ZnO (وورتزیت) . ب) طرح در جهت [۰۰۰۱] (جهت به سمت بیرون صفحه اشاره می کند که با علامت X در مرکز مشخص شده است).....۱۱

شکل ۱-۲. مورفولوژی های نمونه نانوساختارهای تک بعدی ZnO و وجوه مربوطه.....۱۲

شکل ۱-۳ الف) تصویر SEM نانولوله های ZnO که از اکسیداسیون تر رشد کرده اند [۱۸]. ب تصویر SEM نانوتتراپاد ZnO که از حرارت دهی سریع قرص روی در ^{o}C ۹۰۰ ~ بدست آمده اند ۱۴

شکل ۱-۴. الف) شماتیک فرایند VLS . ب) تصویر SEM شبکه توری نانوسیم های ZnO که از طریق فرایند VLS رشد کرده اند. تصویر جانبی: یک نانوسیم ZnO با قطر nm ۳۵ که انتهای آن توسط یک نانوذره طلا بسته شده است ج) تصویر TEM از نانوسیم ZnO رشد در جهت [۰۰۰۱] را نشان می دهد ۱۵

شکل ۱-۵ تصاویر SEM از شانه های ZnO که از تبخیر پودر ZnO در ^{o}C ۱۴۰۰ به مدت ۲ ساعت تشکیل شده اند.....۱۶

شکل ۱-۶.الف) تصویر SEM ردیف هگزاگونال ZnO تولید شده توسط کاتالیست طلا که از طریق لیتوگرافی طراحی شده اند [۲۸]. ب) تصویر SEM ردیف های مربع نانوسیم ZnO که با استفاده از نوری TEM بدست آمده اند [۲۶]. ج) تصویر SEM ردیف های نانومیله هگزاگونال ZnO با قطر nm ۶۰ و فاصله حدود nm ۱۱۰ .....۱۸

شکل ۱-۷. تصویر SEM ردیف های نانوسیم ZnO که بصورت عمودی روی بستر یاقوت آرایش یافته اند .۱۹

شکل ۱-۸. تصویر SEM ردیف های عمودی نانوسیم ZnO روی الف) صفحه a یاقوت ب) صفحه (۰۰۰۱) GaN ۲۰

شکل ۱-۹. الف) اثر پیزوالکتریک در یک واحد آنیون- کانیون که بصورت تتراهدرال هماهنگ شده اند. ب) ضریب پیزوالکتریک اندازه گیری شده d_{33} برای نانونوار ZnO و مقایسه آن با نمونه بالک [۵۱]. ج) شماتیک استفاده از AFM برای اندازه گیری ضریب پیزوالکتریک نانونوارZnO ۲۷

شکل ۳-۱.الف تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه تهیه شده در غلظت M ۰/۰۲۵ .....۴۵

شکل ۳-۱.ب تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه تهیه شده در غلظت M ۰/۰۲۵.....۴۶

شکل ۳-۲.الف تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه تهیه شده در غلظت M ۰/۰۵۰ .....۴۷

شکل ۳-۲.ب تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه تهیه شده در غلظت ۰/۰۵۰ M ۴۸
شکل ۳-۳.الف تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه تهیه شده در غلظت ۰/۰۷۵ M ۴۹
شکل ۳-۳.ب تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه تهیه شده در غلظت ۰/۰۷۵ M ۵۰
شکل ۳-۴. آنالیز طیف سنجی UV-vis ۵۱
شکل ۳-۵. آنالیز EDS نمونه تهیه شده در غلظت ۰/۰۷۵ M ۵۱
شکل ۳-۶. نمودار کرونوآمپرومتری (I-t) نمونه تهیه شده در غلظت ۰/۰۷۵ M ۵۲
شکل ۳-۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه رسوبدهی شده به مدت ۱۰۰۰ ثانیه و ۱۸۰۰ ثانیه با غلظت ۰/۰۲۵ M ۵۴
شکل ۳-۸. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه رسوبدهی شده به مدت ۱۰۰۰ و ۱۸۰۰ ثانیه با غلظت ۰/۰۷۵ ..... ۵۶

فهرست جدول ها

عنوان.....صفحه

جدول ۱-۱ مثال هایی از نانو مواد ۷

جدول ۱-۲- پارامترهای شبکه چند بستر اپیتکسی مختلف ۲۰

جدول ۱-۳. خلاصه نتایج و روش های مختلف برای رشد محلول آبی.....۲۲

جدول ۱-۴. خواص فیزیکی ZnO ورتزیت ۲۵

مقدمه

نانو فناوری دانش و فن ساخت مواد، ساختارها و ابزارها در مقیاس نانومتر است. در زبان یونانی نانوتکنولوژی از دو جزء نانو به معنای مادون ریز و تکنولوژی به معنای رویکرد سیستماتیک نسبت به یک هنر یا صنعت تشکیل شده است. نانو به عنوان پیشوند برای هر واحدی مانند ثانیه، متر و لیتر به کار می رود و به معنای یک میلیاردم آن واحد است [۱و۲].

به دلیل رشد و گسترش سریع در میان مؤسسات دانشگاهی، آزمایشگاه های دولتی و صنایع، این حیطه تحقیقاتی به یکی از محبوبترین زمینه های علمی و تجاری تبدیل شده و نظرهای زیادی را به خود جلب نموده است. پیش بینی می شود بزودی نانوفناوری به یک صنعت چندصدمیلیارد دلاری تبدیل شود به طوریکه تکنولوژی برتر قرن ۲۱ خواهد شد [۳].

فن آوری نانو دارای پتانسیلی قوی برای ایجاد یک انقلاب گسترده و به عبارتی انقلاب جدید صنعتی می باشد. در مقیاس نانو همه ابعاد زندگی تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. هدف اصلی نانوفناوری نیز کنترل این ذرات برای رسیدن به یک ساختار جدید با خصوصیات منحصر به فرد می باشد که تحول عظیمی را در صنعت، پزشکی ، کامپیوتر و کشاورزی به دنبال خواهد داشت. هدف این فن آوری ساخت اشیاء، اتم به اتم، مولکول به مولکول و با یک رویکرد ازپایین به بالاست، راهی که طبیعت میلیونها سال است انجام می دهد . هدف این است که اگر بشر بتواند به اتم ها بگوید که چطور خودشان رامرتب کنند وچگونه رفتار کنند، بسیاری از خواص یک ماده قابل کنترل می گردد، همانطور که در طبیعت اتم های کربن موجود در زغال سنگ با تغییر ترتیب قرار گرفتن آنها به الماس تبدیل می شوند. بنابر این خواصی مانند رنگ، استحکام و شکنندگی نیز در سطح اتمی قابل تعیین خواهند بود. دانشمندان بر این عقیده اند که اگر بتوانند یک آجر را اتم به اتم بسازند، مولکولهایش را نیز می توان طوری تعلیم داد تا هنگامی که یک ترک ظاهر می شود آن را تعمیر کند؛ یا اینکه با کم یا زیاد کردن تخلخل ، خود را با شرایط مطلوب هوا وفق دهند [۴].

در حال حاضر مهمترین و بیشترین مواد نانوپودری که مورد استفاده قرار می گیرند، اکسیدهای فلزات ساده همچون سیلیکا (SiO_2) ، تیتانیا (TiO_2)، آلومینا (Al_2O_3) ، اکسید آهن (Fe_2O_3) ، اکسید روی

(ZnO)، زیرکونیا (ZrO_2) و سریا (CeO_2) هستند. همچنین، اهمیت مخلوط اکسیدها مثل اکسید قلع ایندیم (ITO) و اکسید قلع – آنتیموان (Sb_2O_3-SmO_2 یا ATO) در حال افزایش است [۴].

اکسید آهن و سیلیکا جزء آن دسته از اکسیدهایی هستند که استفاده از آنها سابقه بیشتری دارد؛ در حالی که اکسیدهای نانوکریستالی تیتانیا، اکسید روی، سریا و ITO اخیراً وارد بازار شده اند. استفاده از انواع دیگر نانوذرات، شامل ترکیبات اکسیدی، فلزات، نیمه هادی ها و ترکیبات غیر اکسیدی نیز در بسیاری از شرکت ها در حال گسترش است [۴].

اخیراً نانوساختارهای اکسید روی بدلیل عملکرد بسیار خوب در زمینه الکترونیک، اپتیک و فوتونیک بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. از دهه ۱۹۶۰ میلادی سنتز لایه های نازک ZnO بعلت کاربرد بعنوان حسگر، مبدل و کاتالیست تبدیل به یک زمینه کاری مهم شد. در دهه های اخیر مطالعه مواد تک بعدی (ID) تبدیل به یک حوزه پیشرو در نانوتکنولوژی شد. با کاهش اندازه خواص نوری، شیمیایی، مکانیکی و الکتریکی جدیدی بوجود می آیند که علت آن ها اثرات سطحی و محدودیت کوانتمی است [۵]. اکسید روی یک ماده کلیدی در صنعت است. فقدان مرکز تقارن در ساختار ورتزیت این ماده به همراه کوپلینگ الکترومکانیکی بزرگ منجر به خواص پیزوالکتریک و پیروالکتریک بی نظیری می شوند [۵].

فصل ۱

مروری بر منابع مطالعاتی

۱-۱. نانوساختارها

۱-۱-۱. مقدمه

در دهه گذشته زمینه های جدید در تحقیقات مدرن پدیدار شده است که از مهمترین آنها می توان به « تکنولوژی و علم در مقیاس نانو» اشاره نمود. روش های جدید ارائه شده در تکنولوژی نانو شامل قابلیت ساخت، شناسایی و دستکاری ساختارهای مصنوعی با کنترل خواص در سطح نانومتری می باشد. زمینه های تحقیقات فناوری نانو علوم مهندسی ، فیزیک، شیمی ، علم مواد و بیولوژی مولکولی را در برگرفته است. این تحقیقات سبب ایجاد انقلابی در ساخت دستگاه ها و روش های بررسی خواص مواد با دقت نزدیک به مقیاس اتمی شده است [۷].

تکنولوژی و علم مواد یکی از زمینه هایی است که با انگیزه ساخت مواد با خواص جدید و بهبود یافته به سرعت پیش می رود و اخیراً بزرگترین سهم را در تحقیقات نانو دارد. از جمله این خواص می توان به استحکام، هدایت حرارتی و الکتریکی، پاسخ دهی نوری یا مقاومت به سایش اشاره نمود.

همچنین این تحقیقات طراحی موادی برای عملکردهای پیچیده تر و کاربردهای موثر همانند: موادی که نرخ تجزیه آلاینده ها را تسریع می کنند، پاسخ انتخابی و حساس به بیومولکول مشخص، تبدیل موثر نور به جریان یا ذخیره بهتر انرژی را نیز شامل می گردد. برای رسیدن به چنین کاربردهای پیچیده ا

ی، مواد جدید باید به صورت چند سازه طراحی شوند و نظم فضایی آنها در سطح مولکولی مهندسی شود. این گروه از مواد را می توان به نانو کامپوزیت ها معرفی کرد که از چیدمان مواد یا مولکول های در مقیاس نانو بدست می آیند. رفتار ماکروسکوپیک نانو کامپوزیت ها از ترکیب خواص تک تک سازه ها و برهمکنش متقابل آنها نشات می گیرد [۷].

در الکترونیک، طراحی و چیدمان مواد وابزارهای کاربردی براساس اجزاء نانو ساختار بصورت مینیاتوریزه کردن انجام می شود. بطور مثال، صنعت میکروالکترونیک، مدارهای کامل و رسانه های مخصوص ذخیره ای را ساخته است که واحدهای پایه آن به حد ده ها نانومتر می رسند. برای کامپیوترها «کوچکتر» بودن به معنای قدرت محاسبات بیشتر در قیمت کمتر و قابلیت حمل بهتر است و بدلیل بازدهی بیشتر، الکترونیک های سیلیکونی موجود بعلت محدودیت ظرفیت از دور خارج خواهند شد [۷].

طراحی نسل کوچکتر و سریعتر ابزار شامل مراحل پیچیده تر و گران تر است و نیازمند حل کردن مشکلات جدیدتری مانند اتلاف حرارتی و شکست ابزار است. در صورتیکه تمایل به مینیاتوریزه کردن ابزارها و مواد ادامه یابد، تکنولوژی سیلیکون به زودی به محدودیت هایی می رسد که قابل حل نیستند.

علاوه بر این دانشمندان دریافته اند که مشخصات ابزار در اجزاء بسیار کوچک به شدت تحت اثرات مکانیکی کوانتم قرار گرفته است. در بسیاری از موارد این اثرات، اصول کلاسیکی را که اجزاء الکترونی امروزه بر مبنای آن است زیر سوال می برند. به همین دلیل ، اخیراً مواد و روش هایی برای اجزاء الکترونیکی جدید که قانون مکانیک کوانتم عملکرد آنها را در یک مسیر قابل پیش بینی کنترل می کند، کشف شده اند. شاید در آینده نزدیک، نسل جدیدی از کامپیوترها بر مبنای فرایند عملکرد واحدهایی قرار بگیرد که تنها از چند اتم ساخته شده اند. خوشبختانه، ظهور روش های جدید برای تولید کنترل شده مواد نانو مقیاس، ابزارهای جدیدی را بوجود آورده که می تواند به منظور این اهداف اصلاح شوند. اصلاحات جدیدی چون نانولوله ها، نانوسیم ها و نقاط کوانتمی امروزه اصطلاحات حرفه ای رایج در انتشارات علمی هستند. این مواد جزء کوچکترین واحدهای ساخته شده به دست بشر هستند و خواص فیزیکی و شیمیایی آنها موجب می شود که کاندید مناسبی برای اجزای ساختاری ترانزیستورهای جدید باشند. از مزایای نانوترانزیستورها می توان به

تنوع بیشتر ابزار، سرعت سوئیچینگ بیشتر، اتلاف توان کمتر و قابلیت فشردگی ترانزیستورهای بیشتری روی یک تراشه اشاره کرد. امروزه نمونه نخستین این نانو ترانزیستورها ساخته شده و در آزمایشگاه تحت بررسی است [۷].

صنایع دارویی و درمانی تلاش می کنند تا ابزارهای مصنوعی ای بسازند که سازوکار کاملاً پیچیده طبیعت را تقلید کند یا برای شناسایی موثرتر و درمان بهتر بیماری ها بکار روند. نانو کپسول هایی چون لیپوزوم ها، داروهایی که بتوانند بطور انتخابی در سلول های زنده رها شده یا بیومولکول ها و نانوذرات مغناطیس (یا فلورسنت) که تجزیه سریع تر و با قدرت انتخابی بیشتری در بافت ها بوجود آورند، از نمونه مثال هایی هستند که می توان از آنها یاد نمود. این سیستم ها نخستین ممکن است روزی شامل نانوماشین هایی با مشخصات کاربردی پیچیده تر شوند که قادر به انجام کارهای حساس تری در سطح سلولی بدن زنده باشند [۷].

۱-۱-۲. مواد نانومقیاس

ساختارهای نانو را می توان به صورت ذرات ، دانه ها، مواد وابزاری در نظر گرفت که اندازه آنها در محدوده ۱۰۰-۱ نانومتر قرار دارد. با قبول این تعریف، محدوده نانو ساختارها شامل نقاط کوانتومی ، سیم های کوانتومی، دانه ها، ذرات، نانولوله ها، نانومیله ها، نانوالیاف ها، نانو فوم ها، نانوکریستال ها، ابزارهای خود چیدمان نانومتری، لایه های نازک، فلزات ، ترکیبات بین فلزی ، نیمه هادی ها، کانی ها، فروالکتریک ها، دی الکتریک ها، کامپوزیت ها، آلیاژها، مواد آلی، ارگانومینرال ها[۱]، بیومواد‌ها، بیومولکول ها، اولیگومرها[۲]، پلیمرها، ساختارهای عامل دار[۳] و ابزارها خواهد بود [۷]. در جدول ۲-۱ نمونه هایی از نانومواد با ابعاد مختلف ارائه شده اند.

با کاهش اندازه اجزای تشکیل دهنده مواد تا مقیاس نانو، خواص بنیادی فیزیکی و بیولوژیکی انها به میزان قابل توجهی تغییر می کند. موادی که اجزای آنها در مقیاس نانو ساخته شده اند، خواص الکتریکی،

[1] Organominerals
[2] Oligomers
[3] Functional Structures