بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه شیمی

عنوان:

بکارگیری نانوذرات سیلیکون نیترید در طراحی و ساخت زیست‌حسگر گلوکز و پراکسیدهیدروژن

پژوهشگر:

رویا زندکریمی

استاد راهنما:

دکترعبدالله سلیمی

استاد مشاور:

دکتر غلامرضا خیاطیان

پایان نامه کارشناسي ارشد رشته شیمی گرایش تجزیه

اسفند ماه ۱۳۸۸

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب رویا زندکریمی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته شیمی گرایش تجزیه دانشگاه کردستان، دانشکده علوم پایه گروه شیمی تعهد می نماییم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

رویا زندکریمی

۱۳۸۸/۱۲/۲۳

با تشکر از استاد بزرگوارم

جناب آقای پروفسور عبدالله سلیمی

به جهت زحمات و الطاف بی‌دریغشان

به رسم مهر و عشق

تقدیم به

همسر عزیزم

چکیده :

در این الکترود کربن شیشه‌ای با نانوذرات سیلیکون‌نیترید جهت بررسی فرایند انتقال الکترون مستقیم گلوکزاکسیداز و هموگلوبین بکار رفته است. ابتدا الکترود کربن شیشه‌ای با قرار دادن محلول حاوی نانوذرات پخش شده Si_3N_4 بر روی آن و تبخیر حلال با این نانوذرات اصلاح می‌شود، با قرار دادن الکترود اصلاح شده با نانوذرات Si_3N_4 در محلول حاوی گلوکزاکسید و هموگلوبین ملکول‌های زیستی فوق روی سطح الکترود تثبیت می‌شوند. ثابت سرعت انتقال الکترون (K_s) با در نظر گرفتن ضریب انتقال بار کاتدی (α) برای آنزیم گلوکزاکسیداز (۰/۴۹۳) و هموگلوبین (۰/۴۳) در این کار به‌ترتیب در حدود s^{-1} ۴۷/۳۷ و s^{-1} ۸/۱۳ محاسبه شده است. این مقادیر محاسبه شده برای ثابت سرعت انتقال الکترون آنزیم گلوکزاکسیداز و هموگلوبین، بسیار بالاتر از مقدار محاسبه شده برای این آنزیم‌ها در سایر الکترودهای اصلاح شده است، که این تاییدی بر توانایی و خواص منحصر به فرد این نوع نانوذره برای تثبیت آنزیم‌ها و انجام فرایندهای مستقیم انتقال بار است. غلظت گلوکز با استفاده از زیست‌حسگرتهیه شده از تثبیت آنزیم گلوکزاکسیداز بر روی نانوذراتSi_3N_4 در حضور فروسن متانول به عنوان حدواسط انتقال الکترون اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به جریان الکتروکاتالیزوری گلوکز می‌توان غلظت گلوکز را با این زیست‌حسگر با دقت و صحت کافی اندازه‌گیری نمود. در روش دیگر در محلول اشباع از اکسیژن و از روی کاهش جریان الکتروکاتالیزوری احیای اکسیژن و در حضور مقادیر متفاوت از گلوکز نیز می‌توان غلظت این ترکیب را سنجید. حد تشخیص، محدوده کالیبراسیون خطی و حساسیت زیست‌حسگر تهیه شده برای تعیین گلوکز در حضور حدواسط انتقال بار(فروسن متانول) با بکارگیری روش آمپرومتری هیدرودینامیک به ترتیب برابر ۶/۵ میکرومولار، ۲۵ میکرومولار تا ۵ میلی مولارگلوکز و ۲/۴ nA/μM بدست آمده است. ضمنا مقدار K_M برای زیست‌حسگر فوق ۷/۶۱ میلی‌مولارمحاسبه شده است. مقادیر فوق کارایی بسیار بالای این زیست‌حسگر را در آنالیز گلوکز نشان می‌دهد.

همچنین زیست‌حسگر تهیه شده از تثبیت Hb بر روی نانوذرات Si_3N_4 برای آنالیز مقادیر بسیار کم H_2O_2 به طور موفقیت آمیزی به کار می‌رود. حد تشخیص، محدوده کالیبراسیون خطی و حساسیت زیست‌حسگر تهیه شده برای تعیین پراکسیدهیدروژن به ترتیب ۱۱/۵ میلی‌مولار، ۲۵ تا ۷ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن و ۱/۹ nA/μm بدست آمده است. ضمنا مقدار K_M برای زیست‌حسگر فوق ۹/۴۱ میلی‌مولارمحاسبه شده است. مقادیر گزارش شده برای این زیست حسگر قابل مقایسه با سایر زیست‌حسگرهای تهیه شده برای آنالیز H_2O_2 است.

کلمات کلیدی : زیست‌حسگر، نانوذرات سیلیکون نیترید، آنزیم گلوکزاکسیداز، پروتئین هموگلوبین

عنوان **صفحه**

فصل اول : نانوذرات و کاربرد آن‌ها در زیست‌حسگرها ۱۳

۱-۱- مقدمه ۱۳

۱-۲- طبقه‌بندی نانوذرات ۱۳

۱-۲-۱- فولرن‌ها ۱۴

۱-۲-۲- نانولوله‌های کربنی ۱۵

۱-۲-۳- نانوسیم‌ها ۱۶

۱-۲-۴- نانوحباب‌های کربنی ۱۷

۱-۲-۵- نقاط کوانتومی ۱۶

۱-۲-۶- دندریمرها ۱۹

۱-۳- کاربردهای نانوذرات ۱۸

۱-۳-۱- کاربرد نانوذرات در ساخت زیست‌حسگرها ۲۱

۱-۳-۲- تثبیت ملکول‌های زیستی ۲۱

۱-۳-۳-کاتالیست واکنش‌های الکتروشیمیایی ۲۲

۱-۳-۴- تسریع فرایند انتقال الکترون ۲۲

۱-۳-۵- نشان‌دار کردن ملکول‌های زیستی ۲۳

۱-۳-۶- نانوذرات به‌عنوان واکنش‌دهنده ۲۳

۱-۴- نانوذرات با پایه سیلیس ۲۴

۱-۴-۱- سیلیکون نیترید(Si_3N_4) و انواع ساختارهای کریستالی آن ۲۵

۱-۴-۲- خواص کلیدی سیلیکون نیترید ۲۸

۱-۴-۳- نانوذرات سیلیکون نیترید ۲۸

فصل دوم : انواع زیست‌حسگر و کاربرد آن‌ها در تشخیص و اندازه‌گیری پراکسیدهیدروژن و گلوکز ۳۰

۲-۱- مقدمه ۳۰

۲-۲- آنالیت ۳۱

۲-۳- عناصر بیولوژیکی ۳۱

۲-۳-۱- آنزیم‌ها ۳۲

۲-۳-۲- آنتی‌بادی‌ها ۳۳

۲-۳-۳- نوکلئیک‌اسید و نوکلئیک‌اسید پپتیدی ۳۴

۲-۳-۴- گیرنده‌ها ۳۵

۲-۳-۵- آپتامر ۳۶
۲-۳-۶- لکتین ۳۷
۲-۴-۱- جذب‌سطحی ۳۸
۲-۴-۲- ریز پوشینه‌سازی ۳۸
۲-۴-۳- محبوس‌سازی ۳۸
۲-۴-۴- اتصالات متقاطع عرضی ۳۹
۲-۴-۴-۱- اتصالات متقاطع شیمیایی پلی(وینیل الکل) ۴۰
۲-۴-۴-۲- گرمایش وسرمایش PVA ۴۱
۲-۴-۵- پیوند شدن کووالانسی ۴۲
۲-۴-۶- سل- ژل ۴۳
۲-۴-۷-پلیمر ردوکسی ۴۴
۲-۴-۸- سیستم‌های چند لایه ۴۶
۲-۵- مبدل ۴۷
۲-۶- دسته‌بندی زیست‌حسگرها ۴۷
۲-۶-۱- زیست‌حسگرهای الکتروشیمیایی ۴۸
۲-۶-۱-۱- حسگرهای پتانسیومتری ۴۸
۲-۶-۱-۲- حسگرهای آمپرومتری ۵۰
۲-۶-۱-۳- حسگرهای هدایت سنجی ۵۰
۲-۶-۲- زیست‌حسگرهای نوری ۵۱
۲-۶-۳- زیست‌حسگرهای تشخیص حرارت ۵۳
۲-۶-۴- زیست‌حسگر پیزوالکتریک ۵۳
۲-۶-۵- ایمن‌حسگر ۵۴
۲-۶-۶- ژنوم‌حسگرها ۵۵
۲-۶-۷- پروتئین/ آنزیم‌حسگرها ۵۶
۲-۶-۷-۱- کاربرد نانوذرات طلا/ نافیون/گلوکزاکسیداز در تشخیص و اندازه‌گیری گلوکز ۵۸
۲-۶-۷-۲- کاربرد نانوذرات $NdPO_4$/چیتوسان/آنزیم گلوکزاکسیداز در تشخیص و اندازه‌گیری گلوکز ۶۰
۲-۶-۷-۳- کاربرد نانوذرات SiO_2/Pt/آنزیم گلوکزاکسیداز در تشخیص و اندازه‌گیری گلوکز ۶۱
۲-۶-۷-۴- کاربرد نانوذرات نقره و آنزیم گلوکزاکسیداز در تشخیص و اندازه‌گیری گلوکز ۶۲
۲-۶-۷-۵- کاربرد نانوذرات پلاتین/ ماتریس چیتوسان و(Poly(chloromethyl thiirane و هموگلوبین در تشخیص و اندازه‌گیری پراکسیدهیدروژن ۶۴

۲-۶-۷-۶- تثبیت هموگلوبین بر روی نانولوله‌های کربن به منظور ساخت زیست‌حسگر پراکسیدهیدروژن ۶۶
۲-۶-۶-۷- تثبیت هموگلوبین بر روی فیلم طلا به منظور ساخت زیست‌حسگر پراکسیدهیدروژن ۶۷
۲-۶-۷-۸- کاربرد نانوذرات اکسیدکبالت و هموگلوبین در تشخیص و اندازه‌گیری پراکسیدهیدروژن ۶۹
فصل سوم : مواد و روش‌های اندازه‌گیری ۷۲
۳-۱- مواد و واکنشگرها ۷۲
۳-۲- دستگاه‌ها ۷۳
۳-۳- روش اندازه‌گیری ۷۳
۳-۳-۱- اصلاح الکترود کربن‌شیشه‌ای با نانوذرات سیلیکون‌نیترید و آنزیم گلوکزاکسیداز ۷۳
۳-۳-۲- اندازه‌گیری مساحت سطح الکترود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات سیلیکون‌نیترید ۷۴
فصل چهارم : اندازه‌گیری گلوکز توسط زیست‌حسگر تهیه شده از تثبیت آنزیم گلوکزاکسیداز برروی نانوذره سیلیکون‌نیترید ۷۶
۴-۱- مقدمه ۷۶
۴-۲- بررسی الکتروشیمی مستقیم آنزیم گلوکزاکسیداز تثبیت شده در سطح الکترود کربن‌شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات سیلیکون نیترید ۷۸
۴-۳- اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) برای نشان دادن فرایند ساخت الکترود اصلاح شده $GC/Si_3N_4/GOx$ ۸۰
۴-۴- بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترود $GC/Si_3N_4/GOx$ در سرعت‌های مختلف روبش پتانسیل ۸۱
۴-۵- محاسبه ضریب‌انتقال‌بار (α) و ثابت سرعت انتقال الکترون (K_s) برای فیلم گلوکزاکسیداز تثبیت شده در سطح الکترود GC/Si_3N_4 ..... ۸۲
۴-۶- اثر pH روی پتانسیل پیک الکترود اصلاح شده $GC/Si_3N_3/GOx$ ۸۵
۴-۷- بررسی پایداری فیلم گلوکزاکسیداز موجود در سطح الکترود کربن‌شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات سیلیکون‌نیترید ۸۶
۴-۸- بررسی رفتار الکتروشیمیایی آنزیم گلوکزاکسیداز تثبیت شده بر روی الکترود اصلاح شده GC/Si_3N_4 برای اکسایش الکتروکاتالیزوری گلوکز ۸۸
۴-۹- محاسبه غلظت سطحی (Γ) گلوکزاکسیداز موجود در سطح الکترود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات Si_3N_4 ..... ۸۹
۴-۱۰- بررسی فعالیت الکتروشیمیایی آنزیم گلوکزاکسیداز تثبیت شده بر روی فیلم نانوذرات سیلیکون‌نیترید در حضور اکسیژن ۹۰

۴-۱۱- فعالیت الکتروکاتالیزوری الکترود $GC/Si_3N_4/GOx$ برای اکسایش گلوکز در غیاب حدواسط انتقال الکترون ۹۲
۴-۱۲- استفاده از روش آمپرومتری برای اندازه‌گیری گلوکز با الکترود اصلاح شده $GC/Si_3N_4/GOx$ ۹۴
۴-۱۳- محاسبه ثابت Michaelis-Menten برای واکنش بین آنزیم گلوکزاکسیداز تثبیت شده بر روی الکترود GC/Si_3N_4 و گلوکز ۹۶
۴-۱۴- نتیجه گیری ۹۷
فصل پنجم : اندازه‌گیری پراکسیدهیدروژن توسط زیست‌حسگر تهیه شده از تثبیت هموگلوبین بر روی نانوذره سیلیکون‌نیترید ۹۹
۵-۱- مقدمه ۹۹
۵-۲- بررسی طیف‌های جذبی هموگلوبین تثبیت‌شده در فیلم نانوذرات سیلیکون‌نیترید ۱۰۱
۵-۳- بررسی الکتروشیمی مستقیم هموگلوبین تثبیت‌شده در سطح الکترود کربن‌شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات سیلیکون‌نیترید ۱۰۲
۵-۴- استفاده از اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) برای مطالعه فرایند تثبیت هموگلوبین برروی نانوذرات سیلیکون نیترید ۱۰۴
۵-۵-بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترود $GC/Si_3N_4/Hb$ در سرعت‌های روبش مختلف ۱۰۵
۵-۶- محاسبه ضریب انتقال بار (α) و ثابت سرعت انتقال الکترون (K_s) برای فیلم هموگلوبین تثبیت شده در سطح الکترود GC/Si_3N_4 ..... ۱۰۶
۵-۷- محاسبه غلظت سطحی (Γ) هموگلوبین موجود در سطح الکترود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات Si_3N_4 ..... ۱۰۸
۵-۸- اثر pH روی خواص الکتروشیمیایی الکترود اصلاح شده GC/Si_3N_4/ Hb ۱۰۸
۵-۹- بررسی پایداری فیلم هموگلوبین موجود در سطح الکترود کربن شیشه‌ای اصلاح شده با نانوذرات سیلیکون نیترید ۱۱۰
۵-۱۰- فعالیت الکتروکاتالیستی الکترود اصلاح شده $GC/Si_3N_4/Hb$ برای احیای الکتروکاتالیستی پراکسیدهیدروژن ۱۱۱
۵-۱۱- بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترود $GC/Si_3N_4/Hb$ در غلظت‌های متفاوت از پراکسیدهیدروژن ۱۱۲
۵-۱۲- پاسخ آمپرومتری الکترود $GC/Si_3N_4/Hb$ به غلظت پراکسیدهیدروژن ۱۱۳
۵-۱۳- تعیین حد تشخیص و حساسیت پراکسیدهیدروژن توسط الکترود $GC/Si_3N_4/Hb$ ۱۱۴
۵-۱۴- محاسبه ثابت Michaelis–Menten برای واکنش بین هموگلوبین تثبیت شده بر روی الکترود GC/Si_3N_4 و پراکسیدهیدروژن ۱۱۵
۵-۱۵- نتیجه‌گیری ۱۱۶

مراجع : ١١٨

فصل اول :
نانوذرات و کاربرد آن‌ها در زیست‌حسگرها

۱-۱- مقدمه

در فناوری نانو، نانوذرات[1] به عنوان جسم‌های کوچک، که به‌عنوان یک کل واحد در عملکرد و خواص هستند، تعریف می‌شود. همچنین در طبقه‌بندی ذرات با توجه به اندازه، ذرات‌ریز به ذراتی گفته می‌شود که اندازه آن‌ها بین ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است، در حالی که اندازه ذرات فوق‌ریز، بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. نانوذرات همانند ذرات فوق‌ریز اندازه‌ای بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند. نانوذرات ممکن است خواص متناسب با ابعادشان را از خود نشان دهند که به میزان قابل توجهی از ذرات ریز یا مواد توده‌ای متفاوت هستند[۱].

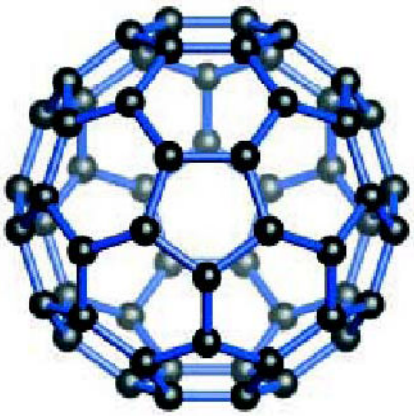
۱-۲- طبقه‌بندی نانوذرات

نانوذرات خواصی را نشان می‌دهند که کاملا از ویژگی‌های مواد توده‌ای که از آن مشتق شده‌اند متفاوت است. به طور کلی، برهمکنش نانوذرات و تغییرات الکتریکی، مکانیکی، مغناطیسی، نوری و یا خواص شیمیایی آن‌ها متفاوت از مواد با اندازه‌های بزرگتر می‌باشد. به طور خلاصه، نانوساختارها را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود[۲].

1.nanoparticle

۱-۲-۱- فولرن‌ها[1]

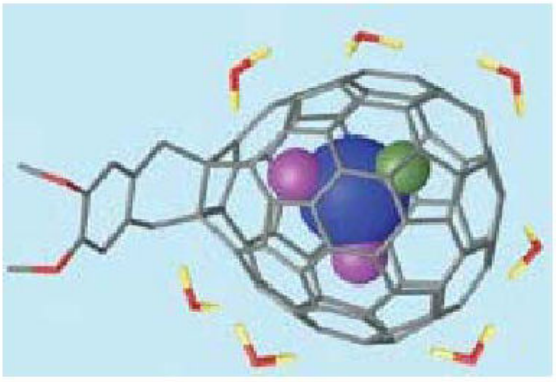
فولرن قفس کروی شامل ۲۸ تا بیش از ۱۰۰ اتم کربن می‌باشد. بیشتر مطالعات روی فرم تولید شده برای اولین بار در سال ۱۹۸۵ بوده که شامل ۶۰ اتم کربن (C60) می باشد. این ترکیب شبیه توپ توخالی است، که ازپنج‌ضلعی‌ها و شش‌ضلعی‌های کربنی به هم پیوسته، تشکیل شده است. این ترکیب می‌تواند تحت فشارهای شدید قرار داده شوند و دوباره شکل اصلی خود را وقتی که فشار برداشته شود، حفظ کنند[۴و۳].



شکل ۱-۱ : ساختار فولرن

این مولکول‌ها نمی‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند، بنابراین این ترکیبات بطور بالقوه مناسب برای استفاده به عنوان گریس می‌باشند. هنگامی که فولرن‌ها تولید می‌شوند، برخی از اتم‌های کربن را می‌توان با اتم‌های نیتروژن جایگزین کرد و مولکول‌های انعطاف‌پذیر ایجاد کرد، بنابراین محصولات حاصله، سخت اما الاستیک هستند. فولرن اصلاح شده و اصلاح نشده دارای خواص کاتالیزوری می‌باشند. آن‌ها دارای خواص الکتریکی جالب‌اند و پیشنهاد شده که از آن‌ها در زمینه‌های مختلف الکترونیک، اعم ازذخیره سازی داده‌ها تا تولید سلول‌های خورشیدی استفاده کنند. ادغام آن‌ها با نانولوله‌های کربنی رفتار الکتریکی فولرن ها را اصلاح و باعث ایجاد خاصیت نیمه رسانندگی در فولرن‌ها می‌شود، بنابراین دارای پتانسیل بکارگیری در برنامه‌های کاربردی در نانو الکترونیک قابل استفاده هستند. فولرن ها ساختارهایی توخالی و از نظر ابعاد مشابه با برخی از مولکول‌های فعال زیستی‌اند، که با پر کردن آن‌ها توسط مواد مختلف، در زمینه‌های مختلف پزشکی قابل استفاده‌اند[۵و۱].

1-Fullerenes

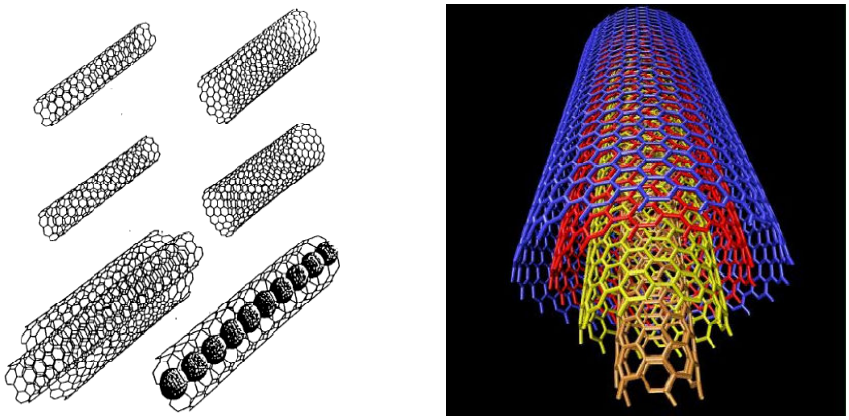


شکل ۱-۲ : فولرن اصلاح شده با نانو لوله های کربن

۱-۲-۲- نانولوله‌های کربنی[1]

نانولوله‌های کربن شکل جدید مولکول‌های متشکل از اتم کربن هستند. اتم‌های کربن به صورت شبکه‌های شش ضلعی در هم حلقه شده و تشکیل استوانه می‌دهند، این استوانه توخالی با قطر۰/۷ نانومتر و طول حدود چند میکرومتر می‌باشد. هر پایانه نانولوله‌کربنی می‌تواند باز یا به وسیله نیمه مولکول‌ها، فولرن‌ها و ملکول‌های زیستی کوچک بسته شود[۶ و۱]. این نانولوله‌ها بصورت تک لایه[2] مانند نی و یا چند لایه[3] مانند پوستر لوله شده در یک لوله، که استوانه ها هم محوراند وجود دارد. نانولوله‌کربنی چند لایه می‌تواند به قطر بیش از ۲۰ نانومتر هم برسد. این ابعاد کوچک از نانولوله های کربنی، با هم ترکیب شده و موادی با خواص فیزیکی، مکانیکی و الکتریکی قابل توجه و منحصر به فرد را ایجاد می‌کند. آنها خواص نیمه رسانایی یا فلزی را با توجه به اینکه لایه‌ها و حلقه‌های کربنی چگونه در هم حلقه شده‌اند، از خود نشان می‌دهند. دانسیته جریانی که نانولوله‌کربنی می‌تواند، حمل کند بسیار بالاست و می‌تواند حدود یک میلیارد آمپر بر هر متر مربع از نانولوله‌کربنی باشد و این ویژگی نانولوله‌کربنی را به یک ابررسانا تبدیل کرده است. سبک و قابل انعطاف بودن، استحکام مکانیکی نانولوله‌های‌کربن به بیش از شصت بار بزرگتر از بهترین فولادها می‌باشد، حتی اگر وزن آنها شش برابر کمتر شود[۸ و۷]. آنها همچنین دارای سطح ویژه بسیار بزرگ، رسانندگی گرمایی عالی و خواص الکترونیکی یکنواخت و پیکربندی سه بعدی می‌باشند. همچنین دارای ظرفیت بالا برای جذب ملکول‌ها، پایداری گرمایی و الکتریکی بالا هستند [۱۰ و۹].

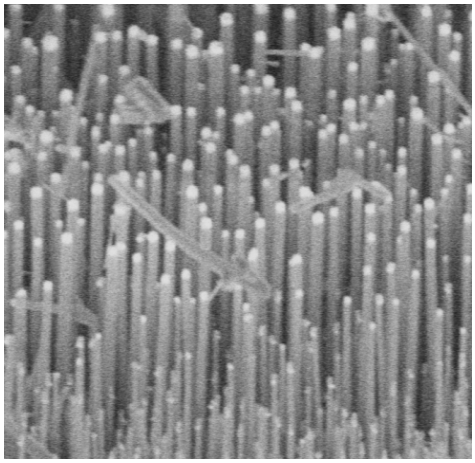
1-Carbon nanotubes
2-Monolayer
3-Multilayer



شکل ۱-۳: ساختارهای نانولوله‌کربنی تک لایه و چندلایه ونانولوله‌کربنی حاوی ترکیات دیگر

۱-۲-۳- نانوسیم‌ها[1]

نانوسیم‌های ذرات رسانا یا نیمه‌رسانا با ساختار بلورین کمتر از ۱۲ نانومتر و نسبت طول به قطربالا (حدود۱۰۰۰)هستند و شامل انواع نانوسیم فلزی مانند طلا، پلاتین، نقره و نانوسیم‌های نیمه رسانا مانند Si، InP، GaN و نانوسیم‌های عایق مانند TiO_2، SiO_2 هستند، البته نانوسیم‌های ملکولی متشکل از تکرار واحدهای ملکولی آلی مانند DNA و یا غیرآلی مانند $Mo_8S_{9-x}L_x$ وجود دارد[۱۱ و۱]. نانوسیم‌های بر پایه سیلیکون، کبالت، طلا و یا مس قبلا تولید شده و از آن‌ها برای انتقال الکترون‌ها در نانوالکترونیک استفاده می‌شود. اغلب نانوسیم‌ها به صورت یک بعدی دیده می‌شوند[۱۲].

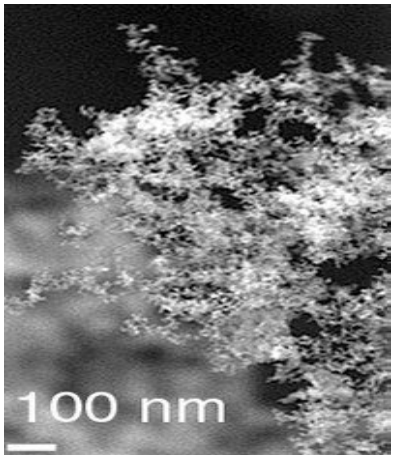


شکل ۱-۴:آرایش نانوسیم‌های Si

1-Nanowires

۱-۲-۴- نانوحباب‌های کربنی[1]

نانوحباب‌های کربنی پنجمین دگرشکلی[2] شناخته شده از کربن، پس از گرافیت، الماس، نانوفیبرهای کربنی و فولرن‌ها می‌باشند و اولین بار در سال ۱۹۹۷ توسط رود[3] کشف شد. در نانوحباب‌ها کربنی، تجمع‌های خوشه‌ای متشکل از اتم‌های کربن با دانسیته پائین وشبکه سه‌بعدی شل شده در هم بافته شده است و به طور معمول کلاستر ۶-۹ نانومتر پهنا دارند، وحاوی ۴۰۰۰ اتم کربن‌اند که مشابه ورقه‌های گرافیت به هم متصل شده‌اند یعنی تعداد زیادی الکترون جفت نشده‌اند، بنابراین اتم‌های کربن فقط توسط سه پیوند به هم متصل‌اند و با الگوی پنج‌ضلعی در بین یک نظم شش‌ضلعی قرار گرفته‌اند[۱].



شکل ۱-۵ : تصویری از نانوحباب کربنی

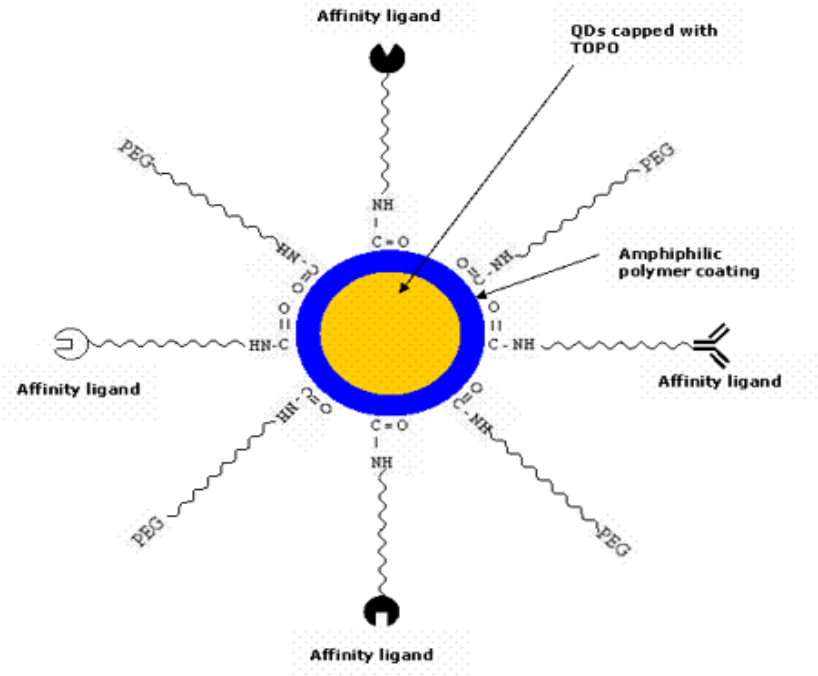
کربن نانوفوم‌ها از نظر رسانندگی ضعیف‌اند و می‌توانند به عنوان یک نیمه هادی‌ها عمل کنند. نانوحباب‌های کربنی خواص مغناطیسی موقتی را از خود نمایش می‌دهند و در دمای زیر ۱۸۰- درجه سانتی گراد می‌توانند تبدیل به آهن‌ربا شوند[۱۴ و۱۳].

۱-۲-۵- نقاط کوانتومی[4]

یکی از زمینه‌های مهم تحقیقاتی در پنج سال گذشته، ساخت و بکارگیری نقطه‌های کوانتومی (که به نام نانوکریستال‌ها یا اتم‌های مصنوعی شناخته می‌شوند) بوده که برای نمایش یک شکل خاصی از نانوکریستال‌های کروی به قطر ۱ تا ۱۰ نانومتر به‌کار می‌رود. آن‌ها به صورت نیمه‌هادی، عایق، فلزی،

1-Carbon nanofoams
2-Allotrope
3- Andrei V. Rode
1-Quantum dots

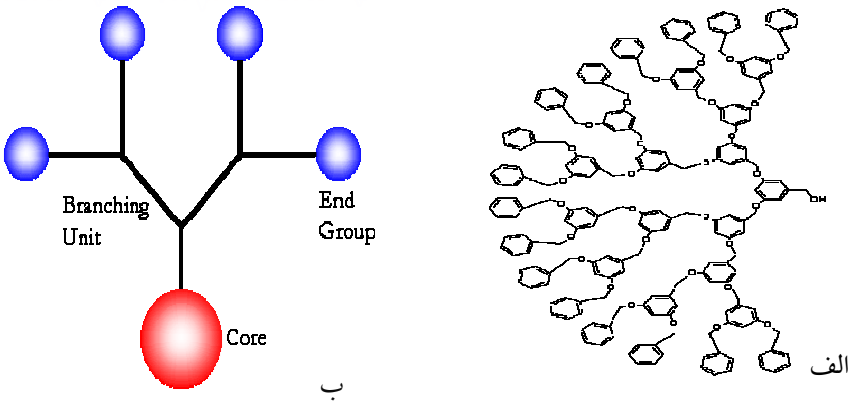
مواد مغناطیسی یا اکسیدهای فلزی توسعه یافته‌اند. تعداد اتم‌ها در نقطه‌های کوانتومی، که می‌تواند در محدوده ۱،۰۰۰ تا ۱۰۰،۰۰۰ باشد ساختاری را می‌سازد که نه ساختار توسعه‌یافته جامد است و نه هویت مولکولی دارد[۱۵ و۱]. بیشتر مطالعات بر روی نقاط کوانتومی نیمه‌هادی متمرکز شده است، که اثرات کوانتومی مشخصی بسته به ابعادشان، از خود نشان می‌دهند یعنی می‌توانند نور فلورسانسی را از طول موج UV تا IR با تغییر در اندازه از خود ساطع کنند، نقاط کوانتومی پهنای خط طیفی باریکی دارند و بسیار درخشنده‌اند و دارای ضریب جذب بالایی در محدوده طیفی گسترده‌ای هستند و از نظر نوری بسیار پایدارند[۱۷ و۱۶]. هنگامی که این ذرات با این ویژگی با ملکول‌های زیستی همراه می‌شوند، از نظر نوری در شرایط In Vivo بسیار پایدار و درخشنده‌اند. امکان ایجاد تصاویر با حساسیت و قدرت تفکیک بالا از عملکرد ملکول‌های گیرنده منفرد که با نقاط کوانتومی مانند CdSe, CdTe و پوسته CdS مزدوج شده‌اند، فراهم شده است[۱۸]. از نقاط کوانتومی برای نشان‌دار کردن ملکول‌ها در کارهای تحقیقاتی استفاده می‌شود، آنتی‌بادی‌ها یا دیگر ملکول‌های زیستی که با نقاط کوانتومی نشان‌دار شده‌اند به عنوان هدف در شناساگرهای سرطان به کار می‌روند[۱۹]. کادمیم‌سولفید، کادمیم‌سلنید، ایندیم‌آرسنید، ایندیم فسفید مثال‌هایی از نقاط کوانتوی بسیار پرکاربرد هستند[۲۰].



شکل ۱-۶ : ساختاریک نقطه کوانتومی عامل‌دار شده توسط گروه های مختلف

۱-۲-۶- دندریمرها[1]

دندریمرها یک کلاس جدید پلیمرهای ساختاری کنترل شده پر شاخه، شامل یک هسته و تعدادی واحد مونومری متصل به هسته، با ابعاد نانومتری‌اند. آنها به عنوان عناصر اولیه برای سنتز نانوساختارهای آلی و معدنی با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، در نظر گرفته می شود[۱]. دندریمرها اجازه کنترل دقیق، اتم به اتم رادرسنتز نانوساختارها را با توجه به ابعاد مورد نظر، شکل و شیمی سطح می دهند. G1 که اولین واحد مونومری مشاهده شده از دندریمرهاست و شکل آن در زیرآمده شامل سه واحد عاملی است، که یکی به هسته دندریمر ودوتای دیگر به شاخه ها متصل شده‌اند. این شاخه‌ها توسط گروه‌های انتهایی خود به گروه‌های دیگر متصل شده و شاخه‌ها را توسعه می‌دهند ومثال بعدی دندریمر G4 پلی(بنزیل اتر) با هسته OH است[۲۱]. دندریمرها می‌توانند دارای خواص آبدوستی وآبگریزی باشند و این ویژگی‌ها باعث کاربرد متنوع این ترکیبات می‌شود. به دلیل سازگاری دندریمرها با ساختارهای آلی مانند DNA، این ترکیبات کاربردهای فراوانی در پزشکی و زیست‌پزشکی دارند[۲۲]. آنها همچنین می‌توانند برای واکنش با نانوکریستال‌های فلزی و نانولوله‌ها ساخته شوند وهمچنین قابلیت کپسوله شدن یا عامل‌دار کردن تک‌ملکول‌ها را نیز دارند[۲۳].



شکل ۱-۷ : الف. ساختار دندریمر G4 پلی(بنزیل‌اتر)، ب. شمای کلی از یک دندریمر

۱-۲-۷- سایر نانوذرات

بعضی از نانوذرات تمایل به متراکم شدن و تشکیل سازه‌هایی به شکل زنجیر و یا با شاخه‌های مختلف را دارند. این رده به طور معمول شامل گازهای جوش، بخار سیلیکا، کربن‌سیاه و دیگر نانوذرات، که غالبا توسط تجزیه در اثر پیرولیز شعله تولید می‌شوند، هستند. نانوذرات ممکن است شامل فلزات، اکسیدهای

1-Dendrimers

فلزی، نیمه هادی‌ها، سرامیک و مواد آلی باشند. آن‌ها همچنین ممکن است شامل کامپوزیت‌هایی با پایه فلزی و یا پوشش آلیاژ و اکسیدی باشند، به عنوان مثال کلوئیدها، که برای مدت طولانی مطالعه شده‌اند، دارای ابعاد نانومتری هستند[۱].

۱-۳- کاربردهای نانوذرات

انواع بسیاری از نانوذرات شامل نانوذرات فلزی و غیرفلزی، نانوذرات اکسیدفلزی، نانوذرات نیمه‌هادی، نقاط کوانتومی، نانوذرات مغناطیسی و حتی نانوذرات کامپوزیت شده به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف- انرژی

- پیل‌های زیستی
- پیل‌های سوختی
- سل‌های خورشیدی
- باتری‌ها

ب- پزشکی

- معالجه و درمان سرطان‌ها
- بهبود فرایند تحویل دارو در بدن
- توسعه و بهبود کیفیت داروها
- توسعه ابزارهای پزشکی
- توسعه و بهبود آزمایش‌های تشخیصی

ج- الکترونیک

- نانوتراشه‌ها
- منابع نوری نیمه‌رسانا (دایودو، لیزر و...)
- ابزارنوری در زمینه ایجاد تصویر (اسکنر، دوربین‌های حرفه‌ای و...)
- ساخت مواد فوق‌رسانا
- ساخت شیشه‌های الکتروکرومیک و فتوکرومیک