دانشگاه پیام نور

(مرکز تهران)

دانشکده علوم

گروه فیزیک

بررسی پدیده نوفه شلیکی در سیم‌های کوانتومی نیمه‌هادی با استفاده از رهیافت تابع گرین غیرتعادلی

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

مولف:

فرشته یاوری

استاد راهنما:

دکتر علی اصغر شکری

شهریور ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه پیام نور

(مرکز تهران)

دانشکده علوم

گروه فیزیک

بررسی پدیده نوفه شلیکی در سیم‌های کوانتومی نیمه‌هادی با استفاده از رهیافت تابع گرین غیرتعادلی

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک حالت جامد

مولف:

فرشته یاوری

استاد راهنما:

دکتر علی اصغر شکری

شهریور۱۳۸۸

فهرست مطالب

مقدمه..... ۲

فصل اول – مقدمه‌ای بر نانوساختارها و کاربردهایشان

۱-۱پیش‌گفتار..... ۵

۱- ۲ نانوساختارها..... ۵

۱- ۳ مواد نانوبلوری..... ٦

۱- ٤ نانولوله‌های کربنی..... ٦

۱- ۵ نانوذرات..... ۹

۱- ۵- ۱ مشخصات نانوکامپوزیت‌ها با زمینه پلیمری..... ۱۰

۱- ۵- ۲ مشخصات نانو کامپوزیت‌ها با زمینه فلزی- سرامیکی..... ۱۰

۱- ٦ فولرین..... ۱۱

۱- ٦- ۱ خواص فولرین..... ۱۳

۱- ۷ نانوسیم‌ها..... ۱٤

۱-۷-۱ انواع نانوسیم‌ها..... ۱۵

فصل دوم: رسانش الکتریکی در یک سیم کوانتومی با رهیافت تابع گرین

۲- ۱ پیش‌گفتار..... ۱۸

۲- ۲ رسانش..... ۱۸

۲- ۳ سیم کوانتومی..... ۲۰

۲- ٤ متوسط جریان الکتریکی دریک سیم کوانتومی..... ۲۲

۲- ۵ معادله دایسون..... ۲۳

۲- ٦ ضریب عبوردهی..... ۲٦

فصل سوم: محاسبه نوفه شلیکی در یک سیم کوانتومی با روش تابع گرین غیرتعادلی

۳- ۱ پیش گفتار..... ۲۹

۳- ۲ ساختار سیستم..... ۳۰

۳- ۳ هامیلتونی سیستم.....۳۱
۳- ٤ تابع گرین.....۳۳
۳- ٥ نوفه شلیکی سیم کوانتومی ۳٤
۳- ٦ معادله دایسون.....٤۰
۳- ۷ عامل فانو..... ....٤۳

فصل چهارم: رسانش الکتریکی در یک سیم کوانتومی با استفاده از روش کلدیش
٤- ۱ پیش گفتار.....٤٦
٤- ۲ رسانش الکتریکی.....٤٦
٤- ۳ خود انرژی.....٤۷
٤- ٤ تابع گرین ٤۸

فصل پنجم: نتایج محاسبات عددی رسانش الکتریکی و نوفه شلیکی جریان
٥- ۱ پیش گفتار.....٥۰
٥- ۲ وابستگی جریان الکتریکی، نوفه شلیکی و فانو به پتانسیل خارجی.....٥٤

فصل ششم – نتیجه‌گیری
٦-۱ بحث و نتیجه‌گیری ٦۰
٦-۲ پیشنهادات.....٦۱

پیوست الف – مروری بر تابع گرین ٦۲
منابع و مآخذ ٦۷

بسمه‌تعالی

بنام خداوند بخشنده و مهربان که هستی بخش جهان است و سپاس فراوان از پدر و مادرم که امکانات تحصیلات مرا فراهم نمودند و هم‌چنین استاد ارجمندم جناب آقای دکتر علی‌اصغرشکری که مرا در تهیه این پایان‌نامه یاری نمودند، این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به پدر و مادرم و امیدوارم مورد قبول استاد گرامیم که همواره مرا یاری نموده‌اند باشد.

چکیده:

در این پروژه، ما قصد داریم خواص ترابرد الکتریکی یک سیم کوانتمی نیمه‌هادی متصل به دو الکترود فلزی نیم-بی‌نهایت ایده‌ال را در فرمول‌بندی کلدیش مبتنی بر تابع گرین غیرتعادلی بررسی کنیم. این فرمولبندی برای حالتی که در سیستم مورد نظر برهمکنش‌هایی مانند برهمکنش کولنی وجود داشته باشد به کار می‌رود. برای این کار، هامیلتونی سیستم را در مدل بستگی قوی نوشته و اثر برهم کنش کولنی و ولتاژ خارجی را برای الکترون‌های در درون سیم کوانتمی در نظرگرفته می‌گیریم. با محاسبات عددی بر روی چگالی جریان الکتریکی و توان نوفه شلیکی خواص ترابرد الکتریکی سیم کوانتمی مورد نظر بررسی می‌شود. همچنین تاثیر پارامترهای دیگری مانند طول سیم، شدت انرژی‌های اتصالات به کاررفته در ساختار مطالعه می‌شود. نتایج عددی این پایان نامه ممکن است برای طراحی ادوات الکترونیکی در مقیاس نانو مفید باشد.

کلمات کلیدی: رسانش الکتریکی، سیم‌های کوانتمی، تابع گرین غیر تعادلی، فرمولبندی کلدیش، نوفه شلیکی، برهمکنش کولنی

مقدمه:

درگذشته ذرات ریزی که قابل تقسیم نبودند اجزائ تشکیل دهنده بنیان ماده نامیده می‌شدند. دموکریتوس فیلسوف یونانی که پدر فناوری و علوم نانو است، در حدود ٤٠٠ سال قبل از میلاد مسیح اولین کسی بود که واژۀ اتم را که به معنی تقسیم‌نشدنی در زبان یونانی است، بنیان نهاد. نقطه شروع و توسعه اولیه فناوری نانو به طور دقیق مشخص نیست. در زمان شیشه‌گرهای قرون وسطایی برای ساخت شیشه‌ها از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شده است و با این کار شیشه‌های رنگی بسیار جذابی بدست می‌آمد. این قبیل شیشه‌ها هم‌اکنون در بین شیشه‌های بسیار قدیمی یافت می‌شوند. طبق تعریف، نانوذرات به ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر گفته می‌شود. امروزه پراهمیت‌ترین نانوذرات از نظر تجاری اکسیدهای ساده فلزات مثل سیلیکا[1]، تیتانیا[2] ، آلومینا[3] ، اکسید روی[4] و اکسیدهای آهن[5] می‌باشند. نانوذراتی مانند سیلیکا و اکسید آهن تاریخچه تجاری طولانی در حدود نیم قرن دارند.

نانو ساختارها از انواع پدیده‌هایی هستند که در جهان هستی به اهمیت آن‌ها پی برده‌اند. این ساختارها اگر چه با دست بشر در بعضی موارد و یا گاه در طبیعت پیدا شده‌اند یکی از انواع کارهای جالب و مورد بررسی توسط دانشمندان می‌باشد.

در زندگی معمولا ساختارهای نانویی بیشترین کاربرد را در تکنولوژی ساخت و بهره وری به خود محدود کرده است که همواره یکی از موارد مهم در بدست آوردن آگاهی‌های لازم در این عرصه شده است. با بررسی این ساختارها بشر توانسته است تکنولوژی مورد استفاده انسان را توسعه دهد ودر قلمر علم بیشتر قدم گذارد. هرچه بشر به وجود این ساختارهای نانویی پی می برد با دست یابی به نحوی تشکیل و کاربرد آن به راحتی در جامعه آن‌ها را مورد استفاده قرار می‌دهد، امروزه با علم به این موضوع کارهای مهمی در شکل گیری هرچه بهتر نانو ساختارها و ویژگی های منحصر به فردشان انجام شده است و تلاش‌های بی سابقه‌ای صورت گرفته است.

---

[1] Sio_2
[2] Tio_2
[3] Al_2o_3
[4] Zno
[5] Fe_2o_3 , Fe_3o_4

در این پایان نامه ابتدا با بررسی مختصری درباره‌ی انواع نانو ساختارها به بررسی دربـاره‌ی یکـی از انـواع آن‌هـا ، یعنی نانو سیم می پردازیم که بخش مهمی را در موضوع نانو ، کاربرد و توسعه این فناوری به خود جلب کرده است. سیم یکی از موارد مهم مورد ارزیابی در بخش کاربرد الکترونیک و مهم‌ترین وسیله ارتباط اجزای الکترونیکی می‌باشد که با توسعه‌ی نحوی تشکیل و کاربردی آن به یکی از شاخه‌های مهم فناوری نانو تبدیل می‌شود. یکی از مسائل مهم در pnبررسی نانوسیم، بدست آوردن جریان الکتریکی از یک دیود اتصال می‌باشد و از خواص مهم ادوات مبتنی برنانو، خاصیت ترابرد الکتریکی در آنها می‌باشد که معیار تغییرات زمانی آن‌ها را نوفه شلیکی[۶] می‌نامند. نوفه شلیکی یا نوسانات وابسته به زمان جریان، وابستگی زمانی بین عبور بار که در سراسر رسانا اتفاق می افتد را اندازه‌گیری می‌کند. این خاصیت یک ابزار قوی برای مطالعه عبوردهی الکتریکی در رساناهای مزوسکوپی را فراهم کرده است. رابطه بین عبوردهی الکترون و نوفه شلیکی، توان نوفه شلیکی را تعریف می‌کند، به عبارت دیگر، نسبت بین نوفه شلیکی و را 2eI توان نوفه شلیکی یا فاکتور فانو می‌گویند. با فرمول‌بندی مناسب عبوردهی الکتریکی در وسیله‌های نانویی شامل دو الکترود نیمه بی‌نهایت با سطح مقطع محدود که با سیم کوانتومی تماس دارند بدست می‌آید. محاسبات عددی‌مان در مدل بستگی قوی[۷] و روش تابع گرین[۸] انجام می‌شود.

[8] Green function

فصل اول:

مروری بر نانوساختارها

وکاربردهایشان

پیش‌گفتار

در این فصل ساختارهای نانویی مانند نانولوله‌ها، فولرین‌ها، کامپوزیت‌ها و نانوسیم‌ها را معرفی و کاربردها و اهمیت استفاده از آن‌ها بررسی می‌شود. برای این کار در ابتدا توضیح مختصری درباره نانوساختار داده می‌شود، وسپس درباره ویژگی‌های گروه‌های مختلف آن توضیح داده می‌شود.

۱-۲ نانو ساختارها

تفاوت فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در فناوری نانو استفاده می‌شود [۱]. البته تنها اندازه کوچک مدنظر نیست بلکه زمانی که اندازه مواد در مقیاس نانو قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آن‌ها از جمله رنگ، استحکام ، مقاومت ، خوردگی و غیره تغییر می‌یابند. اگر بخواهیم تفاوت فناوری نانو را در مقایسه با فناوری‌های دیگر مورد ارزیابی قرار دهیم، می‌توانیم وجود "عناصر پایه" را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر نانو مقیاسی هستند که خواص آن‌ها در حالت مقیاس نانو با خواص‌شان در مقیاس بزرگتر فرق می‌کند. اولین و مهم‌ترین عنصر پایه ، نانوذره است. منظور از نانوذره ، همان گونه که از نام آن مشخص است، ذراتی با ابعاد نانومتری در هر سه بعد می‌باشد. نانوذرات می‌توانند از مواد مختلفی مانند ذرات فلزی، سرامیکی و غیره تشکیل شوند. دومین عنصر پایه، نانوکپسول [۲] است. همان طوری که از اسم آن مشخص است، کپسول‌هایی هستند که قطر نانومتری دارند و می‌توان مواد مورد نظر در آن‌ها قرار داد و کپسول کرد. سال‌ها است که نانو کپسول‌ها در طبیعت تولید می‌شوند، مولکول‌های موسوم به فسفولیپیدها که یک سرآن‌ها آبگریز وسر دیگر آن‌ها آبدوست است، وقتی در محیط آبی قرار می‌گیرند، خودبه‌خود کپسول را تشکیل می‌دهند، به طوری که قسمت‌های آبگریز مولکول در درون آن‌ها واقع می‌شود و از تماس با آب محافظت می‌شود. عنصر پایه بعدی نانولوله کربنی است که در حقیقت لوله‌هایی از لایه گرافیت می‌باشند. اگر صفحات گرافیت را پیچانده وبه شکل لوله در بیاوریم، به

نانو لوله‌های کربنی می‌رسیم. این نانو لوله‌های کربنی دارای اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و می‌توانند تک دیواره یا چند دیواره باشند. این لوله‌ها خواص بسیار جالبی دارند که منجر به ایجاد کاربردهای جالب توجهی از آن‌ها می‌شوند.

۱-۳ مواد نانو بلوری

اگر اندازه دانه بلور در یک فلز به سمت نانو مقیاس رود، نسبت اتم‌های موجود برروی مرزهای دانه‌های بلور در جسم جامد افزایش پیدا می‌کند. این رفتار خاصیت‌های فلز هم‌چون سختی، استحکام، مقاومت الکتریکی و ظرفیت حرارتی ویژه را افزایش می‌دهد و باعث بهبود انبساط حرارتی و خواص مغناطیستی و کاهش رسانایی حرارتی می‌شود. از کاربردهای فلزات نانو بلوری در صنایع خودروسازی ، هوافضا و صنایع ساختمانی می‌باشد و می‌توانند به جای فلزات و آلیاژها به کار گرفته شوند.

۱-٤ نانو لوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی [۳] لوله‌هایی از گرافیت است. گرافیت نوعی کربن است که از لایه‌های حاوی آرایش‌های شش ضلعی حاوی اتم کربن تشکیل شده است. یک خصوصیت مشهور آن‌ها استحکام کششی برجسته آن‌ها، ۱۰۰ برابر محکم‌تر از فولاد است که این تنها بر اثر نیروهای ضعیف و اندروالس است. خواص الکتریکی نانولوله‌ها دامنه وسیعی از کاربرد این مواد را فراهم کرده است یکی از خواص نانولوله‌های کربنی نشر میدانی است (یعنی تحت تاثیر میدان الکتریکی از خود الکترون منتشر می‌کند). اگر چنین چیزی عملی شود صنعت انتقال نیرو با تغییرات عظیمی روبه‌رو خواهد شد. اصولاً نانولوله‌های کربنی نانوساختارهای خودسامانی هستند که از صفحات اتم‌های کربن شش ضلعی که به صورت استوانه‌هایی قرار گرفته‌اند ساخته می‌شوند. نانولوله‌ها به عنوان مدل‌هایی از دانش نانو و

شاخه‌های مرتبط با آن توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. این علاقه ویژه به نانولوله‌ها از ساختار و ویژگی‌های بی‌نظیر آنها سرچشمه می‌گیرد. ویژگی‌هایی همچون:

•حالت فلزی و نیمه‌رسانایی آن‌ها بر حسب شکل هندسی‌شان

اکنون پژوهش‌ها در مورد نانولوله‌ها ارائه خوبی از ساختارها، ویژگی‌ها و هم‌چنین روابط درونی آن‌ها می‌دهد. از سوی دیگر موانع بزرگی در این دانش بر اثر فقدان فهم دقیق از مکانیسم رشد و هم‌چنین نداشتن کنترل بر روی شیوه ترکیب نانولوله‌ها در جهت دستیابی به قطر و ساختار مورد نظر به وجود آمده است. هم اکنون نتایج جالبی در خصوص ویژگی‌های ساختمانی، الکترونیکی، نوری و هم‌چنین رسانایی این ساختارهای ریز و منظم حاصل شده است. نانولوله‌ها در الکترودهای باتری و حسگرهای نانوالکترونیکی کاربرد دارند. نانولوله‌های کربنی باعث افزایش و بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پلیمرها می‌شوند. قطر این نانولوله‌ها می‌تواند از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد و نسبت وجهی (طول به قطر) بیشتر از ۱۰۰ یا حتی ۱۰۰۰ باشد. نانولوله‌های کربنی به دو گروه نانولوله‌های تک‌دیواره و نانولوله‌های چنددیواره تقسیم می‌شوند. به علت خصوصیات عالی مکانیکی و رسانایی الکتریکی نانولوله‌های کربنی تک دیواره تلاش بر این است که از طریق محاسبات تئوری و تاییدات آزمایشگاهی این نانوله‌ها در صنعت وارد شوند. سرعت پیشرفت در تولید نانولوله‌های کربن- پلیمر به علت رقابت بر روی توسعه روش‌های ساخت با هزینه کم کاهش می‌یابد. در عین حال نانولوله‌های کربنی چنددیواره به علت در دسترس بودن وتجاری بودن پیشرفت‌های زیادی داشته است. برای مثال نانولوله‌های کربنی چند دیواره جایگزین کربن سیاه[۹] در پودرهای رنگ شده‌اند. استحکام‌دهی در نانولوله‌های چند دیواره نسبت به تک دیواره کمتر می‌باشد زیرا پیوندهای صفحات داخلی ضعیف می‌باشند. از کاربردهای نانولوله‌ها با زمینه پلیمری بهبود خواص گرمایی والکتریکی است و بهبود خواص مکانیکی را شامل نمی‌شود و از کاربردهای نظامی نیز فراهم کردن هدایت الکتریکی در فیلم‌ها و فیبرهای پلیمری می‌باشد. برای مثال پوسته‌های الکتریکی- مغناطیسی، کامپوزیت‌های رسانای گرما و لباس‌های سربازهای آینده می‌باشد. نانولوله‌های کربنی تک جداره کربن فقط از کربن و یک ساختار ساده (ورقه‌ای از

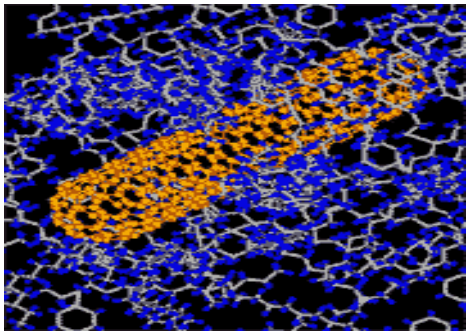
1.Carbon-black

شش ضلعی‌های منظم) تشکیل شده‌اند. برخی پیش‌بینی‌های تئوری، حاکی از آن است که آن‌ها می‌توانند فلزی یا نیمه رسانا باشند، البته این احتمالات پیش از آن که در آزمایشگاه بررسی شوند، مطرح شده است. از آغاز تحقیق بر روی نانولوله‌های تک جداره، از آن‌ها به عنوان یک پدیده یک بعدی نام برده می‌شد تا این که این تئوری مرحله به مرحله پیشرفت کرد. اکنون که نانولوله‌ها از سایر مواد شیمیایی ساخته شده‌اند، می‌توان به گستره وسیعی از ویژگی‌های نوین دست پیدا کرد. بررسی تفاوت نانولوله‌های تک بعدی با نانوسیم‌های تک بعدی هم‌جنس، اطلاعات جالب و مفیدی را ارائه می‌کند. تحقیقات در زمینه نانولوله‌ها اکنون به جایی رسیده است که فهم خوبی از ساختار، ویژگی‌ها و روابط درونی آن‌ها به دست آمده است. بسیاری از پدیده‌های غیر قابل انتظار که در گرافیت اتفاق نمی‌افتند، در نانولوله‌ها کشف شده‌اند که این پدیده نه فقط به فناوری نانولوله‌ها بلکه به همه شاخه‌های دانش نانو، انرژی و حیاتی دوباره بخشیده است. از آنجایی که نانولوله‌های تک جداره، به همراه تعداد متنوعی از انواع کربن، ذرات کاتالیزوری و سایر مواد ناخواسته رشد می‌کنند، توجه زیادی صرف خالص‌سازی نانولوله‌ها شده است. این امر منجر به پیدایش روش‌هایی در جهت مشخص کردن درجه خلوص نانولوله‌ها و طبقه‌بندی آنها بر حسب طول ، قطر و غیره گردیده است. نانولوله‌های کربنی دو جداره یک الگوی اولیه برای مطالعه کمی ساختار و ویژگی‌های نانولوله‌های چندجداره می‌باشند. هم‌چنین فیزیک نوری در نانولوله‌ها به عنوان ابزاری برای مطالعه الکترون و پدیده اپتوالکترونیک، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از آنجا که پراکندگی، جذب و انتشار نوری در تک جداره، به حالت الکترونیکی تک جداره بستگی داشته و فرآیندهایی بسامد افزا هستند، این خواص روش آسانی را برای بیان توزیع قطر و توزیع خاصیت فلزی نانولوله‌های تک جداره در یک نمونه ارائه می‌دهند. امروزه در روند تحقیق درباره نانولوله‌ها توجه و تأکید ویژه‌ای بر روی استفاده از نانولوله‌ها در ساخت ابزارها متمرکز شده است. اکثر پژوهشگرانی که در دانشگاه‌ها و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی سرتاسر دنیا بر روی نانولوله‌ها کار می‌کنند با خوش‌بینی، پیش‌بینی می‌کنند که در آینده‌ای نزدیک نانولوله‌ها کاربردهای صنعتی وسیعی خواهند داشت. در حال حاضر بیشترین کاربرد نانولوله تک جداره در مواد کامپوزیت برای افزایش استحکام آنها و در باتری‌های لیتیومی برای بهبود عملکرد و طول عمر آنها می‌باشد. هم اکنون امکان ساخت ابزارهای بسیار جالبی وجود دارد، اما در خصوص موفقیت تجاری آنها، باید در آینده قضاوت کرد. تقریباً تمام مقالات به‌طور ضمنی به کاربرد نانولوله‌ها و بهره‌برداری

تجاری از آنها در آینده اشاره دارند. آینده‌ی کاربرد نانولوله‌ها در بخش الکترونیک روشن است. خـصوصیات الکتریکـی و پایداری شیمیایی بی‌بدیل نانولوله‌ها به طور قاطع ما را به سمت استفاده از این خواص سوق می‌دهد. نانولوله‌هـا در آسـتانه کاربرد در ترانزیستورهای سریع هستند، اما آنها هنوز هم در اتصالات داخلی استفاده می‌شود. بسیاری از طراحان دستگاه‌ها

تمایل دارند به پیشرفت‌هایی دست پیدا کنند که آنها را به افزایش تعداد اتصالات داخلی دستگاه‌ها در فضای کوچک‌تر، قادر نماید. در این‌جا نانولوله‌ها وعده‌های بزرگی را با خود به همراه دارند، نانولوله‌هایی به عنوان حسگرهای مواد زیستی و شیمیایی خصوصا" در ساختارهای مینیاتوری پیچیده، نوید بخش هستند. در چند سال اخیر تعامل بین نانولوله‌ها و و سلول‌های زنده به طور مداوم افزایش پیدا کرده است. این بخش یک قسمت DNAسیستم‌های زیستی شامل پروتئین‌ها، جذاب و نسبتاً جدیدی از دانش نانولوله‌ها است. تا به‌حال نتایج و دستاوردهای جالبی از تحقیق در خصوص نانولوله‌ها به دست آمده است. البته می‌توان منتظر یافته‌های بسیار فراوانی در طی چند سال آینده نیز بود.

ویژگی عالی نانولوله‌های کربنی باعث شده است که بسیاری روی خواص کامپوزیت‌های آن کار کنند[٤]. در سال‌های اخیر نانولوله‌های کربنی در تولید وساخت نانو کامپوزیت‌ها به عنوان فاز تقویت کننده به کار می‌رود. علاوه بر مطالعه روی نانوکامپوزیت با زمینه پلیمری مطالعات روی نانوکامپوزیت با زمینه فلزی و سرامیکی نیز صورت می‌گیرد.



شکل(۱-۱) نانوکامپوزیت با زمینه پلیمری

۱-۵-۱ مشخصات نانو کامپوزیت‌ها با زمینه پلیمری

شکل (۱-۱) نانوکامپوزیت نانولوله‌ای با زمینهٔ پلیمری از پلیمری را نشان می‌دهد. روش توزیع نانولوله‌ها در زمینهٔ نانولوله‌ها به صورت طنابی شکل در زمینه پلیمری پارامترهای مهم در استحکام‌دهی به کامپوزیت می‌باشد. هنگامی که توزیع شوند، **لغزش آنها به شدت بر روی خواص الاستیکی کامپوزیت تأثیرگذار خواهد بود. لغزش نانولوله‌ها به علت عدم‌اتصال قوی بین نانولوله‌ها و زمینه می‌باشد. هم از جنبه تجاری و هم از جنبه نظامی، ارزش نانوکامپوزیت‌های پلیمری فقط به خاطر بهبود خواص مکانیکی نمی‌باشد. در کامپوزیت‌ها کارایی مورد نیاز، هزینه و قابلیت فرآوری از موضوعات بسیار مهم می‌باشد. نانوکامپوزیت‌های پلیمری بر این خواص مکانیکی، سیلیکات لایه‌ای را در نظر محدودیت‌ها غلبه کرده است. برای مثال پیشرفت سریع نانوکامپوزیت‌های پلیمر- بگیرید، تلاش‌های ده سال اخیر باعث شده است که مدول کششی و استحکام این کامپوزیت‌ها دو برابر شود بدون این‌که مقاومت به ضربه آنها کاهش یابد. در توسعه مواد چند جزئی چه در مقیاس نانو و یا میکرو سه موضوع مستقل انتخاب اجزا، تولید، فرآوری و کارایی باید مورد توجه قرار گیرد. از این نظر نانوکامپوزیت‌های پلیمری هنوز در اول راه هستند.**

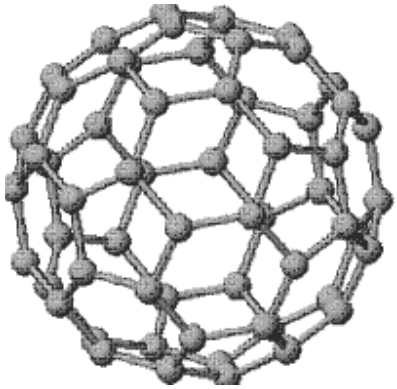
سرامیکی ۱-۵-۲ نانوکامپوزیت‌های با زمینه فلزی

فرد نانولوله‌ها در سرامیک‌ها نیز می‌تواند به کار گرفته شود. سرامیک‌ها دارای با این حال خواص منحصر به و پایداری حرارتی بسیار بالا و چگالی پایین می‌باشند. یکی از مشکلات سرامیک‌ها در به کارگیری به عنوان سفتی نانولوله‌های کربنی با سرامیک‌ها پتانسیل تولید موادی با مقاومت اجزای سازه‌ای ترد بودن آن‌ها می‌باشد. ترکیب محققان دیگری نیز تکنیک‌هایی را برای ساخت نانولوله‌های کربنی به صورت درجا به هدف گرمایی بالا را دارد. تولید یک قطعه کامپوزیتی در دمای بالا سپس این پودرها به منظور تولید پودرهای کامپوزیتی توسعه داده‌اند. زمینه فلزی فشرده شده‌اند. گروهی دیگر از محققان نیز از روش‌های الکترولیز برای تولید نانوکامپوزیت‌هایی با

همراه چگالی توسط نانولوله‌های کربنی استفاده کرده‌اند. خواص مکانیکی و فیزیکی عالی نانولوله‌های کربنی، به کامپوزیت‌ها معرفی کرده است. آشنایی با پایین آنها کربن را به عنوان یک کاندیدای عالی برای استحکام‌دهی به -رفتار الاستیک و خصوصیات شکست نانولوله‌های کربنی هم چنین فصل مشترک ماده در زمینه با نانولوله باعث نانوکامپوزیت‌های ساخته شده با نانولوله‌های کربنی می‌شود. با این حال درک کامل از رفتار حرارتی- مکانیکی این نیازها در کامپوزیت‌های رایج نیز احساس می‌شود، فقط در حال حاضر ابعاد فاز تقویت‌کننده از میکرومتر به مشخصات اندازه‌گیری رفتار سمت نانومتر کاهش یافته است. چالش‌هایی در فرآوری این کامپوزیت‌ها، تعیین پتانسیل بالای نانولوله‌ها را درتقویت‌کردن مواد الاستیک و شکست آن‌ها با کاهش ابعاد وجود دارد. تحقیقات اولیه، برای رفع چالش‌های ذکرشده بسیار مهم می‌باشد. در صنایع خودروسازی و هوا نشان می‌دهد ولی مطالعات بنیادی فضا کاهش وزن در عین یکسان نگهداشتن استحکام فاکتور مهمی است. جایگزینی مواد ساختاری فولاد- آلومینیوم و بوتن با مواد کامپوزیت پلیمری در صورتی رخ می دهد که نسبت استحکام به وزن را افزایش دهد.

۱- ٦ فولرین‌ها

فولرین‌ها قفس‌هایی با شبکه کروی از ٦٠ اتم کربن آرایش یافته به صورت شش ضلعی‌ها و پنج ضلعی‌های به هم زنجیر شده (مثل توپ فوتبال) هستند (شکل۱-۲) . جایزه نوبل در سال ۱۹۹٦برای کشف این ساختار بود.



شکل(۱-۲)فولرین

اولین روش تولید فولرین بر پایه عبور جریان ۱۵۰ آمپر از یک میله کربنی و دوده با بنزن استخراج می‌شد، که محلول ارغوانی حاصل حاوی ٦۰ اتم کربن[۱۰] است. فولرین‌ها (باکی‌بال‌ها) مولکول‌های بیش از حد قوی از نظر فیزیکی هستند و قادرند فشارهای بسیار زیاد را تحمل کنند. پس از تحمل فشار ۳۰۰۰ اتمسفر به شکل اولیه خود منبسط می‌شوند. نیروهای آن به جای پیوند شیمیایی با نیروهای بسیار ضعیف واندروالس به هم می‌چسبند که مشابه نیروهای نگهدارنده لایه‌های گرافیت است. این مسئله موجب می‌شود باکی‌بال‌ها دارای قابلیت روان کنندگی باشند. برخی از اتم‌های کربن در باکی‌بال، با نیتروژن جایگزین شده و موجب پویند آن‌ها باهم به صورت ماده‌ای سخت اما الاستیک می‌شوند، ارتباط محیطی زیاد با کربن باعث قابلیت بالای باکی‌بال‌ها درمصارف پزشکی می‌شود. نکته خیلی مهم این است که باکی‌بال‌ها به اندازه کافی کوچک هستند و می‌توانند از کلیه بدن عبور کرده و دفع می-شوند. از دیگر ویژگی‌های باکی‌بال‌ها توانایی‌آن‌ها برای درمان عفونت اچ.ای.وی[۱۱] است. توانایی دیگر باکی‌بال‌ها وارد نمودن عناصر رادیواکتیو به درون آن‌ها جهت رسانش مواد به سلول‌های سرطانی بدن است. اگر بتوان اتم‌های فلزات مغناطیسی به درون باکی‌بال‌ها فرستاد می‌توان در تصویر برداری تشدید مغناطیسی برای دیدن درون بدن استفاده کرد.

باکمینستر فولر، اولین فولرین کشف شده باکی‌بالی بود که به علت شباهت با گنبد ژئودزی آرشیتکت معروف از ٦۰ اتم کربن به شکل یک توپ فوتبال است که به باکمینستر فولرین نیز خوانده می‌شد. باکی‌بال مولکولی پنج‌ضلعی‌های به‌هم پیوسته‌ای آرایش یافته‌اند. در اندک زمانی فولرین‌های دیگری کشف صورت شش‌ضلعی‌ها و ارزان‌ترین و سهل‌الوصول‌ترین آن‌ها است. کربن ٦۰ حال شدند که از ۲۸ تا چندصد اتم کربن داشتند. با این بیشتری دارند. لغت فولرین کل مجموعه مولکول‌های توخالی کربنی را که دارای فولرین‌های بزرگ‌تر هزینه بسیار لوله‌شدن صفحات گرافیتی با نانولوله‌های کربنی که از پنج‌ضلعی و شش‌ضلعی می‌باشند پوشش می‌دهد. ساختار

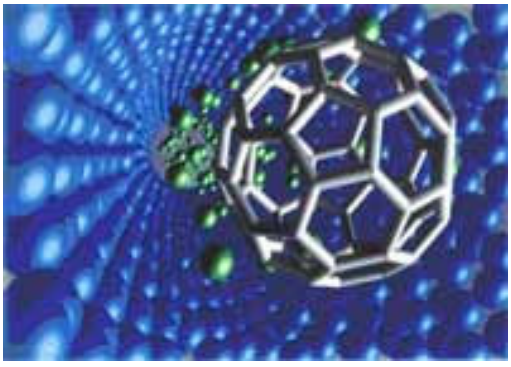
1.C60

2. HIV

انتهایشان، خویشاوند نزدیک فولرین به حساب می‌آیند. آرایش شش‌ضلعی ساخته می‌شوند در صورت بسته‌بودن تبدیل شدند. با فولرین‌هایی می‌باشند که با قراردادن کربن در نصف‌النهارشان به شکل لوله در واقع آنها به مثابه فولرین‌ها به مقدار اندکی در طبیعت، در حین این حال در اینجا لفظ فولرین‌ها دربرگیرنده نانولوله‌ها نیست. این حال فولرین‌ها اولین بار در دودهٔ حاصل از تبخیر لیزری گرافیت آتش‌سوزی و صاعقه‌زدگی پدید می‌آیند. با کشف شدند.

۱-٦-۱ خواص فولرین

باکی‌بال‌های چند پوسته موسوم به نانوپیازها بزرگ‌ترند و قابلیت بیشتری برای استفاده به عنوان روان‌کننده دارند. اگر باکی‌بال‌های چند پوسته را در زمینه پلیمری وارد کنیم شکل(۱-۳) باعث استحکام بالا و دانسیته پایین ماده حاصل می‌شود. باکی‌بال‌هایی که پوسته‌هایی به روی خود شکل می‌دهند نانو پیاز گفته می‌شوند. فولرین‌ها و مواد مربوطه توانمندی بالایی در کاتالیزگری دارند. فولرین‌ها به علت خواص الکتریکی که دارند به عنوان قطعات ذخیره داده‌ها تا پیل‌خورشیدی استفاده می‌شوند. یک استفادهٔ دیگر از خواص الکتریکی فولرین‌ها در پیل‌های سوختی است.



شکل(۱-۳) باکی بال در زمینه پلیمری

اگر فولرین‌ها درون نانولوله‌ها قرار داده شوند چیزی به نام غلاف نخود پدید می‌آید. فولرین‌هایی به این صورت رفتار الکتریکی نانولوله‌ها را تغییر داده و مناطقی با خواص نیم رسانایی مختلف را پدید می‌آورند. در نتیجه می‌تواند مجموعه‌ای از ترانزیستورهای پشت سرهم در یک نانولوله باشد. با تغییر مکان فولرین‌ها می‌توان این خواص را تغییر داد. مواد مبتنی بر فولرین‌ها مصارف مهمی در قطعات فوتونیک دارند (فوتونیک معادل الکترونیک است با این تفاوت که در آن از نور به جای الکتریسیته استفاده می‌شود). فولرین‌ها یک پاسخ نوری بسیار بزرگ را از خود نشان می‌دهند (یعنی تغییر خواص نوری در هنگام تابش نور) و ممکن است برای مصارف مخابراتی مناسب باشند. خواص نوری غیرخطی را می‌توان با افزایش یک یا چند اتم فلزی در بیرون یا درون قفس فولرین‌ها ارتقا داد. فولرین‌ها هم‌چنین در نابودی رادیکال‌های آزاد (که باعث آسیب بافت‌های زنده می‌شوند) نیزمفیدند. لذا پیشنهاد شده است از آن‌ها در مواد آرایشی جهت حفاظت پوست یا در درمان آسیب‌های عصبی ناشی از رادیکال‌ها (که نتایج آزمایش‌های آن‌ها در خرگوش‌ها موفقیت‌آمیز بوده است) استفاده شود. از فولرین‌ها می‌توان به عنوان پیش‌سازی برای دیگر مواد، هم‌چون روکش‌های الماسی یا نانولوله‌ها استفاده کرد (مثلاً با حرارت‌دادن فولرین‌ها و پلاتین به نانولوله‌ها رسیده‌اند).

۱-۷ نانوسیم‌ها

از سیم‌های نانومقیاس (شکل۱-٤) برای اتصال‌دهی قطعات الکترونی نانو مقیاس استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای نانوسیم‌ها استفاده در حافظه‌های نانو الکترنیکی است. نانوسیم‌ها می‌توانند ازجنس فلزات، نیمه‌هادی چون سلیکون وگالیم ویا از جنس مواد آلی باشند. نانوسیم‌ها در سیستم میکروآنالیز، تجهیزات آشکارسازی رادیویی سیستم بینایی در شب و شناسایی معدن کاربرد دارند.