بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

گرایش نانو فیزیک

عنوان :

مطالعه خواص فوتورسانش در نانولوله‌های کربنی آلاییده شده با فلزات قلیایی و قلیایی خاکی

دانشجو :

مصطفی زارعی محمودآبادی

اساتید راهنما :

دکتر مرتضی ایزدی فرد - دکتر بهرام خوشنویسان

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۰

نا چیزتر از آن است که تقدیم را شایسته باشد.

تقدیم با بوسه بردستان پدرم :

که با دستهای زحمتکش و گرمی نگاهش، حامی سرسخت چون کوه برایم هست و هر آنچه هستم از دعای خیر اوست.

تقدیم به مادرعزیزم :

الهه ی عشق و محبت که در لحظه لحظه زندگیم همراه و همرازم هست و هر آنچه دارم از اوست.
مادرم، آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد.

تقدیم به برادرانم آقا مجتبی و علی آقا :

که همواره در طول تحصیل، متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجه با مشکلات، و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد و خاطرات خوب زندگی ام را تداعی می بخشند و همواره مرا لبریز عشق خود کردند.

تقدیم به پیوندگان طریق معرفت :

آنانکه در طلب علم، جز رضای دوست نجویند و جز راه او نپویند.

مهیمنا، خاک را امیدوار

بر آستان کبریای تو

در آستان سفری پر تب و تابیم

لوح و قلم با توست

عنایتی تا در این هنگامه فرو نمانیم

که هر تابیدمی و توفیقی از جانب توست

سپاس و قدردانی

" ستایشگر معلمی هستم که اندیشیدن را به من آموخت و نه اندیشه ها را" . خدا را سپاس می گویم که به من فرصت داد تا در این مسیر مقدس گام بگذارم و در این راه، اساتید بزرگواری چون **جناب آقای دکتر مرتضی ایزدی فرد** و **جناب آقای دکتر بهرام خوشنویسان** را راهنمای مسیرم قرار داد که نعمتی بزرگ بودند و همراهی ایشان اگر نبود نمی توانستم قدم از قدم بردارم. نتیجه این لطف خداوند را با افتخار تقدیم به این دو عزیز می کنم که ناچیز است و گویای آن نیست که چقدر شاگردی ایشان را افتخار خود می دانم. بر خود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار که در طول تحصیل مرا در کسب علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از تشریک مساعی **جناب آقای دکتر هادی عربشاهی** و **جناب آقای دکتر محمد ابراهیم قاضی** به عنوان اساتید داور این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده اند تشکر و قدردانی می کنم.

از **جناب آقای دکتر سوهانی** به عنوان ناظر تحصیلات تکمیلی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از **جناب آقای دکتر بهرام بهرامیان** که همیشه با روی گشاده پاسخگوی سوالات بنده بودند و از زحمات بی دریغ **سرکار خانم رقیه سادات عیسی پور** که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند نهایت تشکر و قدر دانی را دارم.

در پایان از تمامی دوستان و هم‌اتاقی‌های عزیزم بخصوص **آقایان حامد فیضی، ابوالفضل صالحی زاده، محمد امیری، محمد برهمند، حامد پاک ضمیر، یونس ظهرابی، جمشید مرادی، احسان عظیم فرد و جواد محمدیان** که در انجام این پایان نامه به بنده کمک کردند بسیار سپاسگزارم.

بماند سالها این نظم و ترتیب — زما هر ذره خاک افتاده جایی
غرض نقشی است کز ما باز ماند — که هستی را نمی بینم بقایی

تعهدنامه

اینجانب **مصطفی زارعی محمودآبادی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **نانوفیزیک** دانشکده **فیزیک** دانشگاه **صنعتی شاهرود** نویسنده پایان‌نامه: مطالعه ی خواص فوتورسانش در نانو لوله های کربنی آلائیده شده با فلزات قلیایی و قلیایی خاکی تحت راهنمایی **جناب آقای دکتر بهرام خوشنویسان و جناب آقای دکتر مرتضی ایزدی فرد؛** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجودات زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در این پایان نامه ابتدا خواص فوتورسانش در نانو لوله های کربنی خالص تحت تابش منبع نور زنون و هالوژن مطالعه شد. سپس با آلائیده کردن نانو لوله های کربنی چند دیواره با فلزات قلیایی پتاسیم و لیتیم خواص فوتورسانش آنها نسبت به نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص مقایسه شدند. خواص فوتورسانش در نانو لوله ها با دو منبع نوری لامپ زنون و لامپ هالوژن بررسی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که برای نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص تحت تابش منبع نور زنون که شامل طیف فرابنفش می باشد، کاهش فوتوجریان داریم در حالیکه برای نانو لوله های آلائیده شده افزایش فوتوجریان تحت تابش منبع نور زنون مشاهده می شود. این بررسی همچنین نشان داد که فوتورسانش برای هردو نوع نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص و آلائیده با فلزات قلیایی تحت تابش منبع نور هالوژن افزایش می یابد. فوتوجریان ایجاد شده در نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم نسبت به نانو لوله های کربنی خالص به مراتب بیشتر است. بررسی تغییرات فوتوجریان برحسب زمان برای نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص و آلائیده با فلز پتاسیم نشان داد که زمان پاسخ در نانو لوله های کربنی خالص نسبت به نانو لوله های آلائیده با فلز پتاسیم بیشتر است.

کلید واژه : نانولوله های کربنی چند دیواره خالص، نانو لوله های کربنی چند دیواره آلائیده شده با فلز پتاسیم، نانو لوله های کربنی چند دیواره آلائیده شده با فلز لیتیم، اثر فوتورسانش

مقالات مستخرج از پایان نامه :

زارعی محمودآبادی، مصطفی، ایزدی فرد، مرتضی، خوشنویسان، بهرام، ، (۱۳۹۰) "مطالعه ی اثر فوتو رسانش در نانو لوله های کربنی خالص و آلائیده شده با فلز پتاسیم " اولین همایش ملی نانو مواد و نانو تکنولوژی دانشگاه آزاد شاهرود ایران.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: نانولوله‌های کربنی

مقدمه ۲

۱-۱ - ساختار کربن ۴

۱-۲ - ساختار نانو لوله های کربنی ۶

۱-۳- سنتز نانولوله‌های کربنی ۱۰

۱-۳-۱- روش تخلیه قوس الکتریکی ۱۱

۱-۳-۲- روش تبخیر لیزری ۱۳

۱-۳-۳- انباشت بخار شیمیایی ۱۴

۱-۴- ویژگی های نانو لوله های کربنی ۱۵

۱-۴-۱- واکنش پذیری شیمیایی ۱۵

۱-۴-۲- رسانش الکتریکی ۱۶

۱-۴-۳- برانگیختگی نوری ۱۷

۱-۴-۴- استحکام مکانیکی ۱۷

۱-۵-کاربردهای نانو لوله های کربنی ۱۸

۱-۵-۱- ذخیره انرژی ۱۸

۱-۵-۲-ذخیره سازی هیدروژن ۱۸

۱-۵-۳- الکترونیک مولکولی با نانولوله‌های کربنی ۱۹

۱-۵-۳-۱- وسایل گسیل میدانی ۱۹

۱-۵-۳-۲- ترانزیستورها ۲۰

۱-۵-۴- حسگرها و کاوشگرهای مقیاس نانو ۲۰

۱-۵-۵- مواد ترکیبی (کامپوزیت‌ها) ۲۱

۱-۵-۶- سنسورهای شیمیایی ۲۱

۱-۶- آلایش نانولوله های کربنی ۲۲

۱-۶-۱- روش‌های مختلف آلایش نانولوله‌های کربنی ۲۲

فصل دوم: مشخصه‌یابی نانولوله‌های کربنی

مقدمه ۲۸

۲-۱- آنالیز نانولوله‌های کربنی ۲۸

۲-۲- طیف سنجی رامان ۲۸

۲-۲-۱- طیف رامان نانولوله های کربنی ۲۹

۲-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۳۱

۲-۴- آنالیز پراکندگی انرژی اشعه X ۳۲

فصل سوم: فوتورسانش

مقدمه ۳۴

۳-۱- بلورها و پیوند شیمیایی ۳۴

۳-۲- ساختار نواری و رسانش الکتریکی ۳۶

۳-۳- گذارهای الکترونی ۳۸

۳-۳-۱- جذب ۳۸

۳-۳-۲- گیراندازی ۴۰

۳-۳-۳- باز ترکیب ۴۰

۳-۴- فوتورسانش ۴۱

۳-۵- فوتورسانش مواد مختلف ۴۲

۳-۵-۱- فوتوجریان‌های اولیه در عایق‌ها ۴۲

۳-۵-۲- فوتورسانش در نیمرساناها ۴۵

۳-۵-۳- زمان پاسخ و رابطه فوتوجریان با شدت ۴۶

۳-۶- خواص فوتورسانش در نانو لوله های کربنی ۵۰

۳-۶-۱- خواص فوتورسانش نانو لوله های کربنی تک دیواره ۵۱

۳-۶-۱-۱- اثر مکان روی فوتورسانش ۵۱

۳-۶-۱-۲- اثر سطح تماس روی فوتورسانش ۵۲

۳-۶-۱-۳- اثر فشار محیط روی فوتورسانش ۵۳

۳-۶-۱-۴- رابطه فوتوجریان با زمان ۵۵

۳-۶-۱-۵- مشخصه ولتاژ – جریان ۵۷

۳-۶-۲- خواص فوتورسانش نانو لوله های کربنی چند دیواره ۵۷

فصل چهارم: روش کار و نتایج

مقدمه ۶۱
۴-۱- وسایل و مواد شیمیایی مورد نیاز ۶۱
۴-۱-۱- مواد شیمیایی مورد نیاز ۶۱
۴-۱-۲- وسایل و تجهیزات مورد نیاز ۶۲
۴-۲- آلائیده کردن نانولوله های کربنی چند دیواره با فلزات قلیایی پتاسیم و لیتیم ۶۲
۴-۲-۱- تهیه محلول ۰/۲ مولار فنانترن ۶۳
۴-۲-۲- روش انجام آزمایش ۶۳
۴-۳ - تهیه فوم نقره به عنوان زیر لایه ۶۳
۴-۳-۱- تهیه فوم نقره ۶۳
۴-۳-۲ - آبکاری نقره ۶۴
۴-۳-۲-۱- تهیه محلول آبکاری ۶۴
۴-۳-۲-۲- روش انجام آزمایش آبکاری فوم نقره ۶۴
۴-۳-۲-۳- حل شدن یونولیت در حلال تتراهیدروفوران ۶۵
۴-۴- نشاندن نانولوله های کربنی روی فوم نقره با استفاده از روش الکتروفورز ۶۶
۴-۴-۱- تهیه سوسپانسیون نانو لوله های کربنی ۶۶
۴-۴-۲- انباشت لایه ای از نانو لوله های کربنی روی فوم نقره ۶۶
۴-۵- انجام آزمایش فوتورسانش در نانولوله های کربنی ۶۷
۴-۵-۱- سیستم تست سلول های خورشیدی ۶۷
۴-۵-۲ - انجام آزمایش فوتورسانش با سیستم بیوآمپرمتر ۶۹
۴-۶- آنالیز نانولوله های کربنی ۷۱
۴-۷- آنالیز نانو لوله های کربنی چند دیواره آلائیده ۷۲
۴-۷-۱- آنالیز نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم ۷۳
۴-۷-۲- آنالیز نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز لیتیم ۷۶
۴-۸- آنالیز فوم نقره ۷۷
۴-۹- آنالیز نمونه ی آماده شده برای اندازه گیری های فوتورسانش ۷۸
۴-۱۰- نتایج آزمایش فوتورسانش با دستگاه فوتوولتائیک ۷۹

۴-۱۰-۱ - مشخصه ی $I-V$ نانولوله های کربنی چند دیواره خالص در حالت تاریکی و روشنایی.....۷۹
۴-۱۰-۲- مشخصه ی $I-V$ فوم نقره در حالت تاریکی و روشنایی.....۸۱
۴-۱۰-۳- مشخصه $I-V$ نانو لوله های کربنی چند دیواره آلائیده با فلز پتاسیم.....۸۱
۴-۱۰-۴ - مشخصه ی$I-V$ نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز لیتیم.....۸۲
۴-۱۰-۵- رابطه ولتاژ با فوتوجریان تولید شده با منبع نور زنون.....۸۳
۴-۱۱- نتایج آزمایش با سیستم بیوآمپرمتر برای نانو لوله های کربنی خالص.....۸۴
۴-۱۱-۱- مشخصه ی $I-V$ نانولوله های کربنی چند دیواره خالص در حالت تاریکی و روشنایی....۸۴
۴-۱۱-۲- رابطه فوتوجریان با ولتاژ در نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص.....۸۵
۴-۱۱-۳- اتصال الکترود منفی به نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص و الکترود مثبت به فلز.....۸۶
۴-۱۱-۳-۱- مشخصه ی $I-V$ نانولوله های کربنی چند دیواره خالص.....۸۶
۴-۱۱-۳-۲- رابطه ولتاژ با فوتوجریان برای نانو لوله های کربنی خالص.....۸۷
۴-۱۲- نتایج آزمایش با سیستم بیوآمپرمتر برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم.....۸۸
۴-۱۲-۱- مشخصه ی $I-V$ نانولوله های کربنی چند دیواره آلائیده با فلز پتاسیم در حالت تاریکی و روشنایی.....۸۸
۴-۱۲-۲- رابطه ولتاژ با فوتوجریان برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم.....۸۹
۴-۱۲-۳- اتصال الکترود منفی به نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم و الکترود مثبت به فلز.....۹۰
۴-۱۲-۳-۱- مشخصه ی $I-V$ برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم.....۹۰
۴-۱۲-۳-۲- رابطه ی فوتوجریان با ولتاژ برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم.....۹۱
۴-۱۳- نتایج آزمایش فوتورسانش با سیستم بیوآمپرمتر برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز لیتیم.....۹۲
۴-۱۳-۱- مشخصه ی $I-V$ برای نانو لوله های کربنی چند دیواره آلائیده با فلز لیتیم.....۹۲
۴-۱۳-۲- رابطه فوتوجریان با ولتاژ برای نانو لوله های کربنی آلائیده با لیتیم.....۹۳
۴-۱۴- بررسی اثر گرمای حاصل از تابش نور بر روی فوتورسانش.....۹۴
۴-۱۵- وابستگی فوتوجریان به زمان.....۹۶

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) انواع ساختارهای کربنی.....۲

شکل (۱-۲) لوله شدن ورقه گرافن.....۳

شکل (۱-۳) تصاویر SEM و TEM نانو لوله های کربنی.....۴

شکل (۱-۴) بسته های نانو لوله های کربنی در حال رشد.....۶

شکل (۱-۵) ساختاریک صفحه گرافن که درآن بردارهای پایه گرافن و بردارکایرال برای حالتهای (8,4) و (8,0) و زاویه کایرال نشان داده شده است.....۷

شکل (۱-۶) طرح شماتیک از ازنانولوله های (الف) دسته صندلی، (ب) زیگزاگ و (ج) کایرال.....۸

شکل (۱-۷) سلول واحد برای سه نانولوله مختلف.....۹

شکل (۱-۸) یک طرح شماتیک از دستگاه تخلیه الکتریکی و عکس های TEM گرفته شده از نانو لوله های کربنی.....۱۲

شکل (۱-۹) یک طرح شماتیک از سیستم تبخیر لیزری.....۱۴

شکل (۱-۱۰) طرح شماتیکی از نحوه رشد نانو لوله های کربنی به روش CVD.....۱۵

شکل (۱-۱۱) تفکیک نانو لوله های نیمه رسانا و فلزی بر اساس بردار کایرال آنها.....۱۶

شکل(۱-۱۲) طرح شماتیکی از کاربرد نانو لوله های چند دیواره به عنوان قلم AFM.....۲۱

شکل (۱-۱۳) یک طرح شماتیک از (الف) آلایش داخل (ب) آلایش خارج (ج) آلایش در صفحات نانو لوله های کربنی دو دیواره.....۲۳

شکل (۱-۱۴) چگالی حالت ها برای نانو لوله های کربنی آلائیده با بور(الف) نانو لوله های کربنی آلائیده با نیتروژن.....۲۵

شکل (۱-۱۵) یک طرح شماتیک از مدل مولکولی نانو لوله های کربنی آلائیده با نیتروژن.....۲۶

شکل (۲-۱) طیف رامان یک نانو لوله کربنی.....۳۰

شکل (۲-۲) اجزای اصلی یک میکروسکوپ الکترونی روبشی.....۳۱

شکل (۲-۳) یک طرح شماتیک از سیستم (EDAX).....۳۲

شکل (۳-۱) طرح شماتیک از آرایش اتم ها در بلورهای کامل.....۳۵

شکل(۳-۲) نوار ظرفیت و رسانش برای (الف)، فلز (ب)، نیمرسانا (ج)، عایق.....۳۷

شکل (۳-۳) گذارهای الکترونی رایج در فوتورساناها. (الف) جذب (ب) گیراندازی (ج) بازترکیب.....۳۸

شکل (۳-۴) طیف جذب (منحنی پیوسته) و طیف گسیل (منحنی خط چین). گذار جذب از نوار ظرفیت به نوار رسانش (۱) ؛ گذار جذب از سطح عیوب به نوار رسانش (۲ , ۵ ´) ؛ گذار جذب از نوار ظرفیت به سطح عیوب (۳ , ۴ ´) ؛ گذار گسیلی برای بازترکیب بین الکترون های آزاد و حفره های آزاد (۸) ؛ گذار گسیلی برای بازترکیب در یک مرکز عیوب (۶ ؛ ۷ ، ۹ ، ۱۰).....۳۹
شکل (۳-۵) (الف) حرکت فوتوالکترون ها به سمت کاتد، (ب) منحنی بار الکتریکی – ولتاژ برای الماس.....۴۳
شکل (۳-۶) یک طرح شماتیک از نوارهای انرژی نیمه رسانا.....۴۶
شکل (۳-۷) نمایی از ورقه نانو لوله های کربنی تحت آزمایش.....۵۲
شکل (۳-۸) (الف) تصویر SEM ورقه نانو لوله های کربنی تک دیواره (ب) و ورقه نانو لوله های کربنی تک دیواره بعد ازآبکاری.....۵۳
شکل (۳-۹) اثر فشار محیط روی فوتوجریان ورقه های نانو لوله (الف) اندازه گیری های فوتوجریان در هنگام ایجاد خلا و وارد شدن هوا (ب) اندازه گیری های فوتوجریان ورقه های نانو لوله در حین پمپ کردن.....۵۴
شکل (۳-۱۰) پاسخ دینامیکی از فوتوجریان به عنوان تابعی از زمان (الف) با شروع تابش لیزر (ب) و قطع تابش لیزر.....۵۶
شکل (۳-۱۱) نمودار فوتوجریان با ولتاژ برای نانو لوله های کربنی تک دیواره.....۵۷
شکل (۳-۱۲) تصویر SEM نانو لوله های کربنی چند دیواره.....۵۸
شکل (۳-۱۳) فوتوجریان تولید شده با منبع نور سفید تحت ولتاژهای مختلف در شدت ثابت.....۵۹
شکل (۳-۱۴) فوتوجریان تولید شده با منبع نور سفید نسبت به شدت های مختلف.....۵۹
شکل (۴-۱) نمایی از (الف) سیستم آبکاری نقره و (ب) سوزن نقره.....۶۵
شکل (۴-۲) تصویر نانو لوله های کربنی انباشت شده روی فوم نقره.....۶۷
شکل (۴-۳) نمایی از دستگاه شبیه سازی خورشیدی در دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان.....۶۸
شکل (۴-۴) طیف خروجی لامپ دستگاه شبیه سازی خورشیدی مستقر در دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان.....۶۸
شکل (۴-۵) صفحه پراکننده نور داخل محفظه.....۶۹
شکل (۴-۶) دستگاه IVIUMSTAT برای اندازه گیری ولتاژ و جریان سلول مستقر در دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان.....۶۹
شکل (۴-۷) نمایی از دستگاه بیوآمپرمتر در دانشکده شیمی دانشگاه یزد.....۷۰

شکل (۴-۸) نمونه ای از طیف XRD نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص.....۷۱
شکل (۴-۹) تصاویر SEM نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص (الف) ۱ میکرومتر و (ب) ۵۰۰ نانومتر.....۷۲
شکل (۴-۱۰) تصاویرSEM نانو لوله های کربنی آلائیده شده با پتاسیم (الف) با مقیاس ۱ میکرومتر و (ب) ۵۰۰ نانومتر.....۷۴
شکل (۴-۱۱) الگوی EDX نانو لوله های کربنی آلائیده با پتاسیم.....۷۵
شکل (۴-۱۲) طیف XRD نانو لوله های کربنی (الف) خالص (ب) آلائیده شده با فلز پتاسیم.....۷۶
شکل (۴-۱۳) تصاویر SEM نانو لوله های کربنی آلائیده شده با فلز لیتیم با مقیاس (الف) ۱ میکرومتر (ب) ۵۰۰ نانومتر.....۷۷
شکل (۴-۱۴) تصامیر میکروسکوپ (الف) الکترونی و (ب) نوری فوم نقره.....۷۸
شکل (۴-۱۵) تصاویر SEM لایه ی انباشت شده از نانو لوله های کربنی چند دیواره (الف) خالص (ب) آلائیده با پتاسیم روی فوم نقره.....۷۹
شکل (۴-۱۶) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص.....۸۰
شکل (۴-۱۷) نمودار ولتاژ – جریان در حالت تاریکی و روشنایی برای فوم نقره.....۸۱
شکل (۴-۱۸) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی آلائیده با پتاسیم.....۸۲
شکل (۴-۱۹) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز لیتیم.....۸۳
شکل (۴-۲۰) رابطه ولتاژ نسبت به فوتوجریان تولید شده با منبع نور زنون.....۸۳
شکل(۴-۲۱) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص.....۸۵
شکل (۴-۲۲) فوتوجریان تولید شده با تابش نور سفید درشدت ثابت تحت ولتاژ برای نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص.....۸۶
شکل (۴-۲۳) منحنی ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی خالص.....۸۷
شکل (۴-۲۴) فوتوجریان تولید شده با تابش نور تحت ولتاژ برای نانو لوله های کربنی خالص.....۸۸

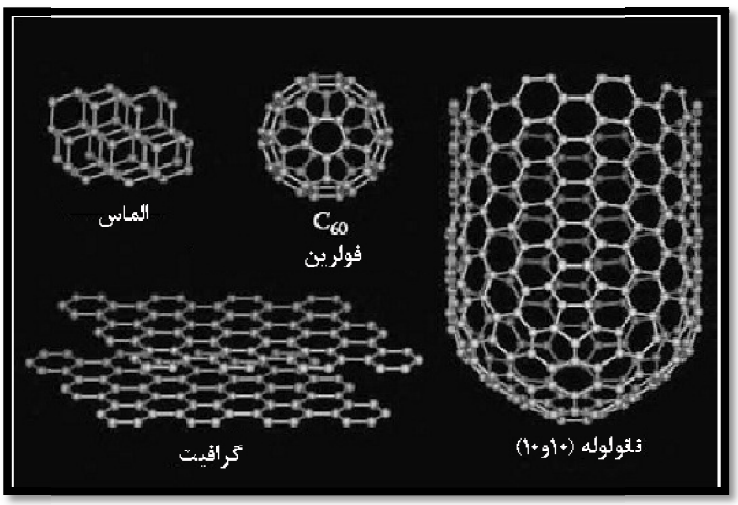
شکل (۴-۲۵) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز پتاسیم.....۸۹
شکل (۴-۲۶) فوتوجریان تولید شده با تابش نور سفید تحت ولتاژهای مختلف برای نانو لوله های کربنی آلائیده با پتاسیم.....۹۰
شکل (۴-۲۷) منحنی ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی آلائیده با پتاسیم.....۹۱
شکل (۴-۲۸) فوتوجریان تولید شده با تابش نور سفید تحت ولتاژهای مختلف برای نانو لوله های کربنی الائیده با پتاسیم.....۹۲
شکل (۴-۲۹) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی آلائیده با فلز لیتیم.....۹۳
شکل(۴-۳۰) فوتوجریان تولید شده با تابش نور تحت ولتاژهای مختلف برای نانو لوله های کربنی آلائیده با لیتیم.....۹۴
شکل (۴-۳۱) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی چند دیواره خالص با ماسک ۹۵
شکل (۴-۳۲) نمودار ولتاژ – جریان در حالت (۱) تاریکی و (۲) روشنایی برای نانو لوله های کربنی چند دیواره آلائیده با پتاسیم با ماسک.....۹۵
شکل(۴-۳۳) افزایش فوتوجریان نسبت به زمان برای نانو لوله های کربنی خالص.....۹۶
شکل (۴-۳۴) افزایش فوتوجریان نسبت به زمان برای نانو لوله های کربنی آلائیده با پتاسیم.....۹۷
شکل (۴-۳۵) کاهش فوتوجریان با خاموش کردن نور برای نانو لوله های کربنی آلائیده با پتاسیم...۹۸

فصل اول

نانو لوله های کربنی

مقدمه

عنصرکربن به دلایل زیادی در طول سالیان متمادی قابل توجه محققین بوده است. ساختارهای مختلف این ماده شامل یکی از نرم ترین (گرافیت) و یکی از سخت ترین (الماس) مواد شناخته شده توسط انسان می باشد. افزون بر این، کربن میل زیادی به پیوند با اتم های دیگر کربن داشته و اندازه بسیار کوچک آن امکان پیوندهای متعدد را به وجود می آورد. این خصوصیات باعث شکل گیری ده میلیون نوع ترکیبات کربنی شده است [۱]. کربن در اثر مهبانگ[1] (انفجار بزرگ آغازین) حاصل نشده است، چون این عنصر برای تولید نیاز به یک برخورد سه مرحله ای ذرات آلفا (هسته اتم هلیم) دارد. تاکنون چهار ساختار متفاوت از کربن غیر متبلور (آمورف)، گرافیت، الماس و فولرین شناخته شده است [۱]. ساختارهای مختلف کربن در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. کشف فولرن[2] و تولید آن ها در ابعاد وسیع اولین قدمی بود که به سوی نانولوله های کربنی برداشته شد [۲]. یکی از اکتشافات

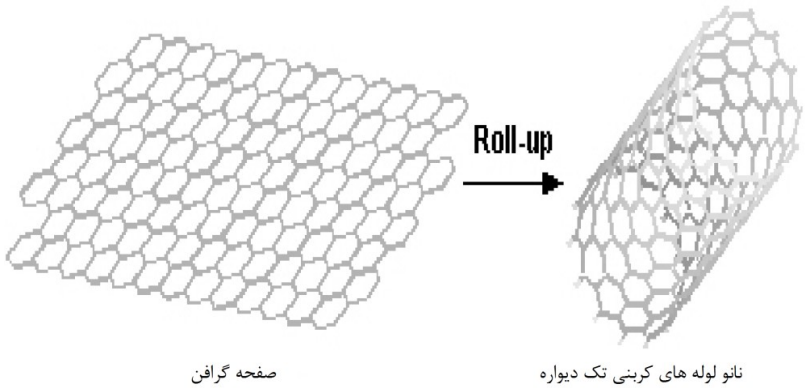


شکل (۱-۱) انواع ساختارهای کربنی [۲].

[1]. BigBang
[2]. Fullerene

بزرگ مربوط به نانو تکنولوژی، کشف نانو لوله های کربنی است. از زمان کشف نانو لوله های کربنی چند دیواره[1] (Multi Wall Nanotube) درسال ۱۹۹۱ توسط ایجیما[2] و دو سال بعد از آن سنتز نانو لوله های کربنی تک دیواره[3] (Single Wall Nanotube) این مواد به سرعت به یکی از موضوعات مهم برای تحقیقات گسترده پژوهشگران در سراسر دنیا تبدیل شده است. از آن پس، مطالعات تئوری و تجربی بر روی ویژگی های فیزیکی و کاربرد های بالقوه نانو لوله ها متمرکز شده است [۳].

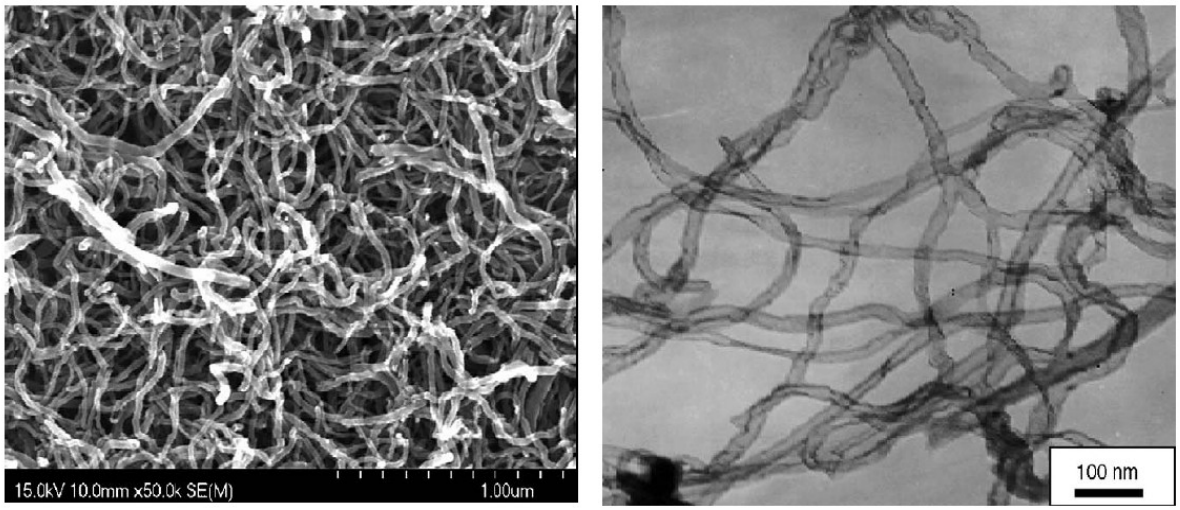
نانو لوله های کربنی حاصل از لوله شدن ورقه های گرافن هستند که مطابق شکل (۱-۲) به صورت استوانه های توخالی درآمده اند [۴]. طول بلند (بیش از چند میکرون) و قطر کوچک آن ها (چندین نانومتر) منجر به "نسبت سطح کل به سطح مقطع" بزرگی برای آن ها می شود. این مواد از خواص ویژه مولکولی، مکانیکی و الکترونیکی برخوردارند که ممکن است ناشی از نوع پیوندهای کربنی، ساختار شبه یک بعدی، اندازه بسیار کوچک وتقارن استوانه ای آن ها باشد. راه های مختلفی برای لوله کردن ورقه های گرافن وجود دارد که منجر به تولید نانو لوله هایی با قطر و ویژگی های ساختاری متفاوت می شود. در بخش های بعدی به نحوه لوله شدن و ساختار های متفاوت آن ها آشنا می شویم.



شکل (۱-۲) لوله شدن ورقه گرافن [۴].

[1]. Multi Wall Carbon Nanotube
[2]. Ijima
[3]. Single Wall Carbon Nanotube

نانو لوله های کربنی شامل دو ساختار مهم تک دیواره (SWNT) که فقط یک استوانه تو خالی است و چند دیواره (MWNT) که شامل چند استوانه توخالی متحدالمرکز با قطرهای متفاوت است می باشند. در شکل (۱-۳) تصاویر میکروسکوب الکترونی روبشی[1] (SEM) و میکروسکوب الکترونی عبوری[2] (TEM) از نانو لوله های کربنی مشاهده می شود.



شکل (۱-۳) تصاویر SEM و TEM نانو لوله های کربنی [۵].

۱-۱- ساختار کربن

کربن ششمین عنصر در جدول تناوبی و سبکترین اتم در ستون چهارم است که دارای آرایش الکترونی حالت پایه ی $1S^2 2S^2 2P^2$ می باشد و انتظار می رود که این عنصر بتواند با دو اتم دیگر پیوند تشکیل دهد و به آرایش الکترونی گاز بی اثر برسد ولی مطالعات تجربی نشان می دهد که این اتم چهار پیوند تشکیل می دهد. ساختار الکترونی کربن وقتی با اتم های مولکول های دیگر پیوند دارد به صورت $1S^2, 2S^1, 2P^1_x, 2P_y^1, 2P^1_z$ در نظر گرفته می شود. پایین ترین تراز انرژی 1S با عدد کوانتومی n=1، دارای دو الکترون با اسپین های مخالف می باشد. الکترون های 1S در پیوند شیمیایی

[1]. Scanning electron microscopy
[2]. Transmission electeron microscopy