





دانشگاه شاهد

دانشگاه شاهد

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک – گرایش بنیادی

ساخت و مشخصه یابی کامپوزیت نانولوله کربنی چنددیواره بااکسیدروی

نگارش:

سلیمان فهلی


اساتید راهنما:

دکتر جهانگیر پیام ارا

دکتر محمود قران نویس

شهریورماه

۱۳۹۱

شماره: تاریخ:	اظهارنامه دانشجو	
------------------	------------------	---

اینجانب سلمان فهلی دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک - گرایش بنیادی دانشکده علوم پایه دانشگاه شاهد، گواهی می‌دهم که پایان‌نامه / رساله تدوین شده حاضر با عنوان "ساخت و مشخصه‌یابی کامپوزیت نانو لوله کربنی چند دیواره با اکسید روی" راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر جهانگیر پیام‌ارا، توسط شخص اینجانب و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنانچه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه / رساله حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدارک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید. همچنین اعلام می‌دارم در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل گزارش‌های تحقیقاتی، رساله، پایان‌نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدیدآورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان‌نامه / رساله حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و سایر افراد به هیچ کجا ارائه نشده است. در تدوین متن رساله حاضر، چهارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان‌نامه / رساله حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء دانشجو:

تاریخ:

آئین‌نامه چاپ پایان‌نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه شاهد

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه شاهد مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد زیر متعهد می‌شوند.

ماده (۱). در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه خود، مراتب را پیش‌تر به طور کتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهند.

ماده (۲). در صفحه سوّم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت زیر را چاپ کند:

« کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد سلمان فهلی در رشته فیزیک گرایش بنیادی است که در سال ۱۳۹۱ در دانشکده علوم پایه دانشگاه شاهد به راهنمایی جناب آقای دکتر جهانگیر پیام آرا / دکتر محمود قرآن‌نویس از آن دفاع شده است.»

ماده (۳). به منظور جبران بخشی از هزینه‌های نشریات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده (۴). در صورت رعایت نکردن ماده (۳)، ۵۰ درصد بهای شمارگان چاپ شده را به خسارت به دانشگاه شاهد تأدیه کند.

ماده (۵). دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند. به علاوه، به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده (۴) را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش تأمین نماید.

ماده (۶). اینجانب سلمان فهلی دانشجوی رشته فیزیک بنیادی مقطع کارشناسی ارشد، تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را می‌پذیرم و به آن ملتزم می‌شوم.

سلمان فهلی

امضاء

نام آنکه جان را کفرت آموخت

تقدیم به ساحت مقدس امام عصر (عج)

به حول و قوه و یاد خداوند تبارک و تعالی عرصه ای دیگر را پشت سرگذرانستیم اما این بار با دفعات قبل تفاوتی مخصوص داشت و آن هم اندوختن تجربیات علوم و حتی الگو گرفتن از اخلاق و رفتار بعضی از اساتید

بود که ما را تا وقتی که نفس در سینه داریم در بند خود گرداند و مولای مستیمان حضرت علی (ع) در این باره می فرماید: هر کس که به من یک کلمه یا مورد مبنده خود کرده است انشاء الله که بتوانیم این تجربیات را

در راستای بهبود ترقی کشور عزیزمان به کار ببریم.

قدر دانی

جای دارد که در اینجا از زحمات اساتید و بزرگوارانی که ما را در این راه یاری نمودند شکر و قدر دانی نمایم. انشاء الله هر کجا که هستیم خداوند پر پشت و پناهشان باشد.

چکیده:

مقدمه: مواد کامپوزیتی بر پایه نانولوله کربنی به دلیل کاربردهای پتانسیلی شان در الکترونیک و اپتو-الکترونیک پیشرفته مورد توجه خاص است. تغییر نانولوله‌های کربنی با نانوبلورهای فلزی و نیمه-رسانا برای افزایش خواص الکتریکی کامپوزیت‌ها در حال حاضر نشان داده شده است. به‌خاطر این حقیقت که اکسیدروی یک نیمه‌رسانای نوع n با گاف نوار مستقیم عریض و انرژی بستگی اکسیتون بزرگ در حدود ۶۰ میلی‌الکترون‌ولت، نانولوله‌های کربنی جفت‌شده با اکسیدروی برای کاربردها در ابزارهای اپتوالکترونیکی نویدبخش هستند. تا کنون روش‌های مختلفی بر پایه فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی برای دستیابی به این کامپوزیت بنا شده است.

هدف پژوهش: ساخت نانولوله‌های کربنی که روی آنها اکسید روی نشانده شده باشد جهت

بررسی تغییرات گسیل میدانی نمونه‌های مختلف

روش‌های انجام پژوهش: در این تحقیق کامپوزیت نانولوله‌های کربنی با اکسیدروی ساخته شده

است. این کامپوزیت از دو روش مختلف ساخته شده است تا ضمن مطالعه خواص اپتیکی، به‌ویژه خاصیت گسیل میدانی نمونه‌ها و تغییرات نمونه‌های کامپوزیت نسبت به نانولوله‌های خالص، اثر روش انباشت اکسیدروی بر خواص ذکر شده نیز بررسی شود.

یافته‌ها و نتایج پژوهش: طیف رامان این نمونه‌ها وجود نانولوله‌های کربنی قبل و بعد از انباشت

اکسیدروی با حضور قله‌های مربوط به نوار D و G و G' تأیید می‌کند، همچنین طیف‌های بعد از انباشت، وجود اکسیدروی را نشان می‌دهند. طیف‌سنجی فرسرخ نمونه‌ها و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز تشکیل اکسیدروی را در نمونه‌های بعد از انباشت تأیید می‌کند. در مجموع نمونه‌های کامپوزیتی نسبت به نانولوله‌های بدون پوشش خاصیت گسیل میدانی الکترون بهتری دارند.

کلید واژه‌ها: نانولوله - اسپاترینگ - کامپوزیت

فصل اول

معرفی پژوهش (کلیات)

۲	۱-۱ بیان مسئله
۲	۱-۱-۱ پیوند بین اتم‌های کربن
۴	۲-۱-۱ آلوتروپ‌های کربن
۴	۳-۱-۱ الماس
۵	۴-۱-۱ گرافیت
۷	۵-۱-۱ فولرین
۹	۲-۱ هدف پژوهش
۹	۳-۱ اهمیت و ضرورت پژوهش
۹	۱-۳-۱ نانولوله‌های کربنی
۱۱	۲-۳-۱ انواع خاصی از نانولوله‌ها و آلوتروپ‌های کربن
۱۲	۳-۳-۱ ساختار نانولوله‌های کربنی
۱۷	۴-۳-۱ خواص نانولوله‌های کربنی
۱۸	۵-۳-۱ خواص ارتعاشی نانولوله‌ها
۲۰	۶-۳-۱ خواص مکانیکی نانولوله‌ها
۲۲	۷-۳-۱ خواص الکتریکی نانولوله‌ها
۲۶	۸-۳-۱ خواص اپتیکی نانولوله‌های کربنی
۲۶	۱-۸-۳-۱ جذب اپتیکی
۲۷	۲-۸-۳-۱ نانولوله کربنی به‌عنوان جسم سیاه

- ۲۸ ۳-۸-۳-۱ گسیل الکترون میدانی
- ۳۰ ۴-۱ کاربردهای نانولوله‌های کربنی
- ۳۰ ۱-۴-۱ ذخیره انرژی و هیدروژن
- ۳۱ ۲-۴-۱ رایانه‌ها
- ۳۱ ۳-۴-۱ کامپوزیت‌ها
- ۳۱ ۴-۴-۱ نانوکاوشگر و حسگرها
- ۳۲ ۵-۱ کاربردهای پتانسیلی نانولوله‌های کربنی در میکروالکترونیک خلاً
- ۳۳ ۱-۵-۱ گسیل کننده الکترون میدان به‌عنوان منابع تفنگ الکترونی
- ۳۳ ۲-۵-۱ قطعات نوردهنده لامپ اشعه کاتدی
- ۳۴ ۶-۱ سؤالات پژوهش
- ۳۴ ۷-۱ جنبه جدید و نو بودن پژوهش

فصل دوم

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

- ۳۷ ۱-۲ سازوکار رشد
- ۴۰ ۲-۲ رشد نانولوله/نانوفیبر روی بستر
- ۴۲ ۳-۲ انواع روش‌های رایج آماده‌سازی نانوذرات کاتالیست
- ۴۲ ۱-۳-۲ کاتالیست تر
- ۴۳ ۲-۳-۲ فلزات لایه نازک
- ۴۳ ۳-۳-۲ لایه‌های کاتالیست فلزی با بسترهای ضخیم
- ۴۴ ۴-۳-۲ سل ژل

- ۴۴ ۵-۳-۲ روش کاتالیست شناور/بدون بستر
- ۴۴ ۴-۲ انواع روش‌های ساخت نانولوله کربنی
- ۴۴ ۱-۴-۲ روش تخلیه قوس
- ۴۶ ۱-۱-۴-۲ ساخت نانولوله کربنی تک دیواره با روش تخلیه قوسی
- ۴۶ ۲-۱-۴-۲ ساخت نانولوله کربنی چنددیواره با روش تخلیه قوسی
- ۴۶ ۲-۴-۲ روش کند و سوز لیزری
- ۴۸ ۳-۴-۲ روش انباشت شیمیایی بخار
- ۵۱ ۱-۳-۴-۲ روش انباشت شیمیایی بخار بهبود یافته با پلاسما
- ۵۶ ۲-۳-۴-۲ کاتالیزور در *CVD* و نتایج تجربی مربوط به آن
- ۵۸ ۴-۴-۲ روش‌های دیگر ساخت نانولوله
- ۵۸ ۱-۴-۴-۲ روش ساخت با استفاده از شعله
- ۵۹ ۲-۴-۴-۲ الکترولیز
- ۶۰ ۵-۲ نتیجه گیری

فصل سوم

روشناسی پژوهش

- ۶۲ ۱-۳ روش پژوهش
- ۶۲ ۱-۱-۳ اکسیدروی؛ معرفی، خواص و ویژگی‌ها
- ۶۵ ۲-۱-۳ خواص الکترونیکی
- ۶۶ ۳-۱-۳ روش‌های ساخت اکسیدروی
- ۶۶ ۴-۱-۳ فرآیند غیرمستقیم یا فرانسوی

- ۳-۱-۵ فرآیند تر ۶۷
- ۳-۱-۶ فرآیند سل-ژل ۶۷
- ۳-۱-۷ کامپوزیت *CNT-ZnO* ۶۸
- ۳-۱-۸ فرآیند انباشت لایه‌ای اتمی ۶۸
- ۳-۱-۹ فرآیند انباشت بخار فیزیکی ۷۲
- ۳-۱-۹-۱ نشست تبخیری ۷۴
- ۳-۱-۹-۲ کندوپاش ۷۷
- ۳-۲ روش‌های تهیه کامپوزیت *CNT-ZnO* ۸۰
- ۳-۲-۱ معرفی، خواص و ویژگی‌های کامپوزیت *CNT-ZnO* ۸۰
- ۳-۲-۲ انواع روش‌های ساخت کامپوزیت *CNT-ZnO* ۸۲
- ۳-۳ جامعه آماری و نمونه پژوهش ۸۵
- ۳-۴ ابزار اندازه‌گیری و روش گردآوری داده‌ها ۸۵
- ۳-۵ روش تجزیه و تحلیل داده‌ها ۸۶

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل داده‌ها

- ۴-۱ طبقه‌بندی روش‌های تعیین مشخصات مواد براساس نحوه عملکرد ۸۹
- ۴-۱-۱ روش‌های میکروسکوپی ۸۹
- ۴-۱-۲ روش‌هایی براساس پراش ۸۹
- ۴-۱-۳ روش‌های طیف‌سنجی ۹۰
- ۴-۱-۴ طیف‌سنجی جرمی ۹۰

- ۹۰ ۲-۴ میکروسکوپ‌های الکترونی
- ۹۱ ۱-۲-۴ میکروسکوپ الکترونی عبوری
- ۹۳ ۲-۲-۴ میکروسکوپ یون میدان
- ۹۳ ۳-۲-۴ میکروسکوپ الکترونی روبشی
- ۹۴ ۱-۳-۲-۴ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
- ۹۶ ۲-۳-۲-۴ میکروسکوپ تونلی روبشی (STM)
- ۹۷ ۳-۳-۲-۴ میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)
- ۹۸ ۳-۴ طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس
- ۹۹ ۴-۴ طیف‌سنجی رامان
- ۱۰۱ ۱-۴-۴ طیف رامان نانولوله‌های کربنی
- ۱۰۴ ۵-۴ طیف‌سنجی فرو سرخ
- ۱۰۸ ۱-۵-۴ استفاده از طیف‌سنجی فرو سرخ در مشخصه‌یابی نانولوله‌ها
- ۱۱۱ ۶-۴ تونل‌زنی فاولر-نوردهیم
- ۱۱۲ ۱-۶-۴ انرژی محرک
- ۱۱۳ ۲-۶-۴ احتمال فرار
- ۱۱۴ ۳-۶-۴ عرض فرو افت
- ۱۱۵ ۴-۶-۴ توزیع انرژی کل
- ۱۱۸ ۵-۶-۴ معادلات برای گسیل الکترونی میدان سرد (CFE)
- ۱۱۸ ۱-۵-۶-۴ معادلات نوعی فاولر-نوردهیم
- ۱۱۸ ۱-۱-۵-۶-۴ شکل دمای صفر

۱۱۹..... ۲-۱-۵-۶-۴ دماهای غیرصفر

۱۱۹..... ۶-۶-۴ تکمیل کردن معادله نوعی فاولر- نوردھیم از دید فیزیکی

۱۲۱..... ۷-۴ نتیجه گیری

فصل پنجم

نتیجه گیری، بحث و پیشنهاد

۱۲۳..... ۱-۵ روش تهیه نانولوله‌ها

۱۳۰..... ۲-۵ کندوپاش اکسیدروی

۱۳۲..... ۳-۵ روش انباشت روی و اکسید کردن آن

۱۳۵..... ۱-۳-۵ طریقه اکسیداسیون روی و نتایج

۱۳۷..... ۴-۵ طیف سنجی رامان نمونه‌ها

۱۴۳..... ۵-۵ طیف سنجی مادون قرمز

۱۴۶..... ۶-۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM

۱۵۰..... ۷-۵ اندازه‌گیری و نتایج گسیل میدانی

۱۵۱..... ۱-۷-۵ نتایج به‌دست‌آمده برای گسیل میدانی

۱۵۸..... ۸-۵ نتیجه‌گیری

۱۵۹..... ۹-۵ پیشنهاد کار برای آینده

فهرست جداول

- جدول ۱-۱ مقادیر میدان الکتریکی آستانه برای مواد مختلف برای چگال جریان $10 mA/cm^2$ ۲۹
- جدول ۱-۲ مروری بر انواع روش‌های ساخت نانولوله ۵۵
- جدول ۱-۳ خواص اکسیدروی ورتزایت ۶۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ هیبریداسیون‌های اتم کربن و شکل‌های وابسته آنها ۴
- شکل ۱-۲ انواع آلوتروپ‌های کربن ۵
- شکل ۱-۳ ساختار لایه‌ای گرافیت ۶
- شکل ۱-۴ ساختار شماتیک فولرین (الف) C_{60} (ب) C_{70} ۸
- شکل ۱-۵ ساختارهای مجزا برپایه زاویه لایه‌های گرافن نسبت به محور رشته ۱۱
- شکل ۱-۶ ساختار پیپاد ۱۲
- شکل ۱-۷ نحوه پیچیده شدن ورقه گرافن و تشکیل کربن نانولوله (۱۰ و ۱۰) ۱۳
- شکل ۱-۸ کایرالیته‌های مختلف برای نانولوله ۱۵
- شکل ۱-۹ اندیس‌های کایرال نانولوله‌های کربنی تک‌دیواره در یک صفحه گرافن، نشانه‌های کوچک در گوشه بالایی هر ۶ ضلعی نشان‌دهنده خانواده نانولوله است. دایره‌های توپر نانولوله‌ها نیمه‌رسانا هستند، مربوط به خانواده $(m-n) \bmod 3 = -1$ ، دایره‌های توخالی با $(m-n) \bmod 3 = +1$ به خانواده دوم نیمه‌رساناها و مربع‌ها مربوط به نانولوله‌های فلزی است ۱۶
- شکل ۱-۱۰ تصویر دو ویژه حالت نوسانی در نانولوله‌های کربن ۱۹

- شکل ۱-۱۱ نمودار بسامد رامان برای ویژه حالت نوسانی A_{1g} بر حسب شعاع نانولوله..... ۱۹
- شکل ۱-۱۲ اندازه شکاف انرژی یک نانولوله نیمه رسانای کایرال بر حسب معکوس قطر لوله..... ۲۲
- شکل ۱-۱۳ نمودار تفاضل هدایت $[(dI/dV)/(I/V)]$ که توسط جریان تونل زنی به وسیله میکروسکوپ تونلی روبشی در نانولوله های فلزی (شکل راست) و نانولوله های نیم رسانا (شکل چپ) اندازه گیری شده است..... ۲۳
- شکل ۱-۱۴ نمودار جریان الکترون در یک نانولوله کربنی فلزی منفرد در دو ولتاژ ورودی مختلف که نشان دهنده پله هایی در منحنی های جریان-ولتاژ می باشد..... ۲۵
- شکل ۱-۱۵ اثر میدان مغناطیسی DC روی مقاومت نانولوله ها در دماهای $۰/۳۵$ و $۲/۳$ کلوین..... ۲۶
- شکل ۱-۱۶ چگالی حالات نانولوله تک دیواره..... ۲۷
- شکل ۱-۱۷ نمودار انرژی پتانسیل اثر میدان الکتریکی خارجی را روی سد انرژی الکترون ها در سطح یک فلز..... ۲۸
- شکل ۲-۱ رشد نانولوله و نانوفیبر کربن شامل تجزیه کاتالیستی گاز حاوی کربن، پخش کربن، و ته نشینی به صورت فیلامان. (الف) طبق مدل بیکر، کربن از میان توده کاتالیست فلزی " M "، پخش می شود. (ب) طبق مدل ابرلین، کربن روی سطح کاتالیست فلزی از پیرامون کاتالیست پخش شده و شکل لوله ای می گیرد (ج) طبق مدل رودریگز و ترونس، لایه های گرافن زاویه دار از ذره کاتالیست چندوجهی برای شکل دادن نانوفیبر رسوب می کند..... ۳۸
- شکل ۲-۲ دو حالت رشد نانولوله های کربن (الف) رشد از نوک (ب) رشد از پایه..... ۴۱
- شکل ۲-۳ چیدمان دستگاه تخلیه قوسی..... ۴۵
- شکل ۲-۴ نمایی از چیدمان دستگاه کند و سوز لیزری..... ۴۷

- شکل ۲-۵ چیدمان دستگاه انباشت شیمیایی بخار حرارتی ۵۰
- شکل ۲-۶ اثر ضخامت کاتالیزور بر رشد نانولوله ۵۲
- شکل ۲-۷ اثر دما بر رشد نانولوله از (الف) تا (ج) افزایش دما داریم ۵۴
- شکل ۳-۱ ساختار شماتیک اکسیدروی ۶۴
- شکل ۳-۲ لایه نشانی اتمی دی اکسید زیرکونیم ۶۹
- شکل ۳-۳ مقایسه بین روش‌های مختلف پوشش دهی سطوح ۷۱
- شکل ۳-۴ شکل چیدمان از سیستم انباشت لایه‌ای اتمی ۷۲
- شکل ۳-۵ چیدمان طرحی از فرآیند کندوپاش ۷۸
- شکل ۳-۶ سیستم کندوپاش بسامد رادیویی ۷۹
- شکل ۴-۱ نمودار مسیر اشعه در میکروسکوپ الکترونی عبوری معمولی و میکروسکوپ الکترونی عبوری روبشی ۹۲
- شکل ۴-۲ نمایی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی ۹۵
- شکل ۴-۳ شکل شماتیک از میکروسکوپ الکترونی تونلی روبشی ۹۷
- شکل ۴-۴ انواع شکل‌های سوزن شامل نوک تخت، نوک کروی، نوک T شکل و نوک تیز ۹۸
- شکل ۴-۵ طیف‌نگارلیزری رامان ۱۰۰
- شکل ۴-۶ ارتعاش‌های کششی متقارن و نامتقارن در یک مولکول ۱۰۵
- شکل ۴-۷ نمودار فوق ناحیه‌ای در فضای انرژی $SP-T$ که حالت‌های الکترون موج‌گذار موجود است را نشان می‌دهد ۱۱۶
- شکل ۵-۱ نانولوله/ نانوفیبرهای ساخته شده از روش انباشت بخار شیمیایی حرارتی ۱۲۴

- شکل ۲-۵ دستگاه لایه‌نشانی مورد استفاده مدل ادوارد ۳۰۶۵..... ۱۲۶
- شکل ۳-۵ با گداخته شدن بوتنه تنگستنی، کاتالیست نیکل تبخیر می‌شود..... ۱۲۷
- شکل ۴-۵ دستگاه *DC PECVD* مورد استفاده در دانشکده فیزیک دانشگاه تهران..... ۱۲۸
- شکل ۵-۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه مورد اشاره در متن..... ۱۲۹
- شکل ۶-۵ تصویر نانولوله‌های عمودی ساخته شده..... ۱۳۰
- شکل ۷-۵ دستگاه کندوپاش مغناطیسی بسامد رادیویی..... ۱۳۱
- شکل ۸-۵ تصویر نانولوله‌های عمودی ساخته شده پوشش داده شده با اکسیدروی با روش کند و پاش
..... ۱۳۲
- شکل ۹-۵ اکسیدروی ساخته شده با روش سل-ژل..... ۱۳۳
- شکل ۱۰-۵ طیف رامان نمونه اکسیدروی ساخته شده با روش سل-ژل..... ۱۳۴
- شکل ۱۱-۵ ذرات دانه مانند اکسیدروی روی بدنه نانولوله‌ها دیده می‌شوند..... ۱۳۵
- شکل ۱۲-۵ ذرات دانه مانند اکسیدروی به صورت پراکنده روی بدنه نانولوله‌ها دیده می‌شوند، نظم
نانولوله‌ها حفظ شده است..... ۱۳۷
- شکل ۱۳-۵ دستگاه طیف‌سنجی رامان *Almega Thermo Nicolet Raman Dispersive*..... ۱۳۷
- شکل ۱۴-۵ طیف رامان برای نانولوله کربنی بدون پوشش، برای عدد موج‌های بالای 1200 cm^{-1} را نمایش می-
دهد..... ۱۳۸
- شکل ۱۵-۵ طیف رامان برای نانولوله کربنی بدون پوشش، برای عدد موج‌های زیر 1200 cm^{-1} ۱۳۹
- شکل ۱۶-۵ طیف رامان برای نانولوله کربنی پوشش داده شده با روش کندوپاش برای عدد موج‌های
زیر 1200 cm^{-1} ۱۴۰

- شکل ۵-۱۷ طیف رامان برای نانولوله کربنی پوشش داده شده با روش کندوپاش در مقادیر بالای cm^{-1} ۱۲۰۰۱..... ۱۴۱
- شکل ۵-۱۸ طیف رامان برای نانولوله کربنی پوشش داده شده با روش اکسیداسیون در عدد موج های زیر cm^{-1} ۱۲۰۰..... ۱۴۲
- شکل ۵-۱۹ طیف رامان برای نانولوله های کربنی پوشش داده شده با روش اکسیداسیون در مقادیر بالای cm^{-1} ۱۲۰۰..... ۱۴۳
- شکل ۵-۲۰ طیف فرسرخ به دست آمده از نانولوله کربنی..... ۱۴۴
- شکل ۵-۲۱ طیف فرسرخ به دست آمده از نانولوله کربنی با پوشش اکسیدروی به روش کندوپاش... ۱۴۵
- شکل ۵-۲۲ طیف فرسرخ به دست آمده از نانولوله کربنی با پوشش اکسیدروی به روش اکسیداسیون... ۱۴۶
- شکل ۵-۲۳ تصاویر گرفته شده از نمونه نانولوله کربنی..... ۱۴۷
- شکل ۵-۲۴ توزیع قطر نانولوله های کربنی بدون پوشش..... ۱۴۷
- شکل ۵-۲۵ تصاویر گرفته شده از نمونه نانولوله کربنی با پوشش به روش کندوپاش اکسیدروی... ۱۴۸
- شکل ۵-۲۶ توزیع قطر نانولوله های با پوشش اکسیدروی یکنواخت به روش کندوپاش..... ۱۴۹
- شکل ۵-۲۷ تصاویر گرفته شده از نمونه نانولوله با اکسیداسیون روی..... ۱۴۹
- شکل ۵-۲۸ شمایی از مدار طراحی شده برای اندازه گیری گسیل میدانی..... ۱۵۰
- شکل ۵-۲۹ مدار طراحی شده برای اندازه گیری گسیل میدانی..... ۱۵۱
- شکل ۵-۳۰ نمودار چگالی جریان بر حسب میدان برای نانولوله های کربنی..... ۱۵۲
- شکل ۵-۳۱ نمودار $\ln(J/E^2)$ بر حسب $(1/E)$ برای نانولوله های کربنی..... ۱۵۲

شکل ۳۲-۵ نمودار چگالی جریان بر حسب میدان الکتریکی بین صفحات برای نانولوله‌های کربنی

پوشیده شده با انباشت اکسیدروی با روش کندوپاش..... ۱۵۴.....

شکل ۳۳-۵ نمودار $\ln(J/E^2)$ بر حسب $(1/E)$ برای نانولوله‌های کربنی پوشش داده شده با اکسیدروی به

روش کند و پاش..... ۱۵۴.....

شکل ۳۴-۵ نمودار چگالی جریان بر حسب میدان برای نانولوله‌های کربنی پوشیده شده با اکسیدروی

با روش اکسیداسیون..... ۱۵۵.....

شکل ۳۵-۵ نمودار $\ln(J/E^2)$ بر حسب $(1/E)$ برای نانولوله‌های پوشش داده شده با روش

اکسیداسیون..... ۱۵۵.....

شکل ۳۶-۵ نمودار چگالی جریان بر حسب میدان الکتریکی برای هر سه نمونه..... ۱۵۶.....

شکل ۳۷-۵ نمودار $\ln(J/E^2)$ بر حسب $(1/E)$ برای سه نمونه..... ۱۵۷.....

چکیده انگلیسی..... ۱۶۱.....

فهرست مراجع..... ۱۶۲.....

فصل اول:

معرفی

پژوهش (کلیات)